



Universitat
de les Illes Balears

Universitat de les Illes Balears
Cra. de Valldemossa, km 7.5 (Campus UIB). 07122
Palma, Illes Balears
00718001A
971 17 3000

ESCENARIS DE GENERACIÓ FOTOVOLTAICA AL CAMPUS DE LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS



Data: 22 de desembre de 2022

Autors

Dr. Vicente José Canals Guinand
v.canals@uib.es

Sr. Benito Mas Gracia
benito.mas@uib.es

Sr. Murti Bär
murti.baer@uib.es

Sr. Joan Margarit Trias
joan.margarit@uib.es

Sra. Marta Pons Nieto
marta.pons@uib.es

Dr. Victor Martínez Moll
victor.martinez@uib.es

*Dept. D'Enginyeria Industrial i
Construcció de la Universitat de les
Illes Balears*

*Servei de Patrimoni, Contractació,
Infraestructura i Unitat Tècnica de
la Universitat de les Illes Balears*

CONTINGUTS

Introducció	16
Evolució dels preus de l'energia.....	18
Evolució dels preus energètics als mercats majoristes de la UE	18
Els drets d'emissió de CO ₂	19
Preu del Gas Natural.....	20
Causes de l'encariment dels preus de l'energia	21
La situació energètica del Campus de la UIB	24
Demanda elèctrica del Campus de la UIB	24
Evolució dels costos elèctrics de la UIB.....	25
Pla per fer front a la situació d'emergència energètica a la UIB.....	26
Resultats del pla de racionalització energètica	27
Amortització de plantes energètiques	29
Mètriques econòmiques per l'avaluació de projectes	29
Determinació del període d'amortització d'una inversió.....	29
Període de retorn de la inversió simple	29
Període de retorn de la inversió descomptat.....	30
Rendibilitat financera	30
Valor Actual Net	31
Taxa Interna de Retorn	31
Metodologia resseguida en el present estudi	32
Pla de desplegament de generació fotovoltaica al campus de la UIB	37
Escenaris de generació fotovoltaica al campus de la UIB	38
Zones prioritàries per el desplegament de grans instal·lacions fotovoltaiques al campus.....	38
Cas Jai	39
Ubicació.....	39
Clasificació de la zona afectada	40
Descripció del potencial parc fotovoltaic	40
Característiques dels equips	43
Panells fotovoltaics.....	43
Estructures de suport.....	43
Inversors	45

Estimació del cost de la inversió de la Planta Fotovoltàica de Cas Jai	46
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica de Cas Jai	47
Pantaleu	49
Ubicació	49
Clasificació de la zona afectada	49
Descripció del potencial parc fotovoltaic	50
Característiques dels equips	53
Panells fotovoltaics	53
Estructures de suport	53
Inversors	55
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Pantaleu	56
Estimació de la amortització de la planta fotovoltaica del Pantaleu	57
Aljub General	60
Ubicació	60
Clasificació de la zona afectada	61
Descripció del potencial parc fotovoltaic	61
Característiques dels equips	64
Panells fotovoltaics	64
Estructures de suport	64
Inversors	66
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'Aljub General	67
Estimació de la amortització de la planta fotovoltaica de l'Aljub General	68
Aparcament de l'edifici Anselm Turmeda	70
Ubicació	70
Clasificació de la zona afectada	70
Descripció del potencial parc fotovoltaic	71
Característiques dels equips	75
Panells fotovoltaics	75
Marquesines	75
Inversors	76
Xarxa de monitorització i control	77
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda	79
Estimació de la amortització de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'Anselm Turmeda	80

Caminal d'Eivissa	82
Ubicació.....	82
Clasificació de la zona afectada	82
Descripció del potencial parc fotovoltaic	83
Característiques dels equips	86
Panells fotovoltaics.....	86
Marquesines	86
Inversors	87
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa	89
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa	90
Caminal de Formentera	92
Ubicació.....	92
Clasificació de la zona afectada	93
Descripció del potencial parc fotovoltaic	93
Característiques dels equips	95
Panells fotovoltaics.....	95
Marquesines	95
Inversors	96
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera ..	100
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera	101
Caminal de Cabrera	103
Ubicació.....	103
Descripció del potencial parc fotovoltaic	104
Característiques dels equips	108
Panells fotovoltaics.....	108
Estructura metàl·lica del caminal solar.....	108
Inversors	109
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera.....	110
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera.....	111
Zones prioritàries per el desplegament de les instal·lacions fotovoltaiques en els edificis del Campus	114
Metodologia seguida	114
Edifici Gaspar Melchor de Jovellanos.....	116
Coberta de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos	116
Descripció del potencial parc fotovoltaic	117

Característiques dels equips	120
Panells fotovoltaics.....	120
Estructures de suport.....	120
Inversors	121
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos.....	123
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos	124
Edifici Guíllem Cifre de Colonya.....	127
Coberta de l'edifici Guíllem Cifre de Colonya	127
Descripció del potencial parc fotovoltaic	127
Edifici Anselm Turmeda.....	130
Coberta de l'Anselm Turmeda	130
Descripció del potencial parc fotovoltaic	130
Característiques dels equips	132
Panells fotovoltaics.....	132
Estructures de suport.....	132
Inversors	133
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de la coberta de l'Anselm Turmeda	137
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Anselm Turmeda.....	138
Edifici Beatriu de Pinós	140
Coberta de l'edifici Beatriu de Pinós	140
Descripció del potencial parc fotovoltaic	140
Edifici Antoni Maria Alcover i Sureda.....	143
Coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda	143
Descripció del potencial parc fotovoltaic	143
Característiques dels equips	146
Panells fotovoltaics.....	146
Estructures de suport.....	146
Inversors	147
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda.....	148
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda.....	149

Edifici Campus Esport UIB	151
Coberta del Campus Esport	151
Descripció del potencial parc fotovoltaic	151
Característiques dels equips	154
Panells fotovoltaics.....	154
Estructures de suport.....	154
Inversors	155
Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de la coberta del Campus Esport UIB	157
Estimació de l'amortització de la planta fotovoltaica de la coberta del Campus Esport UIB	158
Escenaris de mitigació dels costos energètics de la Universitat de les Illes Balears	160
Escenari 1: Desplegament de plaques fotovoltaiques sobre les cobertes prioritàries dels edificis de la UIB	160
Estimació de l'amortització de l'escenari 1	161
Escenari 2: Desplegament de grans plantes fotovoltaiques al Campus de la UIB.....	163
Estimació de l'amortització de l'escenari 2	164
Escenari 3: Desplegament de plaques fotovoltaiques a les cobertes dels edificis de la UIB, a aparcaments, i a zones de terreny urbanitzable lliures	167
Estimació de l'amortització de l'escenari 3	168
Petjada de carboni de la instal·lació fotovoltaica.....	170
Conclusions.....	170
Bibliografia.....	173
Annex	175

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. Estructura energètica espanyola en 2019, en [ktep]. Font: MITECO [1].	16
Figura 2: Evolució del preu diari de l'electricitat. Font: OMIE	18
Figura 3: Preu de l'electricitat als mercats majoristes europeus, 2022. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de REE [2], [3].	19
Figura 4: Evolució del preu dels drets d'emissió de CO ₂ a Europa. Font: Elaboració pròpia a partir de Dades de Sendeco2 i REE.	20
Figura 5: Evolució dels preus del Gas Natural a futurs per al període 2021-2022. Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Intercontinental Exchange, Inc (ICE).	21
Figura 6: Preus del mercat de gas i electricitat a Espanya, l'any 2021.	22
Figura 7: <i>Consums energètics anuals agregats de la UIB en el punt frontera, per el període 2016-2021.</i>	24
Figura 8: <i>Consums energètics mensuals del Campus de la UIB en el punt frontera, per l'any 2021.</i>	25
Figura 9: <i>Evolució dels costos de la factura elèctrica del Campus, per el període (2019-2021).</i>	25
Figura 10: Impacte del "pla per fer front a la situació d'emergència energètica" sobre la demanda elèctrica del campus de la UIB, període 07/03/2022 – 03/04/2022	27
Figura 11. Diagrama de flux de metodologia de càlcul d'amortitzacions. Font: elaboració pròpia.	33
Figura 12. (a) Període de retorn de la inversió simple del pre-disseny de la planta fotovoltaica de Cas Jai. (b) Període de retorn de la inversió descomptat del pre-disseny de la planta fotovoltaica de Cas Jai.	35
Figura 13. (a) Valor Actual Net de la inversió del pre-disseny de la planta fotovoltaica de Cas Jai als 25 anys. (b) Taxa Interna de Rendiment de la inversió del pre-disseny de la planta fotovoltaica de als 25 anys.	35
Figura 14: Delimitació amb una línia vermella de la zona annexa a l'edifici Cas Jai, susceptible per instal·lar-hi PV. Font: Google Earth.	39
Figura 15. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques dels terrenys annexes a l'edifici de cas Jai. Font: IDEIB	40
Figura 16: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica als terrenys annexes a l'edifici Cas Jai. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica als terrenys annexes a l'edifici Cas Jai.	42
Figura 17. (a) estructura fixada al sòl mitjançant hínques. (b) Estructura fixada al sòl mitjançant cargols de terra.	43
Figura 18. Disposició de les fileres d'estructures de suport dels panells a la planta fotovoltaica de Cas Jai.	44
Figura 19. <i>Terrenys annexes al Pantaleu susceptibles per instal·lar-hi una planta fotovoltaica. Font: Google Earth.</i>	49
Figura 20. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques dels terrenys annexes a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu. Font: IDEIB.	50
Figura 21: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica dels terrenys annexes al Pantaleu.(b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica als terrenys annexes a l Pantaleu	52
Figura 22. (a) Estructura fixada al sòl mitjançant hínques. (b) Estructura fixada al sòl mitjançant cargols de terra.	54
Figura 23. Disposició de les fileres d'estructures de suport dels panells a la planta fotovoltaica del Pantaleu	55

Figura 24. Terrenys annexes a l'edifici de la residència i l'Aljub General, susceptibles per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques. Font: Google Earth.	60
Figura 25. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques dels terrenys annexes a l'edifici Bartomeu Rosselló Porcel i l'Aljub General. Font: IDEIB.	61
Figura 26 (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica dels terrenys annexes al la residència d'estudiants i a l'Aljub General. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica dels terrenys annexes al la residència d'estudiants i a l'Aljub General.	63
Figura 27. (a) estructura fixada al sòl mitjançant hínques. (b) Estructura fixada al sòl mitjançant cargols de terra.	65
Figura 28. Disposició de les fileres d'estructures de suport dels panells a la planta fotovoltaica de l'Aljub General	65
Figura 29. Terrenys de l'aparcament de l'Anselm Turmeda susceptibles per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques. Font: Google Earth.	70
Figura 30. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda. Font: IDEIB.	71
Figura 31: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica als terrenys de l'aparcament de l'Anselm Turmeda. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica als terrenys de l'aparcament de l'Anselm Turmeda.	74
Figura 32. Marquesina modular per aparcament doble, sense xapa, model PR3.1 SC40 del fabricant SUNFER.	76
Figura 33. Disposició de les fileres de marquesines fotovoltaïques de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda.	76
Figura 34: Arquitectura del sistema de monitorització i control TSN	78
Figura 35. Zona delimitada amb color vermell seria on s'ubicaria la planta fotovoltaica del Caminal Eivissa.	82
Figura 36. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques de l'aparcament del caminal d'Eivissa. Font: IDEIB.	83
Figura 37: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa. (b) Marquesines del tram 1 del pre-disseny.	85
Figura 38. Marquesina modular per aparcament doble, sense xapa, model PR1.1 SC20 del fabricant SUNFER.	87
Figura 39. Disposició de les fileres de marquesines fotovoltaïques de l'aparcament del Caminal d'Eivissa.	87
Figura 40. Zona delimitada amb color vermell seria on s'ubicaria la planta fotovoltaica del Caminal Formentera.	92
Figura 41. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques del caminal de Formentera. Font: IDEIB.	93
Figura 42. Marquesina modular per aparcament doble, sense xapa, model PR3.1 SC40 del fabricant SUNFER.	96
Figura 43. Disposició de les fileres de marquesines fotovoltaïques de l'aparcament del Caminal de Formentera.	96
Figura 44: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal de Formentera. (b) Estudi d'ombres de la potencial instal·lació fotovoltaica que es podria desplegar al Caminal de Formentera.	99
Figura 45. Zona delimitada amb color vermell seria on s'ubicaria la planta fotovoltaica del Caminal Eivissa.	103

Figura 46. Exemples de carreteres fotovoltaiques actualment en projecció a la UE.....	104
Figura 47. Exemple d'estructures metàl·liques continues prefabricades destinades a usos agrícoles que podrien servir per el desplegament del Caminal fotovoltaic de Cabrera.	105
Figura 48: Pre disseny del caminal solar a desplegar al Caminal de Cabrera.	107
Figura 49. Exemple d'estructures metàl·liques continues prefabricades destinades a usos agrícoles que podrien servir per el desplegament del caminal fotovoltaic de Cabrera.....	108
Figura 50. Zones de la coberta identificades a l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos.	116
Figura 51 : Pre-disseny de la planta fotovoltaica a la coberta del Melchor Gaspar de Jovellanos. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica a la coberta del Melchor Gaspar de Jovellanos.....	119
Figura 52: SOLARBLOC.	120
Figura 53: Estructures de suport emprades a la coberta plana de xapa.	121
Figura 54: SUNFER 04V5.....	121
Figura 55. Zones de la coberta identificades a l'edifici Guillem Cifre de Colonya.	127
Figura 56. Pre-disseny de la planta fotovoltaica a la coberta del Guillem Cifre de Colonya. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica a la coberta del Guillem Cifre de Colonya.	129
Figura 57. Zones de la coberta identificades a l'edifici Anselm Turmeda.	130
Figura : SOLARBLOC.....	132
Figura : SUNFER 01V5.....	133
Figura . (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Anselm Turmeda.(b) Estudi d'ombres de la instal·lació fotovoltaica que es proposa per instal·lar a sobre de la coberta de l'Anselm Turmeda.	136
Figura 61. Zones de la coberta identificades a l'edifici Beatriu de Pinós.	140
Figura 62. (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Anselm Turmeda. (b) Estudi d'ombres dut a terme mitjançant el programari PVsyst.....	142
Figura 63. Zones de la coberta identificades a l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda.	143
Figura 64. (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda. (b) Estudi d'ombres de la instal·lació fotovoltaica que es proposa instal·lar a la coberta del Antoni Maria Alcover i Sureda.....	145
Figura 65: SOLARBLOC.....	146
Figura 66. Zones de la coberta identificades al Campus Esport de la UIB.	151
Figura 67. (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta del Campus Esport. (b) Estudi d'ombres de la potencial instal·lació fotovoltaica.....	153
Figura 68: SUNFER 04H2.....	154
Figura 69: SUNFER 22H2.....	154
Figura 70: Binomi generació fotovoltaica i demanda del campus (2021), per l'escenari 1.....	161
Figura 71: Binomi generació fotovoltaica i demanda del campus (2021), per l'escenari 2.....	163
Figura 72: Binomi generació fotovoltaica i demanda del campus (2021), per l'escenari 3.	168
Figura 73. Zones d'aparcament de més de 1000 m ₂ susceptibles ser cobertes amb plaques fotovoltaiques al campus de la UIB d'acord a la Llei 10/2019, de 22 de febrer, de "canvi climàtic i transició energètica". Font: IDEIB [14].	172

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Coeficients de correlació entre la evolució dels preus majoristes de l'electricitat i l'evolució dels preus dels drets d'emissió de CO ₂ , per l'any 2021.....	20
Taula 2. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada als terrenys annexes a l'edifici de Cas Jai.	41
Taula 3. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M	43
Taula 4. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 Peak3.....	45
Taula 5. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en el potencial parc fotovoltaic de Cas Jai.	45
Taula 6. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de Cas Jai.	46
Taula 7. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de Cas Jai per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.	47
Taula 8. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de Cas Jai per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	47
Taula 9. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada en els terrenys annexes a l'edifici Ramón Llull i al Pantaleu.	51
Taula 10. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M	53
Taula 11. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 Peak3.	55
Taula 12. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en el potencial parc fotovoltaic dels terrenys annexes al Pantaleu i l'edifici Ramón Llull.	56
Taula 13. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Pantaleu.	56
Taula 14. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica annexa a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.	58
Taula 15. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica annexa a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.....	58
Taula 16. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada als terrenys annexes a l'edifici de la residència d'estudiants i de l'Aljub General.	62
Taula 17. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M	64
Taula 18. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 Peak3.	66
Taula 19. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en el potencial parc fotovoltaic dels terrenys annexes a la residència d'estudiants i l'Aljub General	66
Taula 20. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'Aljub General.	67
Taula 21. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'Aljub General per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.....	68
Taula 22. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'Aljub General per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	68
Taula 23. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada a l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda	72
Taula 24. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M.....	75
Taula 25. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL	77
Taula 26. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 160TL.....	77
Taula 27. Superfícies i característiques del equipaments emprats en la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda.	78
Taula 28. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'Anselm Turmeda.	79

Taula 29. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.	80
Taula 30. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	81
Taula 31. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada al Caminal d'Eivissa.....	84
Taula 32. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M	86
Taula 33. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL	87
Taula 34. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 33TL	88
Taula 35. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa.	88
Taula 36. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal d'Eivissa.	89
Taula 37. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.....	90
Taula 38. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	90
Taula 39. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada a l'aparcament del Caminal de Formentera.....	94
Taula 40. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M.....	95
Taula 41. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 PEAK3.....	97
Taula 42. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Tripower STP110	97
Taula 43. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100 TL	97
Taula 44. Superfícies i característiques del equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera.	98
Taula 45. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal de Formentera.....	100
Taula 46. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.....	101
Taula 47. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	101
Taula 48. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada al Caminal de Cabrera	105
Taula 49. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M.....	108
Taula 50. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower SHP 150-Peak3....	109
Taula 51. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100 TL	109
Taula 52. Superfícies i característiques del equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera.	109
Taula 53. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal de Cabrera	110
Taula 54. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.....	112
Taula 55. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	112
Taula 56. Classificació de les cobertes en funció de les característiques constructives.	114
Taula 57. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos. ...	116
Taula 58. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Melchor Gaspar de Jovellanos.	117

Taula 59. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M	120
Taula 60. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon SUN 100TL.....	122
Taula 61. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon SUN 160TL.....	122
Taula 62. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Tripower STP50.....	122
Taula 63. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Jovellanos.	122
Taula 64: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Gaspar Melchor de Jovellanos.	123
Taula 65. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.	125
Taula 66. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	125
Taula 67. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Guillem Cifre de Colonya.....	127
Taula 68. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Guillem Cifre de Colonya.....	128
Taula 69. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Anselm Turmeda.	130
Taula 70. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Anselm Turmeda.	131
Taula 71. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M	132
Taula 72. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL	133
Taula 73. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 10000TL	134
Taula 74. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 8000TL.....	134
Taula 75. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica de l'Anselm Turmeda.....	134
Taula 76: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'Anselm Turmeda.	137
Taula 77. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.....	138
Taula 78. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	138
Taula 79. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Beatriu de Pinós.....	140
Taula 80. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Beatriu de Pinós.	141
Taula 81: Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda...143	
Taula 82. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Beatriu de Pinós.	144
Taula 83. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M	146
Taula 84. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 5000TL	147
Taula 85. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 160TL.....	147
Taula 86. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Antoni Maria Alcover i Sureda	148
Taula 87: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Antoni Maria Alcover i Sureda.	148
Taula 88. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.	149
Taula 89. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.....	150

Taula 90: Característiques de les cobertes identificades al Campus Esport de la UIB.....	151
Taula 91. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Campus Esport..	152
Taula 92. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M.....	154
Taula 93. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL.....	155
Taula 94. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy SB 11000TL.....	155
Taula 95. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 7000TL.....	156
Taula 96. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Campus Esport.....	156
Taula 97: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Campus Esport.	157
Taula 98. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Campus Esport per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.....	158
Taula 99. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Campus Esport per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	158
Taula 100: Balanç energètic mensual de l'escenari 1.	160
Taula 101. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaiques de l'escenari 1, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.....	162
Taula 102. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaiques de l'escenari 1, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	162
Taula 104. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaiques a desplegar a aparcaments i grans terrenys de la UIB, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.	164
Taula 105. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaiques a desplegar a aparcaments i grans terrenys de la UIB, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.....	164
Taula 103: Balanç energètic mensual de l'escenari 2.	166
Taula 106: Balanç mensual energètic i econòmic de l'escenari 3.....	167
Taula 107. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaiques a desplegar a l'escenari 3, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.	168
Taula 108. Resultats de l'amortització de les instal·lacions a desplegar a l'escenari 3, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.	169

INTRODUCCIÓ

INTRODUCCIÓ

L'energia té un paper clau en el desenvolupament social i econòmic d'un país. Dintre de les diferents fonts d'energia que es poden fer servir, l'energia elèctrica o electricitat és una de les més rellevants atesa la seva versatilitat i la seva presència en pràcticament tots els sectors socioeconòmics d'un país. Segons el *"Libro de la Energía en España 2019"* del Ministeri per a la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic (MITECO), l'electricitat va suposar a Espanya el 20 % del consum energètic final del país i el seu ús es destina principalment a la indústria i al sector residencial i serveis ("otros" en la Figura 1).

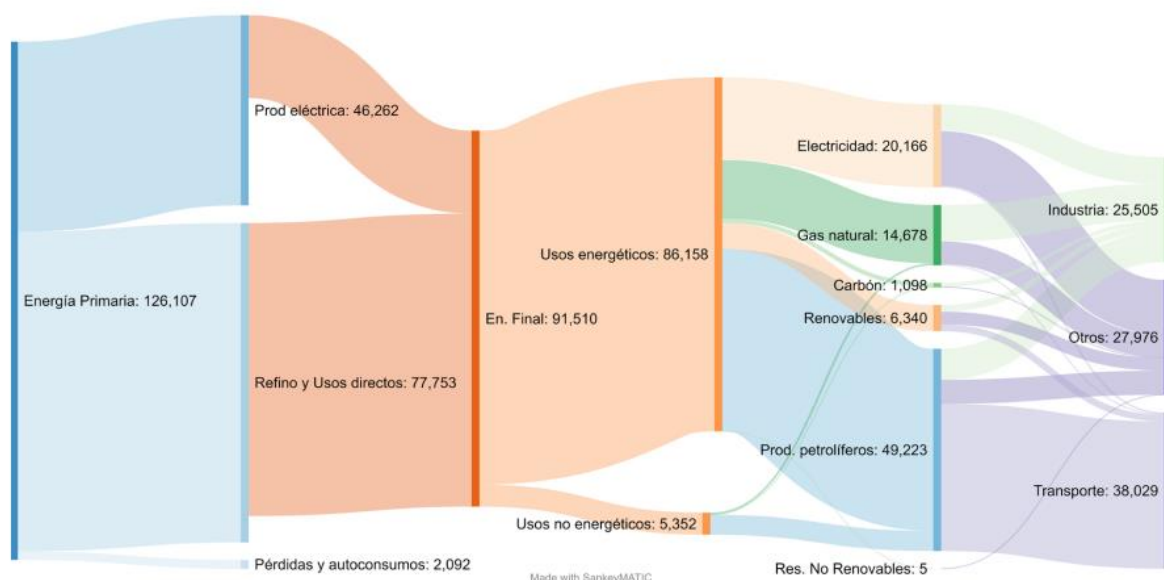


Figura 1. Estructura energètica espanyola en 2019, en [ktep]. Font: MITECO [1].

L'esgotament dels recursos fòssils, la preocupació creixent per les emissions de gasos d'efecte hivernacle i el canvi climàtic han provocat la necessitat de transformar el sistema energètic a tot el món. Per aquest motiu, el sistema elèctric espanyol, i els europeus en general es troben en un procés de transició energètica basada en l'increment de l'ús d'energies renovables, la millora de l'eficiència energètica i l'electrificació dels sectors productius principals per reduir el consum de combustibles fòssils. Aquesta situació ha conduït a la fixació d'uns objectius mediambientals a nivell europeu que, juntament amb altres factors com la pujada dels preus dels combustibles fòssils o l'impacte de la COVID-19, han repercutit en el preu de l'energia elèctrica els darrers anys.

El present estudi analitza tècnica i econòmicament diferents escenaris de generació fotovoltaica a desplegar al Campus de la Universitat de les Illes Balears, ubicat a la carretera de Valldemossa km 7.5, amb l'objectiu de reduir el seu consum elèctric net i els costos energètics associats a la seva activitat.

El present document s'estructura al voltant de 5 capítols. En el capítol 1, s'introdueix l'evolució dels preus energètics a la UE, així com les causes de l'increment dels costos energètics. En el capítol 2, s'analitza la demanda energètica i l'evolució dels costos energètics de la Universitat de les Illes Balears. En el capítol 3, es presenten les principals mètriques emprades per avaluar la rendibilitat financera d'inversions, i la metodologia resseguida per calcular els períodes d'amortització de les plantes fotovoltaïques. En el capítol 4, es presenten els pre-dissenys de les instal·lacions d'autoproducció fotovoltaïques potencialment desplegable sobre les cobertes dels edificis i en els terrenys designats com a prioritari al Campus de la UIB. A la vegada s'incorpora una descripció dels equips emprats en la proposta, el cost de la inversió de cadascuna de les propostes i un anàlisi de diferents escenaris d'amortització. Finalment, en el capítol 5 s'aborden tres escenaris de desplegament de les instal·lacions d'autoproducció fotovoltaïca amb els corresponents anàlisis de la mitigació dels costos energètics al Campus de la UIB.

CAPÍTOL 1

EVOLUCIÓ DELS PREUS DE L'ENERGIA

En aquest capítol s'analitza l'evolució dels preus energètics a la Unió Europea (UE), així com els aspectes relacionats amb l'increment dels preus de l'electricitat, procés que es va iniciar a mitjans de l'any 2021 (**Figura 2**).



Figura 2: Evolució del preu diari de l'electricitat. Font: OMIE

Donat que l'increment de la factura elèctrica és essencialment el resultat de la combinació de tres factors, seguidament s'explicarà en detall la influència que tenen l'increment del preu dels drets d'emissió de CO₂ de la Unió Europea (UE), l'increment dels preus del gas natural, i la reforma de la tarifa elèctrica.

EVOLUCIÓ DELS PREUS ENERGÈTICS ALS MERCATS MAJORISTES DE LA UE

A dia d'avui, la UE està experimentant un augment rècord en els preus de l'energia, fet que complica la recuperació econòmica posterior a la pandèmia del Sars-CoV-19 al contribuir a disparar la inflació, i posant inclús en perill la incipient transició ecològica dels països. Si s'observa la **Figura 3**, es pot veure que al llarg de tot l'any 2021 hi hagué una tendència alcista als mercats majoristes europeus, que a partir del segon semestre inclús es va accentuar.

Si s'analitza el cas del mercat elèctric majorista espanyol es pot veure que el preu mitjà del mercat al primer semestre de l'any 2021 fou de 58,26 €/MWh, mentre que en el segon semestre del mateix any va pujar fins als 164,50 €/MWh. Aquest increment és el resultat d'una sèrie de factors de mercat, i factors geo-polítics que s'han combinat provocant una situació que no presenta signes de mitigar-se, donat que es causada per un conjunt de problemes temporals i estructurals que la prolongaran en el temps. Concretament, les causes principals del creixement del preu de mercat de l'electricitat es poden atribuir a l'encariment del preu dels drets d'emissió de CO₂ i de l'augment del preu del gas

natural (GN) als mercats internacionals, degut a l'increment de la demanda, fruit de la recuperació de l'activitat econòmica derivada de la sortida de la pandèmia del Sars-CoV-19.

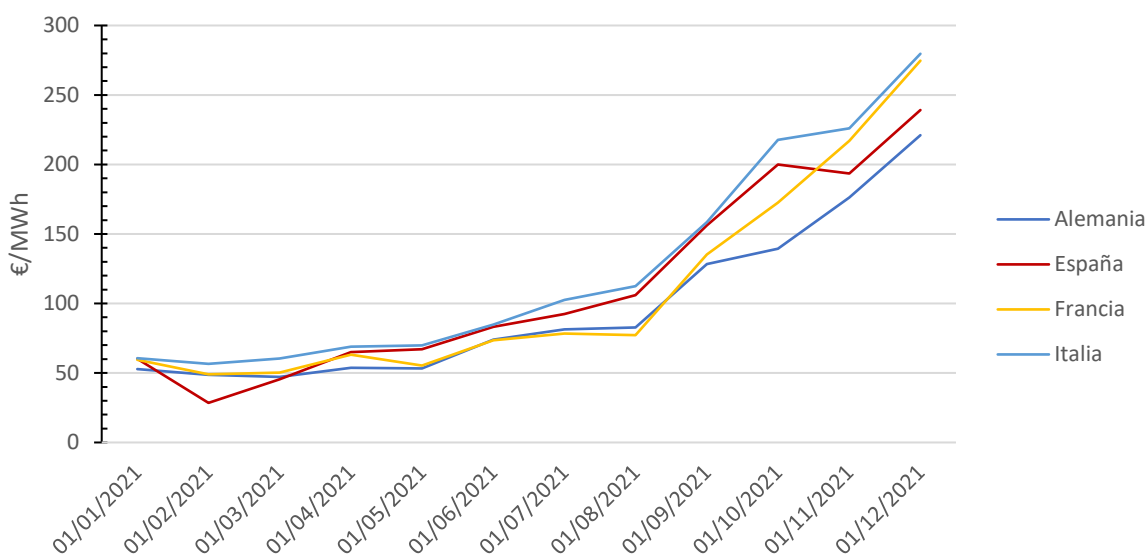


Figura 3: Preu de l'electricitat als mercats majoristes europeus, 2022. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de REE [2], [3].

ELS DRETS D'EMISSION DE CO₂

Un dels mecanismes que va introduir la UE per a frenar l'efecte del Canvi Climàtic va ser la introducció dels anomenats drets d'emissió de CO₂. Des de la seva creació a l'any 2005, el Règim de Comerç de Drets (RCDE UE) assigna anualment una quantitat limitada de drets d'emissió a cada país de la UE. Seguidament, cada estat distribueix de forma autònoma els drets que ha rebut entre les grans empreses emissores de gasos d'efecte hivernacle (GEH) gratuïtament i/o mitjançant subhastes públiques. L'assignació gratuïta es reserva per als sectors que pateixen més les exigències del mercat d'emissions, per exemple, el sector de l'aviació. En el cas de les entitats generadores elèctriques no renovables, cal mencionar que la majoria han de fer ús de les subhastes públiques per poder cobrir les emissions que generen cada any, i evitar fortes sancions econòmiques. En el cas d'Espanya, aproximadament unes mil instal·lacions es veuen afectades per aquestes limitacions, sent les tres empreses més contaminants Repsol (12,4 %), Endesa (10%), i Naturgy (6,6%) [4].

Els objectius actuals de reducció d'emissió de GEH de la UE, amb els quals es pretén reduir almenys un 55 % les emissions fins al 2030, i dirigir les seves economies cap a la "neutralitat climàtica" al 2050, han implicat una major càrrega econòmica a les empreses emissores incrementant el preu dels drets d'emissió, **Figura 4**. Addicionalment, cal mencionar que aquest increment s'ha vist potenciat per la reducció del volum de drets emesos (aproximadament un 1,74 % anual entre el 2013 al 2020), i l'augment de la demanda d'aquests. A partir de l'any 2018, any en què entrà en vigor la revisió del marc normatiu aprovat per l'Acord de París de l'any 2015, s'han emès menys drets d'emissió de CO₂ i el nombre d'instal·lacions que els reben gratuïtament també s'ha reduït[5].

La producció d'energia elèctrica a partir de combustibles fòssils és responsable de gairebé la meitat de les emissions dels gasos amb efecte hivernacle que estan subjectes al RCDE a Espanya. Per tant, l'enduriment de les polítiques mediambientals s'ha traslladat directament a la factura elèctrica de tots els ciutadans europeus. Per exemple, les centrals de cicle combinat solen emetre unes 0,37 tones de CO₂ eq. per cada MWh d'energia elèctrica produïda. Això implica que, a l'hora de vendre la seva energia, el productor incrementarà el cost de l'energia en més de 26 €/MWh (0,37 tCO₂/MWh x 70

€/tCO₂) per compensar aquest sobre cost [14]. Les centrals de cycle combinat i de carbó són les més contaminants i per tant les més afectades per els drets d'emissió. En conseqüència, els països de la UE que tenen un mix energètic amb una major presència de tecnologies que empen combustibles fòssils com a font primària per generar electricitat, experimentaran una major repercussió en la factura elèctrica.

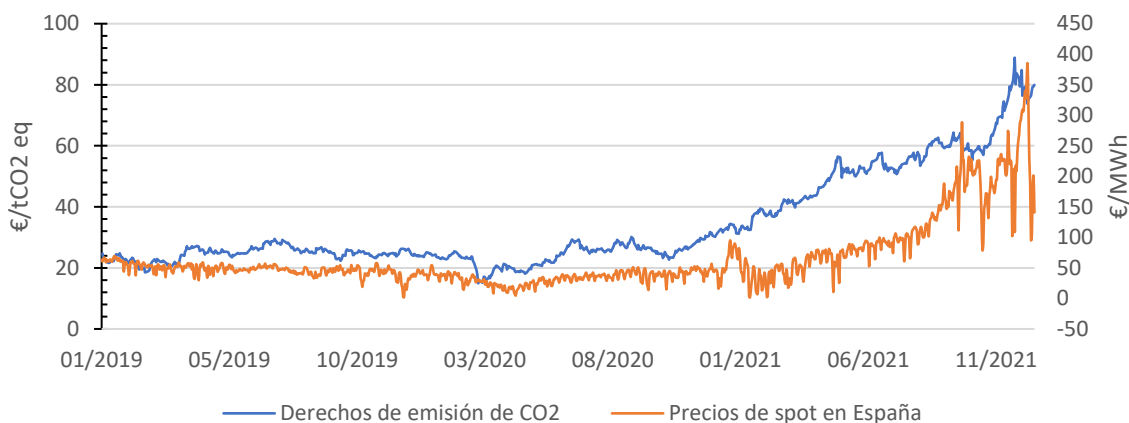


Figura 4: Evolució del preu dels drets d'emissió de CO₂ a Europa. Font: Elaboració pròpia a partir de Dades de Sendecoz i REE.

Si s'analitza la correlació entre el preu de l'electricitat al mercat majorista, i les tecnologies generadores d'emissores i les no emissores, **Taula 3**, es pot apreciar la influència que ha tingut l'increment dels preus dels drets d'emissió de CO₂ sobre el preu de l'electricitat dels diferents països de la UE.

Taula 1: Coeficients de correlació entre la evolució dels preus majoristes de l'electricitat i l'evolució dels preus dels drets d'emissió de CO₂, per l'any 2021

Paràmetres	Espanya	Portugal	Itàlia	Països Baixos	França	Bèlgica	Alemanya
Coeficient de Correlació	0,86	0,86	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81
Percentatge de fonts d'energia no emissores de CO ₂ en el mix de generació dels diferents països, any 2021 [%]	67%	63%	41%	37%	91%	75%	52%

PREU DEL GAS NATURAL

D'acord al *Dutch Title Transfer Facility* (TTF), de referència a Europa en quan al comerç amb gas natural a futurs, els preus s'ha incrementat passant de 15,09 €/MWh a principis de gener del 2021, als 112,15 € de principis del mes d'abril del 2022, amb pics entremitjos de per exemple 217,29 €/MWh el 7 de març [6]. Aquesta pujada de més del 743,2 % evidentment ha implicat un increment del preu de l'electricitat als diferents països de la UE, especialment durant els mesos de tardor i hivern on han disminuït les temperatures i la calefacció s'ha convertit en indispensable.

Si es fa un balanç global a partir del mix energètic dels diferents països de la UE, es pot veure com s'empra gas natural i carbó com a matèria prima per generar el 35 % de l'electricitat total, i el 20 % només amb gas natural. Ara bé, cal tenir en compte que hi ha diferències considerables entre els mix energètics dels països de la UE. Per una banda hi ha països com Suècia, França i Luxemburg on els combustibles fòssils juguen un paper residual, i per altra banda hi ha països com els Països Baixos, Polònia, Malta, on s'obté més del 60 % de la producció total d'electricitat a partir de combustibles fòssils.

A mesura que s'ha anat avançant cap al desplegament massiu de fonts renovables, s'ha intentat transitar cap a una generació elèctrica menys contaminant substituint el carbó per gas natural, de manera que aquest ha guanyat en importància als mix de generació. Per tant, a pesar de que a l'any 2020 les energies renovables es varen convertir en la font d'electricitat més important de la UE, el seu desplegament es insuficient i massa desigual entre els diferents països per poder contenir la tendència a l'alça del preu de l'electricitat derivat de l'increment del preu del gas natural als mercats internacionals.



Figura 5: Evolució dels preus del Gas Natural a futurs per al període 2021-2022. Font: Elaboració pròpia a partir de dades d'Intercontinental Exchange, Inc (ICE)

Actualment hi ha una gran preocupació per totes aquestes circumstàncies, ja que no està gens clara la capacitat de la UE per a frenar aquesta tendència a l'alça dels mercats energètics, atès a que la gran majoria dels combustibles fòssils emprats són importats. La dependència energètica de la UE és un dels seus principals problemes, ja que deixant de banda els jaciments de gas i petroli del mar del Nord, insuficients per abastir la regió, l'Europa occidental no disposa de fonts d'energia fòssils. Aquesta situació ha portat a que al llarg de les darreres dècades s'ha desplegat una densa xarxa de gasoductes al llarg d'Europa, que permeten importar gas natural canalitzat provinent de Rússia, Noruega, Algèria o Azerbaidjan. També s'ha implementat una gran xarxa de plantes de regasificació al llarg dels principals ports europeus, per permetre el subministrament de Gas Natural Liquefiet (GNL), encara que el preu d'aquest gas sol ser unes 3 vegades major que el del gas canalitzat. Ara bé, independentment del seu elevat cost, es una alternativa per reduir la dependència front a Rússia, especialment important des del inici de la invasió de Ucraïna per part de Rússia [7].

L'extraordinària pujada del preu del gas natural des de l'inici del conflicte bèl·lic entre Rússia i Ucraïna, ha posat de manifest que aquestes actuacions no són suficients, i que resulta fonamental impulsar el desplegament de fonts renovables, l'eficiència energètica, i l'autoconsum, per tal de reduir la dependència energètica de la UE.

CAUSES DE L'ENCARIMENT DELS PREUS DE L'ENERGIA

L'increment desmesurat del preu de l'electricitat ha estat provocat per un conjunt de circumstàncies que s'han donat de forma simultània. Per una banda, la reactivació de l'activitat industrial una vegada finalitzades les restriccions imposades per la pandèmia, va suposar un increment de la demanda que va implicar una pujada del preu de l'electricitat. A més a més, hi ha hagut una oferta reduïda de gas natural al mercat global, una disminució de la generació eòlica respecte a l'any 2020, fets que han coincidit amb la recent reducció i/o eliminació del carbó del mix de generació elèctrica europea.

Els problemes van començar a sorgir a l'hivern del 2020-2021 quan les temperatures del continent van ser més fredes del que s'esperava, cosa que es va traduir en una demanda d'energia més alta de

l'habitual per escalfar els edificis. Això va desencadenar una marcada disminució de les reserves de gas, que van assolir un preocupant nivell del 30 % el març del 2021 [8]. A la primavera, a mesura que la campanya de vacunació cobrava impuls a tot el continent, l'activitat comercial va començar a intensificar-se ràpidament, amb la reobertura d'oficines, restaurants, oferta cultural, etc. Fet que va comportar que els consumidors sortissin en massa, augmentant dràsticament el consum de tot tipus de bens.

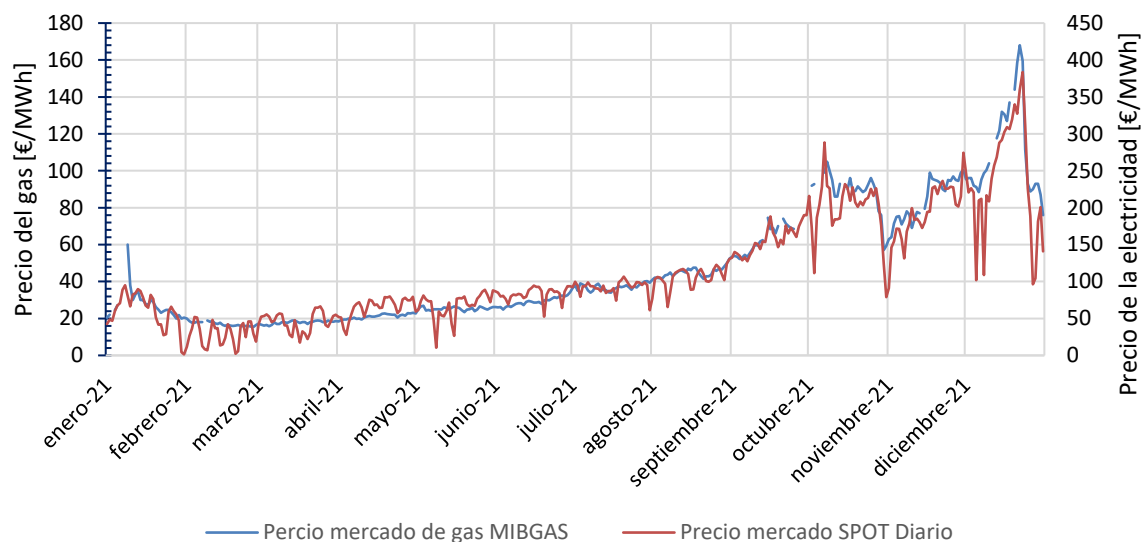


Figura 6: Preus del mercat de gas i electricitat a Espanya, l'any 2021.

La conseqüent recuperació de l'activitat econòmica va provocar una nova onada de demanda energètica, que va augmentar encara més al llarg de l'estiu 2021, **Figura 6**, quan les altes temperatures que es van donar van empènyer als ciutadans a fer servir massivament els seus sistemes de climatització. Coetàniament, els països del sud-est asiàtic es van unir a Europa en la reactivació de les seves economies devastades pels efectes del COVID-19, demandant progressivament més gas natural. Tot això va portar a una situació de demanda creixent de gas natural, sense un augment de l'oferta per part dels països productors.

Tal com s'ha comentat anteriorment, els països europeus satisfan la seva demanda de gas natural a través de gas canalitzat per gasoductes provinents de Rússia, Noruega, Algèria, i Azerbaidjan, per ordre d'importància de subministrament. L'exportador de gas natural amb més rellevància per la comunitat europea és Rússia, que cobreix al voltant del 40 % de la demanda total. Ara bé, amb un pes molt variable en funció del país. Per exemple, subministra pràcticament la totalitat del gas que demanen els Països Bàltics, Suècia i Finlàndia; més del 50 % de la demanda de països com Polònia, Txèquia, Eslovàquia, o Àustria; i al voltant del 40 % del subministrament d'Alemanya. El segon exportador de gas natural canalitzat més important de la UE és Noruega, que subministra al voltant del 33 % de la demanda total, a través de gasoductes que van des de les plataformes gasífers del mar del Nord, a través del Regne Unit, i arriben fins als Països Baixos, des d'on es distribueix el gas cap a l'Europa occidental. El tercer exportador de gas natural canalitzat més important a la Unió Europea és Algèria, principal subministrador d'Espanya, Portugal, Itàlia i França. Finalment, el quart exportador de gas natural canalitzat a la UE és Azerbaidjan, que fa el subministrament a través del gasoducte transadriàtic (TAP) que creua Grècia, Albània, i el mar Adriàtic i finalitza al sud d'Itàlia. Aquest es connecta amb el gasoducte de Gas Natural Transanatolio (TANAP) que discorre entre Turquia, Geòrgia i el jaciment Shah Deniz II, a l'Azerbaidjan. Ara bé, aquest gasoducte està incomplet,

de manera que la quantitat de gas procedent de l'Azerbaidjan és relativament petita comparat amb el total importat.

Cal remarcar que, malgrat els alts preus els països productors han mantingut els seus volums regulars de subministrament de gas, no augmentant-los al llarg del 2021 i 2022. Aquest fet va suscitar moltes suspicàcies al seu moment (l'exemple més significatiu es el cas de Gazprom (Rússia)), i a dia d'avui s'està investigant per part de la comissió europea per tal de veure si l'empresa russa Gazprom està retenint gas per impulsar l'aprovació del gasoducte Nord Stream 2 [9]. Habitualment, si el preu del gas natural augmenta els proveïdors aprofiten per vendre una major quantitat a un preu més alt, de manera que la situació del 2021 on el preu del gas natural va batre rècords va ser atípica degut a que no se va incrementar el volum de venda. A més, durant l'estiu el preu del gas natural sol ser més baix, ja que hi ha menys demanda, fet que combinat amb la impossibilitat de tancar jaciments temporalment, provoca que les empreses operadores dels sistemes gasístics nacionals de la UE aprofitin aquest moment per emmagatzemar gas a grans dipòsits estacionals per a disposar de reserves estratègiques abans que arribi l'hivern. L'escalada dels preus que es va donar al llarg de l'estiu del 2021 va interrompre aquesta practica i les reserves estacionals no es van reposar com era habitual. En conseqüència, el preu del gas natural s'ha disparat encara més al llarg de l'hivern, provocant una pujada del preu mitjà de l'electricitat de més d'un 230 % a llarg del darrer any. Aquesta interrelació entre el mercat del gas natural i el mercat elèctric s'ha de cercar en les regles del mercat energètic de la UE, que al llarg de les darreres dècades s'ha desplegat i que integra a els mercats energètics dels països membres sota unes mateixes regles.

El mercat majorista d'electricitat de la UE funciona sobre la base de preus marginals, també conegut com a "Mercat de pagament per liquidació". En aquest sistema, tots els generadors d'electricitat, des dels que generen mitjançant combustibles fòssils fins als que ho fan amb fonts renovables, com ara la hidràulica, l'eòlica i les fotovoltaïques, participen al mercat i ofereixen energia d'acord amb els seus costos de producció i el seu marge de benefici esperat. La licitació del mercat s'inicia cobrint la demanda esperada mitjançant els generadors més barats, essencialment les centrals nuclears i les fonts renovables, i acaba amb els generadors elèctrics amb uns costos més grans, generalment els vinculats amb l'ús del carbó i especialment amb el gas natural. Atès que la majoria dels països de la UE encara depenen dels combustibles fòssils per satisfer el conjunt de la demanda energètica, el preu final de l'electricitat sovint es fixat per les centrals tèrmiques que empren carbó o gas natural. En conseqüència, sí el gas es torna més car, les factures d'electricitat inevitablement augmenten, a pesar de que hi hagi una aportació significativa de fonts renovables.

CAPÍTOL 2

LA SITUACIÓ ENERGÈTICA DEL CAMPUS DE LA UIB

En aquest capítol s'analitza la situació actual de la demanda elèctrica i l'evolució dels costos elèctrics de la Universitat de les Illes Balears. Així com les actuacions preses per part de la universitat de les Illes Balears per a mitigar els increments dels costos energètics.

DEMANDA ELÈCTRICA DEL CAMPUS DE LA UIB

Per a estimar la demanda energètica del Campus de la UIB s'ha partit de les dades de consum del comptador elèctric de mitja tensió (MT) dels darrers 6 anys (**Figura 7**), ubicat al punt frontera de la instal·lació. S'ha seleccionat aquest comptador, donat que el consum elèctric en aquest punt inclou les pèrdues degudes a la distribució a través de l'anell de mitja tensió propietat de la UIB i per tant es correspon amb el consum real del campus.

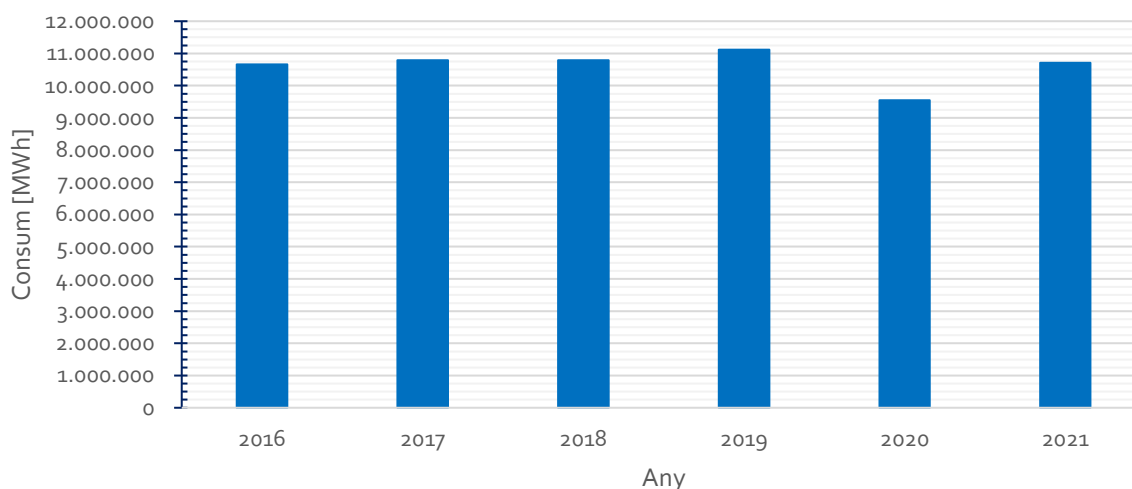


Figura 7: Consums energètics anuals agregats de la UIB en el punt frontera, per el període 2016-2021.

Si s'analitza els consums elèctrics del campus de la UIB al llarg del període 2016-2021, ometent el consum de l'any 2020, donat que aquest no es representatiu degut al confinament i el teletreball, es pot apreciar com s'ha mantingut relativament constant, amb un consum mig anual històric de **10.814,3 MWh/any** i una desviació estàndard de **±179,4 MWh/any**.

Seguidament s'ha analitzat el consum mensual de la UIB al llarg dels diferents anys, el resultat ha mostrat com aquest es ve mantenint relativament constant al llarg dels anys. A la vegada, donat que El anàlisis dels consums mensuals del campus per als anys que presenten un consum inclòs a dintre

del rang de confiança **[10.993,7 – 10.634,9] MWh/any**. Pel present estudi, s'ha acordat considerar el consum agregat dels diferents mesos de l'any 2021 com a referència, **Figura 8**.

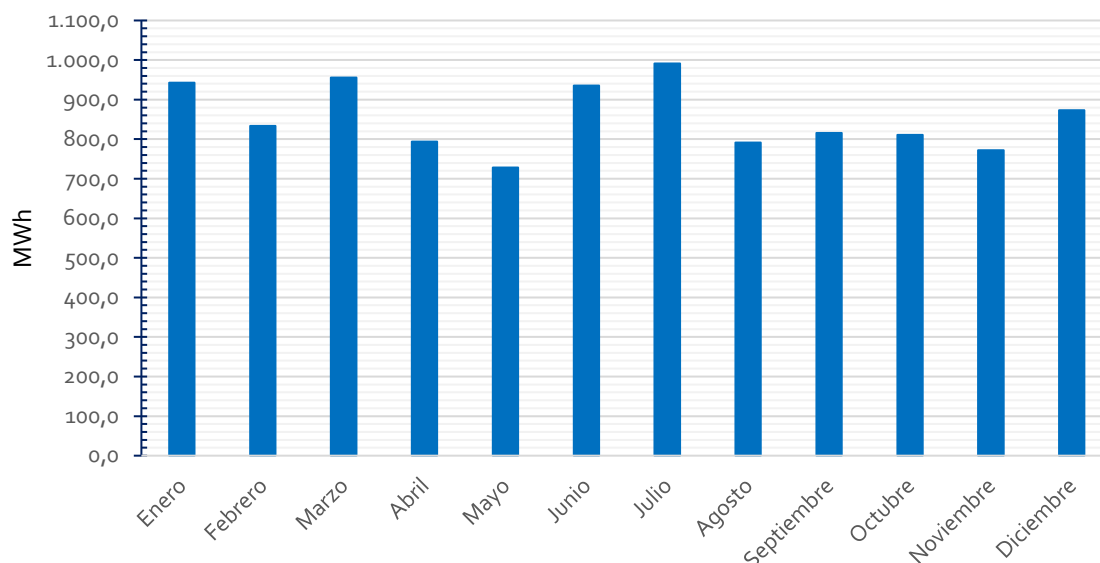


Figura 8: Consums energètics mensuals del Campus de la UIB en el punt frontera, per l'any 2021.

Al llarg de 2021 la demanda elèctrica mitja mensual del Campus fou de **853,76 MWh/mes**, amb una desviació estàndard de **±84,08 MWh/mes**, i una demanda elèctrica anual de **10.245,1 MWh/any**.

EVOLUCIÓ DELS COSTOS ELÈCTRICS DE LA UIB

Com s'ha indicat a l'apartat anterior el consum mig anual de la UIB es ve mantenint relativament estable al llarg dels anys, al voltant d'un valor de **10.814,3±179,4 MWh/any**. Ara bé, els costos de la factura elèctrica de la UIB, **Figura 9**, s'han vist incrementats al llarg de l'any 2021 de manera desmesurada arran de l'escalada del preu de l'energia elèctrica i del gas natural.

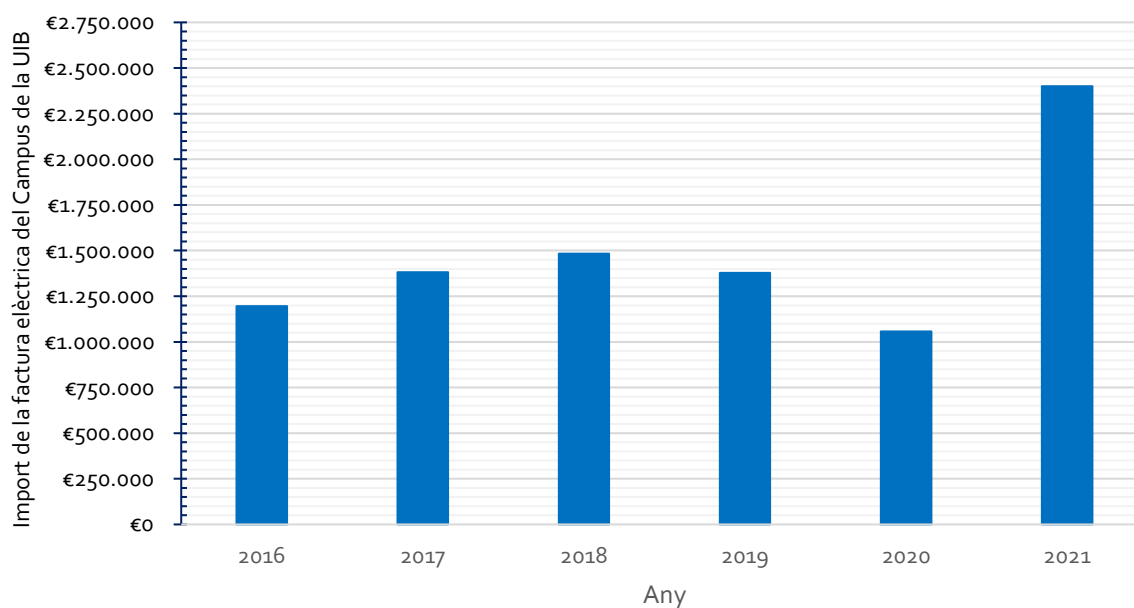


Figura 9: Evolució dels costos de la factura elèctrica del Campus, per el període (2019-2021).

El cost de la factura elèctrica al igual que la demanda energètica del campus de la UIB en el període (2016-2019), s'ha descartat l'any 2020 per no ser representatiu, s'havia mantingut constant al voltant dels **1.359.647 ± 119.555 €**. Ara bé, l'any 2021 el cost de la factura elèctrica del campus ha escalat fins als **2,4 M €**, el que representa un increment del **76,5 %** respecte als costos elèctrics previs, uns costos que la UIB ha hagut de cobrir amb fons propis. A ran d'aquesta situació energètica tan delicada, el "Servei de Patrimoni, Contractació, Infraestructura i Unitat Tècnica" de la UIB va presentar diverses projeccions sobre l'evolució de la factura elèctrica, que indicaven que en funció de l'evolució del mercat energètic global, la factura elèctrica es situaria en l'interval dels **[3,7-5,9] M €** si no es reduïa immediatament la demanda elèctrica del campus. Per fer-se una idea, percentualment aquest increment del cost significaria que la factura pujaria entre un **272%-434%**, respecte als costos energètics del període 2016-2019.

Per exemple, un dels escenaris analitzats implicava un cost mig horari del pool elèctric de **277,78 €/MWh**, escenari molt optimista, i un consum anual del campus de **10.711,53 MWh**. En aquest cas els costos elèctrics anuals projectats de la UIB ascendien als **3,7 M€**. Per altra banda, suposant el mateix escenari, però actuant sobre el sistema de climatització del campus i reduint la demanda elèctrica del campus fins als **9.217,32 MWh**, la factura elèctrica projectada era de **3,2 M€** (aconseguint un estalvi de **523,3 k€/any**). A la vegada, suposant el mateix escenari en quan a preu de l'electricitat, però amb una docència en línia, la demanda energètica es podria reduir fins als **8.102,11 MWh**, donant lloc a un import de la factura elèctrica de **2,8 M€** (aconseguint un estalvi de **904,3 k€/any**).

PLA PER FER FRONT A LA SITUACIÓ D'EMERGÈNCIA ENERGÈTICA A LA UIB

Davant l'evolució dels costos de la factura elèctrica projectada per l'any 2022, presentada anteriorment, el Consell de Direcció de la UIB va aprovar un "pla per fer front a la situació d'emergència energètica", que va entrar en vigor el 14/03/2022, amb l'objectiu de reduir el consum i el cost de la factura elèctrica, atesa l'escalada de preu de la factura elèctrica i del gas que han conduït a la UIB a una situació d'emergència energètica. Aquestes mesures de racionalització del consum es prengueren per assegurar que l'activitat pròpia de la Universitat, la docència, la investigació i la transferència de coneixement, pogués continuar.

En el marc d'aquest pla s'acordaren un conjunt d'actuacions, que es detallen a continuació:

- Anul·lació de tots els sistemes de climatització, excepte aquells imprescindibles per motius de seguretat a les instal·lacions crítiques, o per assegurar la continuïtat de l'activitat investigadora. No es permet l'ús d'aparells de calefacció o de refrigeració individuals.
- Una vegada acabada la jornada laboral, es obligatori apagar tots els aparells informàtics connectats a la xarxa elèctrica, i apagar tots els llums de les dependències buides.
- Reducció de l'enllumenat exterior del campus a 1/3 de la seua capacitat, excepte el de llocs sensibles com és la residència d'estudiants. Per contrarestar aquesta retallada, s'incrementarà el servei de seguretat del campus.
- Durant els períodes no lectius de pasqua, nadal i estiu, els únics edificis que romandran oberts seran el de Son Lledó, i l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda.
- Avançament de l'hora de tancament dels edificis a partir del dia 1 d'abril, de les 22:00 h a les 21:00 h.
- Acceleració del procés d'elaboració, per part del Servei Tècnic i d'Infraestructures i el Departament d'Enginyeria Industrial i Construcció, d'un pla per instal·lar plaques fotovoltaïques al campus de la UIB, per tal d'aconseguir la neutralitat climàtica a l'any 2030.

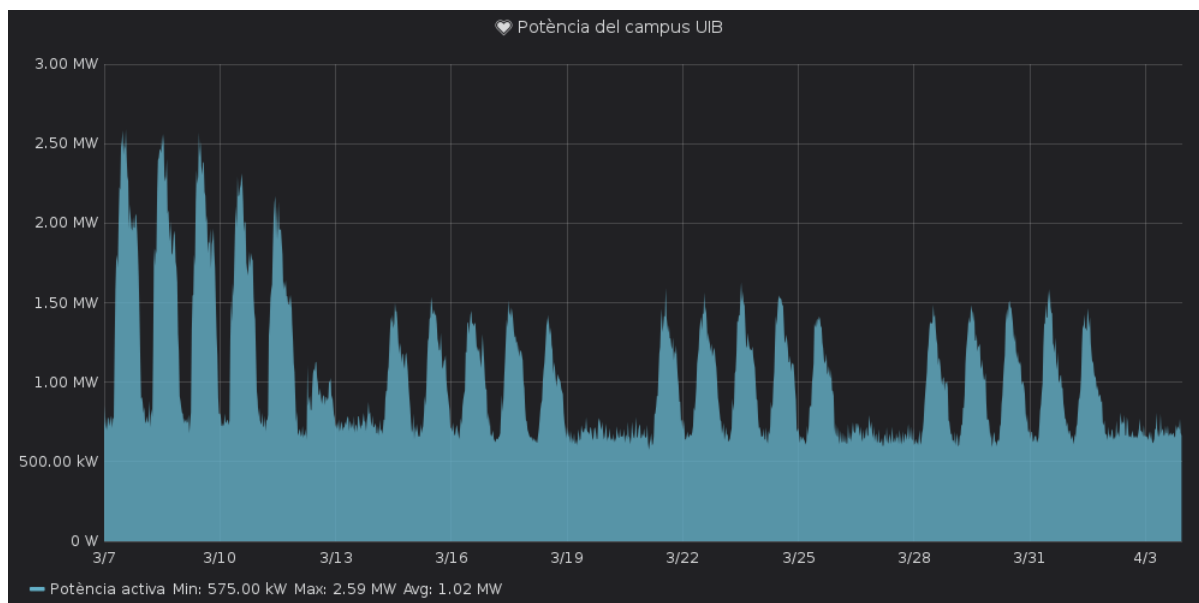


Figura 10: Impacte del “pla per fer front a la situació d'emergència energètica” sobre la demanda elèctrica del campus de la UIB, període 07/03/2022 – 03/04/2022

RESULTATS DEL PLA DE RACIONALITZACIÓ ENERGÈTICA

El “Servei de Patrimoni, Contractació, Infraestructura i Unitat Tècnica” a petició del Consell de Direcció de la UIB va realitzar un anàlisi inicial de l'efecte de l'aplicació de les mesures derivades de l'emergència energètica. L'abast d'aquest anàlisi té per objecte comparar la tendència del consum elèctric del campus de la UIB en els períodes anteriors a la setmana del 14 al 20 de març de 2022, essent aquesta la primera d'aplicació de mesures del “Pla per fer front a la situació d'emergència energètica” a la UIB.

Concretament, s'han comparat cinc períodes, de P1 a P5. Cada un d'aquests períodes contempla el consum d'energia activa al llarg d'una setmana completa, de dilluns a diumenge. Així doncs, els períodes considerats com a representatius són els següents:

- P1: Setmana del 7 al 13 de març de 2022.
 - Aquest període es correspon amb la setmana anterior a la implantació del pla per part de la UIB en matèria d'emergència energètica.
 - El consum total d'energia activa al Campus de la UIB va ser de **224,26 MWh**.
- P2: Setmana del 15 al 21 de març de 2021.
 - Aquest període representa el consum habitual en un mateix període, de l'any anterior. Així, sense considerar les possibles diferències en la climatologia, es vol obtenir una mostra orientativa del consum d'energia activa al Campus de la UIB amb un any de diferència.
 - El consum d'energia activa al Campus de la UIB va ser de **220,37 MWh**.
- P3: Setmana del 14 al 20 de març de 2022.
 - Aquest període mostra el consum d'energia després de prendre mesures en matèria d'emergència energètica.
 - El consum d'energia activa al Campus de la UIB va ser de **153,52 MWh**.
- P4: Setmana del 21 al 27 de març de 2022.
 - El consum d'energia activa al Campus de la UIB va ser de **153,27 MWh**.
- P5: Setmana del 28 de març al 3 d'abril de 2022.
 - El consum d'energia activa al Campus de la UIB va ser de **151,97 MWh**.

A la vista de les dades de consum elèctric del campus de la UIB als períodes P1 i P2, períodes amb els sistemes de climatització en funcionament, podem observar com els valors de consum d'energia activa al Campus de la UIB son molt semblants. Així es pot establir que el consum d'energia activa al Campus de la UIB durant les setmanes prèvies a la implantació del pla fou aproximadament de **220 MWh/setmana**. Si es passa a comparar amb el consum de les tres setmanes posteriors a l'aplicació del pla, P3 a P5, amb els consums previs d'energia activa del Campus de la UIB, el consum energètic del campus de la UIB s'ha **reduït en aproximadament un 31%**. A la **Figura 10** es presenta el perfil de consum del campus abans i després d'aplicar les mesures d'estalvi del "Pla per fer front a la situació d'emergència energètica" al campus de la UIB. Finalment, suposant un escenari de cost mig de l'energia de 250€/MWh, s'estima que el cost total de la factura elèctrica hagués sigut de **4.286.854 €/any**, mentre que implantant les mesures d'estalvi i considerant una reducció mitja efectiva del 30 % del consum, el cost estimat de la factura elèctrica seria de **3.678.899 €/any**, aconseguint un estalvi aproximat del **15 %** o de **608 k€/any**, al llarg de 2022.

CAPÍTOL 3

AMORTITZACIÓ DE PLANTES ENERGÈTIQUES

L'estimació de la amortització d'una planta energètica, com es el cas d'una planta fotovoltaica en regim d'autoconsum, requereix de la determinació del període d'amortització i de la rendibilitat de la planta amb l'objectiu de determinar si es recuperarà o no el cost de la inversió al llarg de la vida útil de la instal·lació.

En aquest capítol s'introduiran les diferents mètriques econòmiques o indicadors habitualment emprades en estudis d'aquest tipus, per a continuació introduir la metodologia resseguida en aquest estudi per a estimar l'amortització de les deferents plantes fotovoltaiques a desplegar en el campus de la UIB.

MÈTRIQES ECONÒMIQUES PER L'AVALUACIÓ DE PROJECTES

L'estimació de la amortització d'una planta energètica, com es el cas d'una planta fotovoltaica, requereix de la determinació del període d'amortització i de la rendibilitat de la planta amb l'objectiu de determinar si es recuperarà o no el cost de la inversió.

DETERMINACIÓ DEL PERÍODE D'AMORTITZACIÓ D'UNA INVERSIÓ

A l'hora de determinar el període d'amortització d'una inversió les dues opcions mes simples son determinar el període de retorn de la inversió simple o el període de retorn de la inversió descomptat. També existeixen altres mètodes d'avaluació d'inversions, que son complementaris als dos anteriors, com és el cas del Valor Actualitzat Net (VAN) o la Taxa Interna de Retorn (TIR) habitualment emprats en els estudis d'amortització, i que es presenten en el subapartat de Rendibilitat Financera.

PERÍODE DE RETORN DE LA INVERSIÓ SIMPLE

El Període de Retorn de la Inversió Simple (PRI) o *Payback* és un criteri simple per determinar el període de temps requerit per recuperar el capital inicial d'una inversió. Mitjançant el *Payback* es determina el nombre de períodes (normalment anys) que es triga a recuperar la inversió inicial realitzada. El Payback per a fluxos de caixa variables en els diferents períodes, com es el cas del present estudi, es determinarà restant a la inversió inicial els fluxos de caixa de cada període, fins arribar al període en què es recupera la inversió. Es pot emprar la següent expressió per calcular-ho:

$$I_0 = \sum_{t=1}^{PRI} F_t \rightarrow PRI = a + \left(1 - \frac{I_0 - b}{F_{PRI}}\right)$$

On:

- F_t : son els fluxos de caixa en cada període t , sent (t = un any) en el present estudi. Les seves unitats son [€].

- I_0 : Es correspon amb la inversió inicial en la planta de generació ($t=0$). Les seves unitats son [€].
- a : És el nombre de períodes de temps immediatament anteriors a recuperar la inversió inicial o el darrer període amb un flux de caixa acumulat negatiu. Les seves unitats son temps [anys].
- F_{PRI} : És el flux de caixa de l'any que es recupera la inversió. Les seves unitats son [€].
- b : Es correspon amb la suma dels fluxos de caixa immediatament anteriors al període en el que es recupera la inversió. Les seves unitats son [€].

Lògicament serà preferible una inversió on el període d'amortització sigui el menor possible. Per tant, ens trobem davant un mètode útil i senzill per determinar el temps que es triga en recuperar una inversió, ara bé, presenta algunes desavantatges:

- No considera qualsevol benefici o pèrdua que pugui sorgir posteriorment al període d'amortització.
- No considera la diferència de poder adquisitiu que es produeix al llarg del temps (inflació) / la devaluació dels diners al llarg del temps.

PERÍODE DE RETORN DE LA INVERSIÓ DESCOMPTAT

El *Període de Retorn de la Inversió Descomptat* (PRID) o *Payback Descomptat* és un mètode semblant al PRI, però que corregeix l'efecte del pas del temps en el fluxos de caixa, es a dir te en compte la devaluació del valor dels diners al llarg del temps. Per tant, el *Payback* descomptat permet determinar en quants de períodes de temps es recupera la inversió inicial, emprant els fluxos de caixa descomptats, que tenen en compte la devaluació dels diners al llarg del temps. S'obté calculant el període de temps que fa que el *Valor Actual Net* (VAN) sigui igual a zero. El *Payback* descomptat es calcula mitjançant la següent expressió:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{PRID} \frac{F_t}{(1 + t_d)^t}$$

On:

- I_0 : Es correspon amb el cost inicial de la inversió de la planta de generació ($t=0$). Les seves unitats son [€].
- F_t : Son els fluxos de caixa que es donen en cada període t , sent ($t = \text{un any}$) al present estudi. Les seves unitats son [€].
- t_d : Es la taxa de descompte de la inversió. Les seves unitats son tant per un.
- PRID: Nombre de períodes en els quals es recupera la inversió. Les seves unitats son temps [anys].

RENDIBILITAT FINANCERA

A l'hora d'analitzar la rendibilitat financera d'una inversió es sol partir de la *taxa de descompte*, donat que permet avaluar els projectes d'inversió ja que deixa traslladar al present, el valor dels diners que es rebran en un futur. Cal remarcar que, habitualment la *taxa de descompte* (t_d) resta valor als diners futurs quan els trasllada al present, a diferencia de la *taxa d'interès* (t_i), a menys que sigui negativa. Una taxa de descompte negativa implica que els diners del futur tenen un major valor que els diners del present, fet que no es sol modelar quasi mai així, donat que encara que es te l'expectativa de rebre uns diners en un futur, no hi ha una certesa total de que es rebran. Per aquesta raó, com més llunyana es troba la data en la qual es te previst rebre els diners, menys valdran en el present. Cal tenir en

compte que existeix una relació entre la taxa de descompte i els tipus d'interès, que es pot formular de la següent manera:

$$t_i = \frac{t_d}{(1 - t_d)}$$

A partir de la taxa de descompte es pot determinar el *Valor Actual Net (VAN)* de la inversió per a discernir si la inversió en la planta fotovoltaica es rentable o no. A la vegada, també permet determinar la *Taxa Interna de Rendiment (TIR)* que es correspon amb el tipus de descompte que fa que el VAN sigui zero.

VALOR ACTUAL NET

El *Valor Actual Net (VAN)* o *Net Present Value (NPV)* es un criteri d'inversió que consisteix en anar actualitzant els cobros i els pagaments de la inversió per conèixer el benefici o les pèrdues que es tindran amb la inversió. També es coneix com a Valor Net Actual (VNA), valor actualitzat net o Valor Present Net (VPN). Aquesta mètrica s'encarrega de portar tots el fluxos de caixa del futur al present descomptant-los una taxa de descompte fixada per l'usuari, presentant una taxa de rendibilitat del projecte en termes absoluts nets, en format monetari (€). Es calcula mitjançant la següent expressió matemàtica:

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + t_d)^t}$$

On:

- F_t : Son els fluxos de caixa en cada període t , sent (t = un any) al present estudi. Les seves unitats son [€].
- I_o : Es correspon amb la inversió inicial en la planta de generació ($t=0$). Les seves unitats son [€].
- n : Es el nombre de períodes de temps per el que s'avalua l'amortització. No pot ser mai major a la vida útil de la planta de generació.
- t_d : Es la taxa de descompte de la inversió. Les seves unitats son tant per un.

El VAN primerament permet identificar si les inversions son factibles, i llavors seleccionar la millor opció d'inversió en funció del retorn monetari que reportarà cada opció en un període determinat. Els criteris de decisió del VAN son els següents:

- $VAN > 0$: El valor actualitzat dels cobraments i pagaments futurs de la inversió, a la taxa de descompte triada generarà beneficis en "n" períodes de temps.
- $VAN = 0$: El projecte d'inversió no generarà ni beneficis ni pèrdues en "n" períodes de temps, de manera que, en termes econòmics, realitzar o no realitzar la inversió no presentarà cap efecte visible.
- $VAN < 0$: El projecte d'inversió generarà pèrdues en "n" períodes de temps, i conseqüentment no es recomanable, des d'una perspectiva econòmica, realitzar la inversió.

TAXA INTERNA DE RETORN

La *Taxa Interna de Retorn (TIR)* o *Internal Rate of Return (IRR)* representa la rendibilitat que ofereix una inversió. És a dir, indica el percentatge de benefici o de pèrdua corresponents a les quantitats de doblers que no s'han retirat del projecte fins a un període de temps determinat. Per tant, el TIR permet comprovar la viabilitat d'una inversió i comparar inversions entre elles, sent la millor opció la que presenta una TIR més elevada per un mateix període. Es pot definir com el valor de la taxa de

descompte (t_d) que fa que el VAN sigui igual a zero, per a un projecte d'inversió donat, i es calcula mitjançant la següent expressió:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t}$$

On:

- F_t : Son els fluxos de caixa en cada període t , sent (t = un any) en el present estudi. Les seves unitats son [€].
- I_0 : Es correspon amb la inversió inicial en la planta de generació ($t=0$). Les seves unitats son [€].
- n : És el nombre de períodes de temps per el que s'avalua l'amortització. No pot ser mai major a la vida útil de la planta de generació.
- TIR : És la *Taxa Interna de Retorn*. Les seves unitats son tant per un.

La TIR reporta una mesura relativa de la rendibilitat, és a dir, s'expressa en tant per cent. La principal dificultat a l'hora d'emprar aquest criteri de rendibilitat d'una inversió radica en el seu càlcul, donat que el nombre de períodes temps determina l'ordre de l'equació a resoldre. Els criteris de selecció de les inversions en funció a la TIR son:

- $TIR > t_d$: La TIR és superior a la t_d de la inversió (rendibilitat mínima exigida a la inversió). En conseqüència la inversió es factible.
- $TIR = t_d$: La TIR és igual a la t_d de la inversió. En conseqüència la situació es molt similar a la que es produeix quan el VAN es zero. En termes econòmics realitzar la inversió no implica ni un benefici ni una pèrdua.
- $TIR < t_d$: La inversió no assoleix la rendibilitat mínima demanada per la inversió, i consegüentment la inversió no es factible econòmicament.

Per tant, a l'hora de valorar la viabilitat un projecte d'inversió és important tenir en compte la taxa de descompte del projecte. Si la taxa de descompte és superior a la TIR, el projecte no és viable, perquè costa més el seu finançament que el que retorna al llarg de la seua vida útil, un cop descomptats els pagaments futurs al seu valor present. Per exemple, si la TIR d'una inversió resulta igual al 3 %, però la taxa de descompte és del 5 %, la inversió no es viable.

METODOLOGIA RESSEGUIDA EN EL PRESENT ESTUDI

Hi ha diversos factors que cal tenir en compte alhora de calcular el període de temps estimat d'amortització i la rendibilitat d'una planta fotovoltaica, com poden ser: la tarifa elèctrica, el cost total de la inversió, les potencials subvencions públiques a la inversió en energies renovables, la vida útil dels equips i la taxa de descompte.

La metodologia per estimar la amortització de les diferents plantes renovables resseguida en aquest estudi es presenta de forma resumida en la **Figura 11**. El primer pas de la metodologia consisteix en determinar els fluxos de caixa al llarg de la vida operativa de la planta fotovoltaica. Per tant, serà necessari fixar la vida operativa de planta fotovoltaica, els preus mitjos de l'energia (sense impostos) per a cada un dels escenaris que es vol analitzar i la tarifa elèctrica amb que es treballarà.

D'acord amb un estudi dut a terme pel *National Renewable Energy Laboratory* [10] sobre més de 2.000 plantes fotovoltaiques ubicades a diferents països del món en les darreres dècades, la vida operativa d'una planta fotovoltaica es de més de 20 anys. Normalment, els fabricants de panells fotovoltaics

ofereixen una garantia d'uns 10 anys per les parts mecàniques i de 25 anys pel que fa al rendiment de les cel·les fotovoltaïques, de manera que es sol considerar que **la vida útil d'una instal·lació fotovoltaica es d'entre 20 i 25 anys**, a pesar de que hi ha casos en els que la seva vida útil real és força més llarga. De fet, hi ha hagut casos de plantes industrials que han operat durant més de 40 anys, i a l'any 2020 una decisió del *International Centre for Settlement of Investment Disputes* (ICSD) ha reconegut per primera vegada que la vida útil de les plantes solars fotovoltaïques pot arribar a ser de fins a 35 anys.

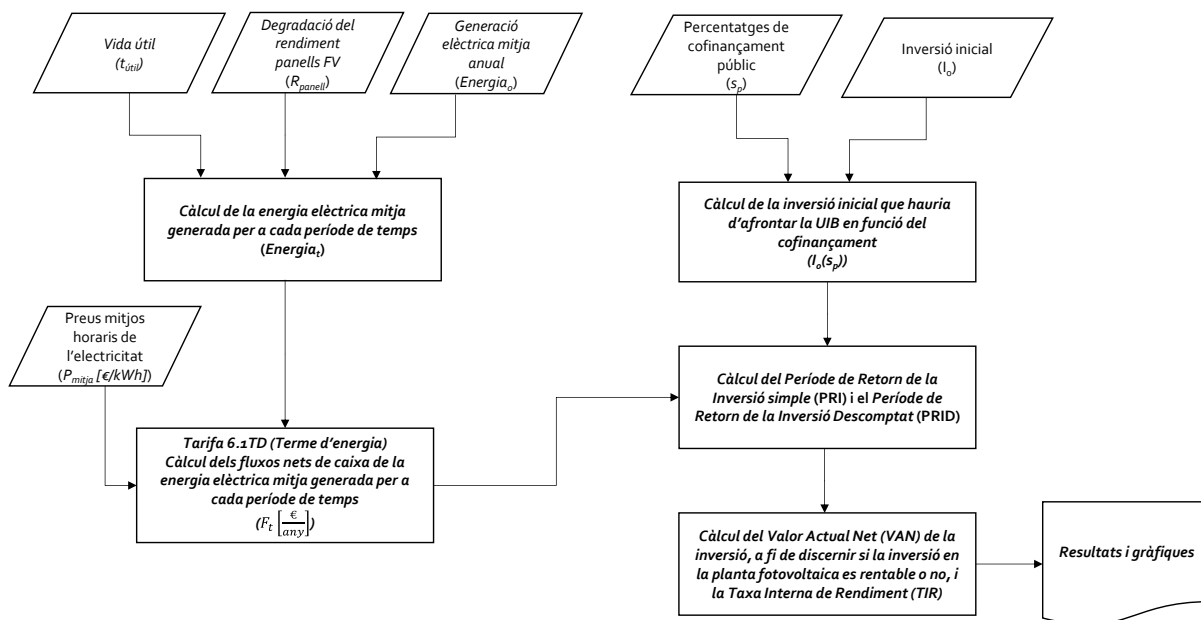


Figura 11. Diagrama de flux de metodologia de càlcul d'amortitzacions. Font: elaboració pròpia.

En el present estudi s'ha acordat considerar **la vida útil ($t_{\text{útil}}$) de les plantes fotovoltaïques en 25 anys** encara que possiblement la seva vida útil sigui major, donat que per estendre la seva vida molt possiblement s'haurien de realitzar actuacions sobre la planta que no es consideren en el present estudi.

A la vegada, diferents estudis revelen que existeix una degradació del rendiment en conversió d'energia dels panells fotovoltaïcs, d'aproximadament un 0,5 % per any. Per tant, en el present estudi s'ha cregut convenient prendre en consideració aquest efecte a l'hora d'analitzar l'amortització de les potencials plantes a desplegar en el Campus de la UIB. Concretament, s'ha considerat un **degradació lineal del rendiment en la conversió d'energia del 0,55% anual (R_{panell})**, en la producció mitja anual de la planta, d'acord amb la fitxa tècnica dels panells fotovoltaïcs LR4-72HPH-455M del fabricant Longi Solar. S'ha calculat la generació elèctrica mitja anual ($Energia_t$) fins al final de la vida útil, a partir de la generació mitja inicial ($Energia_0$) de cada planta i la degradació de rendiment dels panells, emprant la següent expressió:

$$Energia_t = Energia_0 \cdot (1 - t \cdot R_{\text{panell}}) \quad | \quad t = 0(\text{inici}), 1, \dots, t_{\text{útil}} - 1$$

Una vegada determinada l'energia elèctrica mitja generada per a cada període de temps (t), entre la posada en marxa de la planta i la fi de la seva vida útil, es disposa de la informació necessària per calcular els fluxos de caixa anuals (F_t) associats.

Conjuntament amb la unitat tècnica de la UIB s'ha acordat establir **dos escenaris d'amortització** associats a **dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh])** per els 6 períodes de la tarifa 6.1TD, **un de 0,09699 €/kWh** (preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica de 2021) i un de

0,15429 €/kWh (preu mitja de l'electricitat un 59% superior al previ a la crisi energètica de 2021). S'ha optat per considerar uns preus mitjans de l'energia inferior al preu mitjà regulat en 2022, que és de **0,47707 €/kWh**, donat que s'espera que al llarg de la vida útil de la planta, establerta en 25 anys, el preu es vagi reduint progressivament a mesura que avanci la transició ecològica.

Donat que la generació elèctrica està gravada amb impostos, s'ha decidit simular part de l'estructura d'una tarifa 6.1TD a fi determinar el flux de caixa net, després d'impostos, associat a la generació elèctrica en cada període. La tarifa 6.1 TD és un tipus de tarifa elèctrica dividida en 6 períodes horaris destinada a grans consumidors amb subministrament en mitja tensió entre 1kV i 30kV. Concretament, únicament s'ha calculat el terme d'energia d'aquesta tarifa donat que l'energia generada s'injectarà directament a la xarxa interna del campus i no a la xarxa de distribució. Cal mencionar que per la simulació de la factura elèctrica s'ha considerat un *Impost sobre el Valor Afegit (IVA)* del 21 % i un *Impost sobre el Valor de la Producció de l'energia elèctrica (IVPEE)* del 5,11 %.

Els fluxos de caixa nets anuals (F_t), un cop descomptat els impostos, s'han determinat amb les següents expressions:

- $Import_{Energia}(t) \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right] = Energia_t \left[\frac{\text{kWh}}{\text{any}} \right] \cdot P_{mitja} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right]$
- $Import_{IVPEE}(t) \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right] = IVPEE [\%] \cdot Import_{Energia}(t) \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right]$
- $Import_{IVA}(t) \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right] = IVA [\%] \cdot (Import_{Energia}(t) + Import_{IVPEE}(t))$
- $F_t \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right] = Import_{Energia}(t) \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right] - (Import_{IVPEE}(t) \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right] + Import_{IVA}(t) \left[\frac{\text{€}}{\text{any}} \right])$

A partir dels fluxos de caixa anuals, per cada any de la vida útil de les plantes, s'ha calculat el període de temps estimat d'amortització de la inversió inicial (I_0) i la rendibilitat de cada una de les plantes fotovoltaïques projectades.

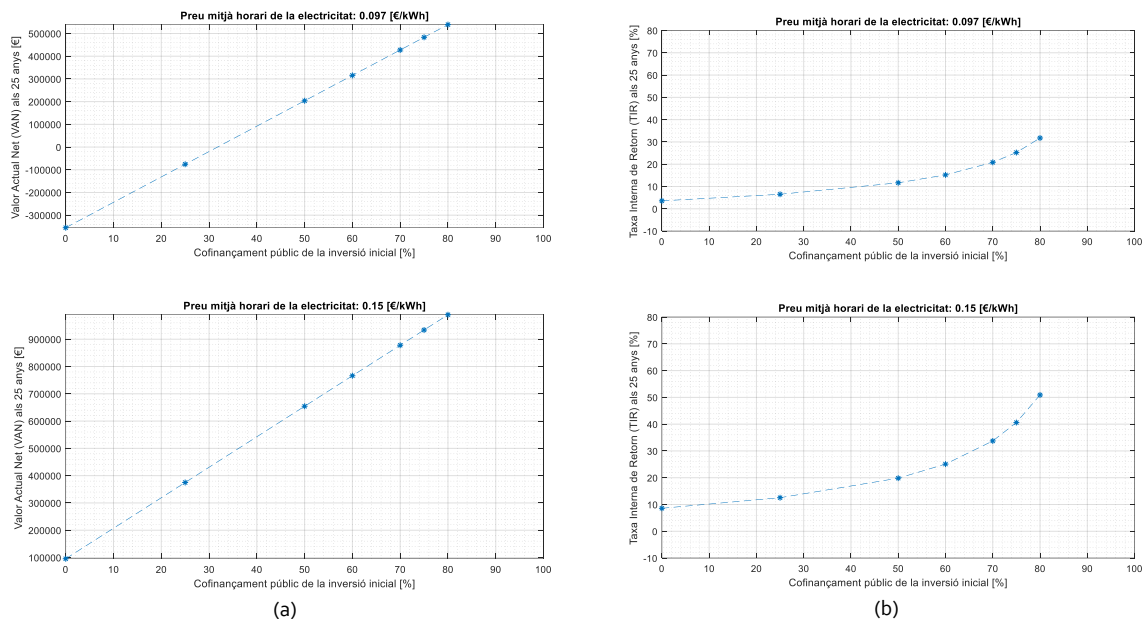
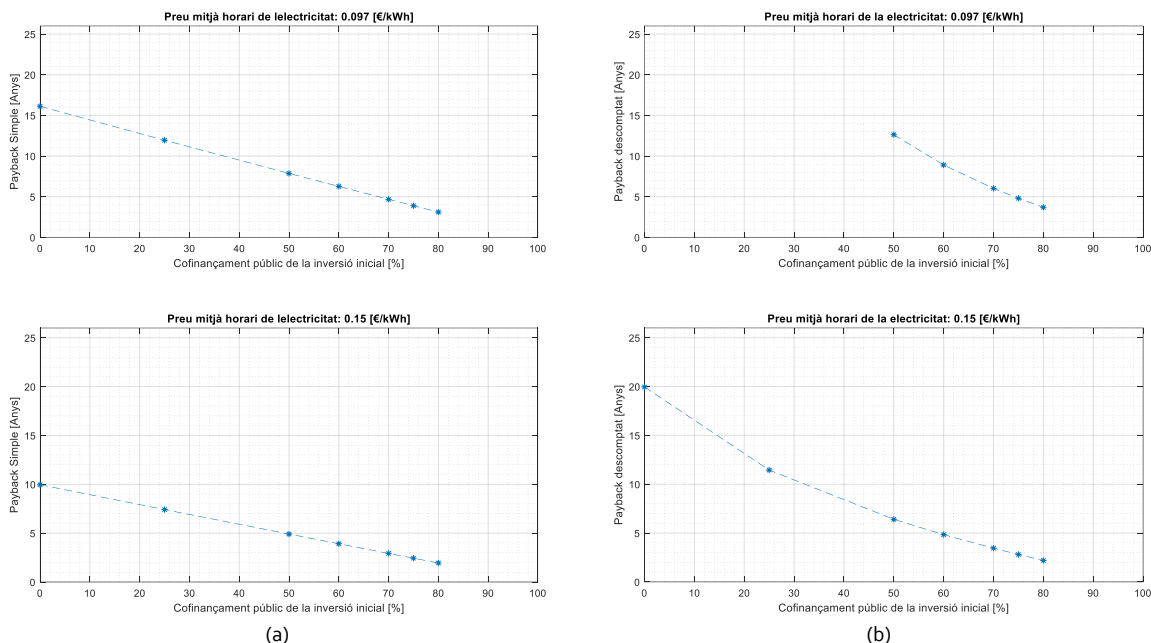
Cal mencionar que, donada la singularitat de les plantes/instal·lacions de generació fotovoltaica que es proposen desplegar en el campus de la UIB, completament alineades amb l'esperit de la Llei 10/2019, de 22 de febrer, de canvi climàtic i transició energètica, i la magnitud de la inversió, es molt complicat que la pròpia universitat sigui capaç d'afrontar la totalitat de la inversió amb mitjans propis.

A la vegada, el govern de l'estat a través de les diferents comunitats autònomes, com es el cas de la GOIB, ha desplegat una ambiciós programa d'ajudes per al foment de les instal·lacions d'energia solar fotovoltaica com a resposta a l'actual crisi energètica i per complir amb els objectius establerts per la UE per a l'any 2030. Per tant, s'ha acordat que el present estudi analitzi els períodes d'amortització i la rendibilitat de les diferents plantes de generació fotovoltaica per a diferents percentatges de cofinançament públic (s_p) a la inversió inicial (I_0). Per tant, la inversió inicial que hauria d'afrontar la UIB en funció del cofinançament públic ($I_0(s_p)$) es determina amb la següent expressió:

$$I_0(s_p) [\text{€}] = (1 - s_p) \cdot I_0 [\text{€}]$$

Els percentatges de cofinançament públic (s_p) analitzats son: 0% (Inversió només amb fons propis de la UIB), 25%, 50%, 60%, 70%, 75% i 80%.

Finalment, cal mencionar que per determinar els períodes de retorn de la inversió i la rendibilitat financera associada a la inversió en la planta fotovoltaica es partirà de la *taxa de descompte* (t_d), que en el present estudi s'ha fixat en el **7,6 %** sobre el supòsit d'un tipus d'interès del **8,23%** (t_i), a consultes del Vicerectorat d'Economia i Infraestructures de la UIB.



A partir la taxa de descompte (t_d) es determina el Període de Retorn de la Inversió Simple (PRI), Figura 12 (a), i el Període de Retorn de la Inversió Descomptat (PRID), Figura 12 (b). Tot això amb l'objectiu de determinar el període de retorn de la inversió en funció de cofinançament públic (s_p) a la inversió inicial ($I_0(s_p)$).

Cal remarcar que d'acord a dades publicades [11], a diferents països, el **període mig de retorn de la inversió per a plantes de generació de més de 100kW_{ac}** es situa entre els 3 i els 6 anys. Per tant, es molt complicat que entitats financeres estiguin disposades a finançar, amb un tipus d'interès del 3,5 % o superior, instal·lacions amb períodes d'amortització iguals o superiors als 7 anys.

Seguidament, la metodologia proposada avaluarà diferents mètriques per a estimar la rendibilitat financera de la inversió en funció del cofinançament públic (s_p) a la inversió inicial ($I_0(s_p)$). Com son el

Valor Actual Net (VAN) de la inversió, **Figura 13 (a)**, a fi de discernir si la inversió en la planta fotovoltaica es rentable o no, i la *Taxa Interna de Rendiment (TIR)*, **Figura 13 (b)**, que ens retornarà el tipus de descompte que fa que el VAN sigui zero per la vida útil de la planta. Per tant, el TIR hauria de ser major que la *taxa de descompte* (t_d) fixada en aquest projecte (7,6 %) perquè el projecte sigui econòmicament rentable.

Pel que fa a la rendibilitat financera, la Comissió Nacional dels Mercats i la Competència (CNMC) va publicar uns paràmetres retributius per al càlcul de l'amortització de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts renovables. Aquests es varen publicar amb l'expedient IPN/CNMC/001/20, de 30 de gener de 2020, de la CNMC amb l'acord pel qual s'emet l'informe sobre *la proposta d'Ordre per la qual s'actualitzen els paràmetres retributius de les instal·lacions tipus aplicables a determinades instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus, a efectes de la seva aplicació al període regulatori que té l'inici l'1 de gener de 2020 i el 31 de desembre de 2025*. En aquest expedient s'estableix una rendibilitat raonable de les instal·lacions renovables del **7,09%**. Com es pot apreciar el valor de rendibilitat de les instal·lacions renovables establert per la CNMC es semblant a la taxa de descompte (t_d) fixada en el present estudi.

CAPÍTOL 4

PLA DE DESPLEGAMENT DE GENERACIÓ FOTOVOLTAICA AL CAMPUS DE LA UIB

El “pla per fer front a la situació d'emergència energètica” aprovat per el Consell de Govern de la UIB, defineix les actuacions a dur a terme per afrontar la crisi energètica provocada per l'increment desmesurat dels costos energètics, i especialment de l'electricitat, degut a la pujada dels preus dels hidrocarburs i la situació geopolítica mundial. Amb l'objectiu de reduir la factura elèctrica, el pla estableix com una de les actuacions prioritàries reduir el consum energètic i incrementar l'eficiència energètica de les instal·lacions existents. Ara bé, donat que només amb mesures d'estalvi energètic no es factible reduir la factura elèctrica de la UIB a uns nivells raonables, es fa necessari abordar mecanismes actius (generació renovable al campus de la UIB) que permetin reduir significativament la factura energètica.

En el marc del compromís per assolir la neutralitat climàtica a l'any 2030, la Universitat de les Illes Balears treballa fa temps en l'elaboració d'un pla per la instal·lació de generació fotovoltaica als diferents edificis del campus. El “*pla de desplegament de generació fotovoltaica al campus de la UIB*” inicialment només contemplava la instal·lació de panells fotovoltaics a les teulades dels edificis del campus. Ara bé, un cop analitzada la demanda energètica del campus i tenint en compte l'increment dràstic del preu de l'electricitat, es obvi que aquestes instal·lacions no son suficients per reduir de forma significativa la factura elèctrica del campus. Per tant, es requerirà de la instal·lació de panells fotovoltaics addicionals en altres zones del campus.

Cal remarcar, que totes les actuacions proposades al present estudi es troben alineades amb l'establert als articles relacionats amb les energies renovables de la Llei 10/2019, de 22 de febrer, de canvi climàtic i transició energètica (BOIB núm. 27, de 2 de març de 2019), com son:

- **Article 52** “Autoconsum”, en el seu primer punt s'estableix que les administracions públiques han de fomentar l'autoconsum d'energies renovables.
- **Article 53** “Aprofitament dels grans aparcaments en superfície i de les cobertes dels edificis”, en el seu tercer punt on s'estableix que s'han de cobrir amb plaques solars de generació fotovoltaica els espais destinats a les places d'estacionament de tots els aparcaments de titularitat pública en sòl urbà ubicats en superfície que ocupin una àrea total superior a 1.000 metres quadrats.

El present estudi analitza la viabilitat tècnica i econòmica de diferents escenaris de generació fotovoltaica a desplegar al Campus de la Universitat de les Illes Balears, ubicat a la carretera de Valldemossa km 7.5, amb l'objectiu de reduir la demanda energètica neta del campus i per tant la factura elèctrica associada.

ESCENARIS DE GENERACIÓ FOTOVOLTAICA AL CAMPUS DE LA UIB

El “Pla de desplegament d’instal·lacions fotovoltaiques als edificis del campus de la Universitat de les Illes Balears” contempla el desplegament d’instal·lacions fotovoltaiques sobre les cobertes de **vuit edificis** del campus de la UIB. Ara bé, per a cobrir la demanda energètica anual del Campus amb fonts renovables, i donat que el potencial de generació de les instal·lacions fotovoltaiques en les cobertes dels edificis del campus son insuficients, com es mostra en el present estudi. S’han hagut d’establir 7 zones prioritàries al campus destinades al potencial desplegament de fins a **7 plantes de generació fotovoltaica de més de 100 kW** en grans aparcaments (sobre pèrgoles i marquesines) i sobre superfícies corresponents a terrenys urbanitzables, en regim de “**autoconsum amb excedents**” d’acord amb l’establert en la Llei 10/2019, de 22 de febrer, de canvi climàtic i transició energètica de les Illes Balears.

A la vegada, amb l’objectiu de reduir l’ocupació de territori, algunes de les grans plantes d’autoconsum fotovoltaic proposades s’incorporen infraestructures singulars que permetran compaginar la generació elèctrica amb altres usos, per exemple: el desplegament d’instal·lacions PV sobre els aparcaments del campus. Cal remarcar que els diferents escenaris de generació fotovoltaica analitzats només podran optar a la venda dels excedents al mercat elèctric, a través d’una empresa comercialitzadora, i no pas al mecanisme de compensació simplificada d’energia com succeeix amb les instal·lacions d’autoconsum de menys de 100 kW.

En el present estudi **s’ha exclòs les cobertes dels edificis “Mateu Orfila i Rotger” i “Ramon Llull”**, donat que el desplegament d’energia fotovoltaica a les seves cobertes ja fou analitzat per el “Servei de Patrimoni, Contractació, Infraestructura i Unitat Tècnica” en un estudi previ.

Al respecte de potencials instal·lacions fotovoltaiques que es podria desplegar a les cobertes dels edificis “**Guillem Cifre de Colonya**” i del “**Beatriu de Pinós**” cal indicar que tot i incloure un pre-disseny i una estimació del seu potencial de generació fotovoltaica, **s’ha omes l’estimació del seu cost econòmic en el present estudi**. Donat que l’estimació econòmica del desplegament del pre-disseny de les corresponents plantes fotovoltaiques d’autoconsum s’ha realitzat exclusivament per part del “Servei de Patrimoni, Contractació, Infraestructura i Unitat Tècnica” amb l’objectiu de participar a la “convocatòria pública de subvencions per al foment d’actuacions combinades d’energies renovables, eficiència energètica i mobilitat elèctrica promogudes per administracions públiques dins les actuacions” d’acord a la resolució del Conseller de Transició Energètica, Sectors Productius i Memòria Democràtica, de 2 de novembre de 2022. Aquestes convocatòria està inclosa dintre de les previstes en el “Pla d’Inversions per a la Transició Energètica dels Illes Balears” en el marc del “Pla de Recuperació, Transformació i Resiliència finançat per la Unió Europea (NextGenerationEU)”. Concretament, la universitat va signar la seva participació en la convocatòria el passat dimecres 7/12/2022, per un valor d’aproximadament 670.000 €, dels quals uns 500.000 € son objecte de subvenció en aquesta convocatòria.

ZONES PRIORITÀRIES PER EL DESPLEGAMENT DE GRANS INSTAL·LACIONS FOTOVOLTAIQUES AL CAMPUS

Un cop analitzat el conjunt del campus de la UIB s’ha acordat amb l’equip rectoral definir un conjunt de **7 zones** potencialment prioritàries on es podrien desplegar el mateix nombre de grans plantes de generació fotovoltaica ($\geq 100 \text{ kW}$). Les zones prioritàries definides són les següents:

- Zona de Cas Jai
- Zona del Pantaleu

- Zona de l'Aljub General
- Zona de l'aparcament de l'Anselm Turmeda
- Zona del Caminal d'Eivissa
- Zona del Caminal de Formentera
- Zona del Caminal de Cabrera

Seguidament, es presenta el pre-disseny de les diferents instal·lacions fotovoltaïques en regim d'autoconsum que es podrien desplegar en cadascuna de les zones anteriorment definides, juntament amb una estimació del cost de la inversió i el corresponent estudi d'amortització.

CAS JAI

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum als terrenys annexos a l'edifici de Cas Jai. A continuació es detallen aspectes tals com: la ubicació dels terrenys susceptibles a instal·lar-hi una planta fotovoltaica, la classificació de la zona a la qual pertany el terreny en funció de l'ús, una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

UBICACIÓ

La zona de Cas Jai es troba ubicada al campus de la Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma (Illes Balears) en els terrenys annexes a l'edifici de Cas Jai. La zona susceptible per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques es troba delimitada mitjançant una línia vermella continua en la **Figura 14**. Concretament, aquest terreny presenta una superfície d'uns **7.200 m²** i delimita amb l'edifici de Cas Jai, la zona forestal annexa, la Carretera de Valldemossa, i la carretera que dona accés al Parc Bit i l'estació de metro del Campus.



Figura 14: Delimitació amb una línia vermella de la zona annexa a l'edifici Cas Jai, susceptible per instal·lar-hi PV. Font: Google Earth.

Com es pot apreciar, la zona definida es troba delimitada per un petit pinar, els grups de generadors d'emergència de SFM, i l'estació de metro de la UIB. Alguns d'aquests elements donaran peu a l'aparició d'ombres sobre els panells fotovoltaïcs que s'instal·lin en les seves immediacions, en especial per les tardes donat que bona part dels obstacles s'ubiquen a l'oest del terreny proposat. Per

tant, a l'hora de pre-dimensionar el potencial parc fotovoltaic que es podria instal·lar en aquest terreny s'haurà de realitzar un estudi d'ombres properes, a fi de determinar les pèrdues de generació provocades per aquets obstacles.

CLASIFICACIÓ DE LA ZONA AFECTADA

Els terrenys prioritaris annexos a l'edifici de Cas Jai estan definits com a *zona 1 – facultats existents*, segons el que estableix el Pla Especial de 1986 de la Universitat de les Illes Balears, que en la seua totalitat consta d'una superfície aproximada de **150.405 m²**. En quan a l'aptitud per instal·lar-hi un parc fotovoltaic, cal mencionar que d'acord amb el mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques, disponible al visor de la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB) de la *Conselleria de Media Ambient i Territori* del GOIB, presenta una aptitud **alta**.



Figura 15. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques dels terrenys annexes a l'edifici de Cas Jai. Font: IDEIB.

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que en la zona annexa a l'edifici de Cas Jai es podria ubicar un parc fotovoltaic de **677 kW_p** de potencia de producció en corrent continua (DC) i **600 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continua s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus. Concretament, es **plantejaria la construcció d'un centre de transformació** situat en les immediacions de l'aparcament de minusvàlids de Cas Jai, que **constarà d'un transformador de 1.000 kVA, cel·la de línia, cel·la de protecció, cel·la de seccionament, cel·la de mesura, i un quadre de baixa tensió**.

Un cop analitzats els terrenys s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **1.488 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **3.521,7 m²**, equivalent a un **2,34 %** de la superfície de la *zona 1 – facultats existents*. Els

panells fotovoltaics s'instal·larien sobre suports inclinats a 30°, del **model 35V** del fabricant espanyol SUNFER, que permeten col·locar dues fileres de cinc panells. A la vegada, les 93 cadenes (strings) de 16 panells fotovoltaics de sortida s'interconnectaran a **6 inversos de 100 kWac**, model **Sunny Highpower SHP100-20** del fabricant alemany SMA. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics als terrenys annexes a Cas Jai i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 16**.

A partir de la simulació del pre-disseny de la planta, realitzada mitjançant el programari PVsyst, s'ha obtingut l'energia que aquesta injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB una vegada descomptades les pèrdues de la planta, **Taula 2**.

Taula 2. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada als terrenys annexes a l'edifici de Cas Jai.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	60,30	59,30
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	68,80	67,70
<i>Març</i>	137,40	50,84	99,70	98,00
<i>Abril</i>	168,00	65,67	103,40	101,60
<i>Maig</i>	205,80	81,80	113,80	111,80
<i>Juny</i>	220,60	82,30	114,80	112,90
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	116,20	114,30
<i>Agost</i>	196,90	68,01	113,0	111,10
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	95,60	94,00
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	80,30	78,90
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	57,10	56,20
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	52,90	52,00
Total anual:	1.684,90	654,89	1.076,0	1.057,80
Inversió neta (Total del pressupost general), en [€]:				1.206.679,09 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				303,6
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				10,32%

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **1.057,8 MWh/any**, que permetria cobrir un **10,3 % de la demanda elèctrica anual** del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **303,6 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **1.206.679,09 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,78 €/W_p**, (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada (moviments de terra, ...).

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,78 €/W_p**, hi ha **0,25 €/W_p (14,23 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.

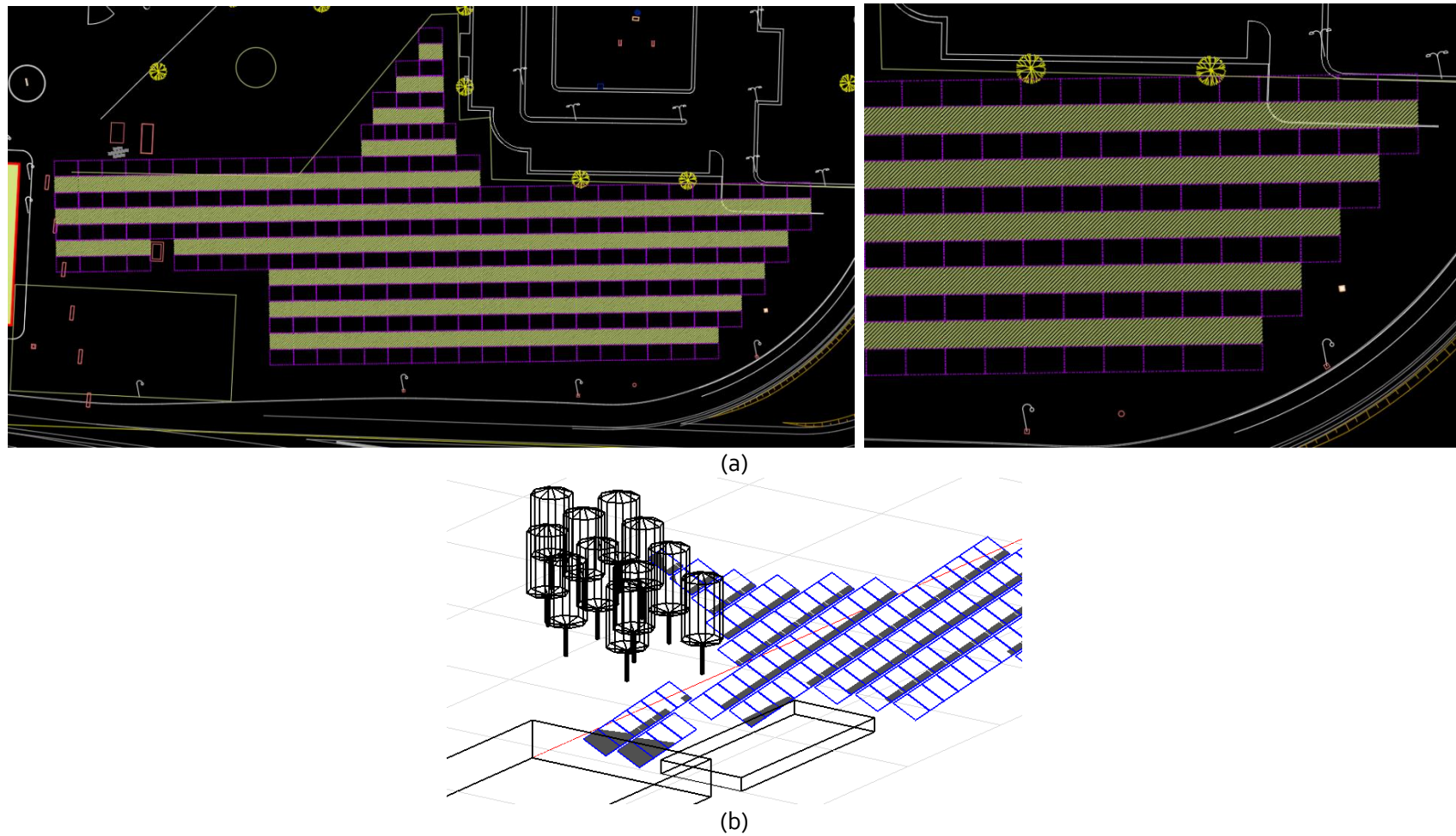


Figura 16: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica als terrenys annexes a l'edifici Cas Jai. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica als terrenys annexes a l'edifici Cas Jai.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per el pre-disseny de la planta fotovoltaica proposada.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics que s'empraran seran del tipus monocristal·lí i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà de suma importància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat un panell monocristal·lí de **455 W_p**, model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del 20,9 % i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 3**. Cal remarcar que al projecte real s'hauran de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la descrita en el present estudi, si es vol obtenir una generació equivalent o superior a la plantejada.

Taula 3. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5



(a)



(b)

Figura 17. (a) estructura fixada al sòl mitjançant hinques. (b) Estructura fixada al sòl mitjançant cargols de terra.

Estructures de suport

A l'hora de seleccionar les estructures de suport dels panells fotovoltaics s'ha intentat minimitzar l'impacte visual, l'ocupació de territori, i la generació de residus permanents. Un altre requisit ha estat que les estructures permetin la instal·lació de entre 6 i 12 panells amb configuracions de dos panells verticals o quatre panells muntats horitzontalment, amb l'objectiu de mantenir l'alçada màxima de l'estructura per sota els 3 metres per tal de minimitzar l'impacte visual i paisatgístic de la planta de generació. A la vegada, s'ha decidit que l'alçada mínima de l'estructura sobre el terreny sigui d'almenys 0,5 m amb l'objectiu de permetre la possibilitat de compatibilitzar la generació solar amb cultiu o l'ús del terreny com a pastos d'animals. Finalment, cal mencionar que per tal d'evitar la generació de residus permanents sobre el terreny al moment de desmuntar la planta, un cop completada la seva vida operativa, les estructures de suport s'hauran de poder fixar al sòl sense requerir de formigó o algun altre material de característiques similars.

Per tal de complir amb els requisits mencionats, en el present estudi s'ha decidit utilitzar estructures que permetin la seva fixació al terreny mitjançant el clavat directe de l'estructura al sòl, **Figura 17 (a)**, o mitjançant l'ús de pern de terra, **Figura 17 (b)**, segons la composició del sol.

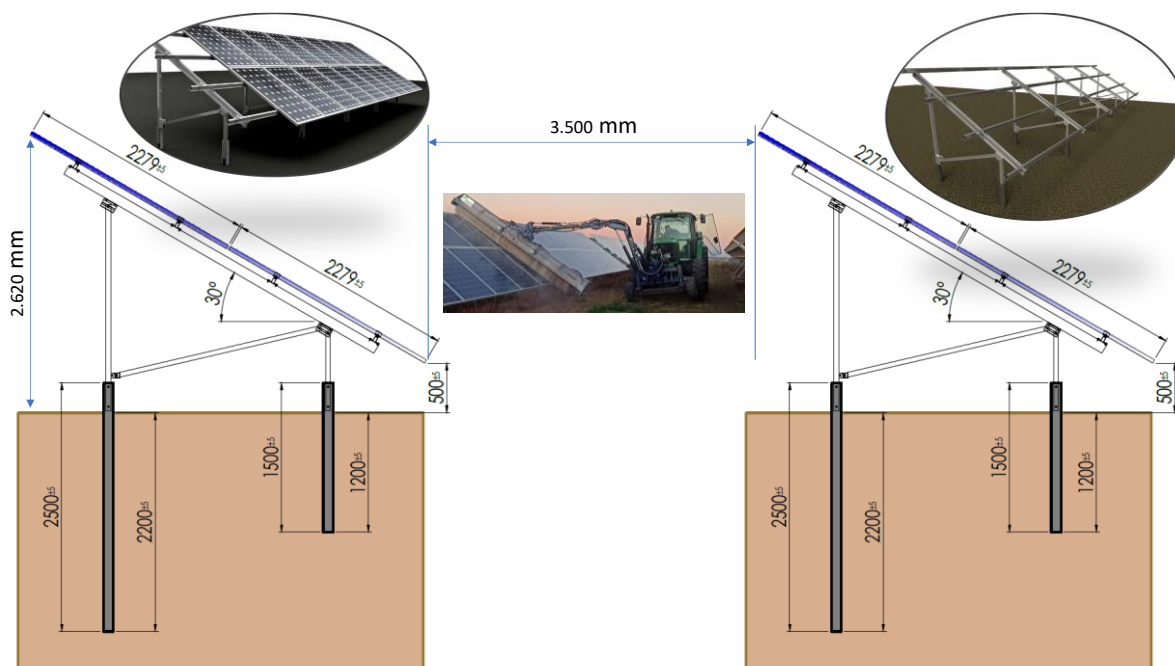


Figura 18. Disposició de les fileres d'estructures de suport dels panells a la planta fotovoltaica de Cas Jai.

En ambdós casos es produeix una ocupació i una degradació mínima del terreny, donat que l'ocupació del territori es limita a la superfície de 4 cargols o hiques per cada 3 metres lineals d'estructura. Els cargols i les hiques es fixen al sòl mitjançant un equip hidràulic o un accessori hidràulic per excavadora que fa les funcions de tornavís i de martell hidràulic, respectivament. Aquestes solucions facilitaràn el desmantellament i el reciclatge de la instal·lació, una vegada acabi la seua vida útil.

Concretament, en aquest estudi s'ha optat per l'estructura que es clava al sol mitjançant sis hiques, model 35V del fabricant SUNFER, que es presenta a la **Figura 18**, i amb un angle dels panells sobre l'horitzontal de 30°. Aquesta estructura permet la instal·lació de 10 panells en configuració de dues fileres de cinc panells muntats verticalment, per a mides de panells de fins a 2279 x 1150 mm, amb una altura màxima sobre el sòl de l'estructura amb els panells de **2,62 m**.

En quan a la separació entre diferents fileres contigües, s'ha fixat en **3,5 m**, per tal de poder utilitzar mitjans mecànics per dur a terme la neteja periòdica dels panells fotovoltaics. A l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*) s'indica que la distància de separació entre files de mòduls de panells ha de ser tal que es garanteixi almanco quatre hores de sol al voltant del mig dia del solstici d'hivern. Si es calcula aquesta distància tenint en compte que la latitud on s'ubica es terreny, **39,38° N**, que la longitud de l'estructura amb cinc panells col·locats horitzontalment es de **5,2 m** (horitzontal), i que l'angle dels panells sobre l'horitzontal es de 30°, s'obté que la separació recomanada ha de ser de **6,7 m**. Per tant, es proposa reduir la separació entre panells al respecte a la recomanada al Plec de condicions tècniques d'instal·lacions fotovoltaïques del IDAE (*Instituto para la diversificación y Ahorro Energético*), a fi de maximitzar la generació fotovoltaica. En conseqüència les diferents estructures es faran ombra entre elles, el que implicarà unes pèrdues anuals del **4,44 %** de la generació, d'acord a les simulacions realitzades. Ara bé, les pèrdues son compensades amb l'augment de la generació al col·locar més estructures per unitat d'àrea.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en la intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el més proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'ha seleccionat un inversor trifàsic amb una potència de **100kW_{ac}**, model **Sunny Highpower 100-20 PEAK3** del fabricant alemany, amb una eficiència en la conversió del **98,6%** i amb les característiques tècniques que es presenten en la **Taula 4**.

Taula 4. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 Peak3.

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Highpower 100-20 PEAK3
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	150
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.000
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	100
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,6
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	98

A la **Taula 5**, es presenten les unitats, models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de portar a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica

Taula 5. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en el potencial parc fotovoltaic de Cas Jai.

Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	1.488	455 W _p	677 kW _p	1,87	30°	0° / S	3521,7
Estructura de suport	SUNFER 35 V	SUNFER	234	---	---	19,6	30°	0° / S	3521,7
Inversors	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK3	SMA	6	100 kW _{ac}	600 kW _{ac}	--	--		--
Centre de transformació	---	Caseta prefabricada Ormazabal	1	1000 kVA	1000 kVA	14,47	--		14,47
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació:									3521,7
Superfície total de la "zona 1 – facultats existents":									150.405
Percentatge d'ocupació de la "zona 1 – facultats existents":									2,34 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE CAS JAI

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, en els terrenys annexes a l'edifici Cas Jai ascendeix a **1.206.679,09 €**. En la **Taula 6** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per a desplegar la instal·lació proposada.

Taula 6. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de Cas Jai.

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Obra Civil	---	1	9.274,90 €	9.274,90 €	1,18%
	Instal·lació de les plaques fotovoltaïques	Estructura de suport dels panells PV i la seva instal·lació, palanganes de suport del cablejat, material elèctric, material auxiliar, mà d'obra, etc.	1	285.503,04 €	285.503,04 €	36,36%
Total obres civils i estructures:					294.777,94 €	37,54%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, <u>Planta fotovoltaica → Centre de Transformació</u>	1	45.120,37 €	45.120,37 €	5,75%
		Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, <u>Centre de Transformació → Centre de Transformació Mateu Orfila i Rotger</u>	1	12.952,12 €	12.952,12 €	1,65%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					58.072,49 €	7,40%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					352.850,43 €	44,94%
Capítol 3	Inversor	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK ₃ (SMA)	6	13.698,00 €	82.188,00 €	10,47%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	1488	144,63 €	215.209,44 €	27,41%
	Caixa de connexions	Caixa de connexions ST-36 (36 ramals de 350A)	93	600 €	55.800,00 €	0,34%
	Comptador elèctric		1	2.700,00 €	2.700,00€	7,11%
Capítol 4	Centre de transformació	Centre de transformació de 1000 kVA, amb caseta prefabricada, 2 celdes de línia, 1 celda de proteccions + fusible, 1 celda de seccionament, 1 celda de mesura, quadre de baixa tensió	1	53.703,04 €	53.703,04 €	6,84%
Capítol 5	Sistema de Seguretat	Clos perimetral+ Sistema de Seguretat	1	4.535,90 €	4.535,90 €	0,58%
Capítol 6	Sistema d'il·luminació	Columnes d'il·luminació	1	11.373,60 €	11.373,60 €	1,45%
Capítol 7	Seguretat i Salut	Seguretat i Salut	1	880,10 €	880,10 €	0,11%
Capítol 8	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	0,76%
Pressupost d'execució material (PEM):					785.240,51 €	100,00%
				Percentatge		
Despeses Generals (DG):				13,00%	102.081,27 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	47.114,43 €	
				Total DG+BI [€]:	149.195,70 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	62.819,24 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					997.255,45 €	
IVA:				21,00%	209.423,64 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					1.206.679,09 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,78	

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE CAS JAI

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en els terrenys annexes a l'edifici de Cas Jai generaria de mitja anualment **1.057,80 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **1.206.679,09 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 7. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de Cas Jai per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.206.679,09 €	0,00 €	16,68	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-443.991,04 €	2,85
25 %	905.009,32 €	301.669,77 €	12,51	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-142.321,27 €	5,69
50 %	603.339,55 €	603.339,55 €	8,34	14,47	159.348,50 €	10,58
60 %	482.671,64 €	724.007,45 €	6,67	9,97	280.016,41 €	13,93
70 %	362.003,73 €	844.675,36 €	5,00	6,66	400.684,32 €	19,21
75 %	301.669,77 €	905.009,32 €	4,17	5,28	461.018,28 €	23,31
80 %	241.335,82 €	965.343,27 €	3,34	4,03	521.352,23 €	29,38

Taula 8. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de Cas Jai per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.206.679,09 €	0,00 €	10,48	24,59	6.591,75 €	7,66
25 %	905.009,32 €	301.669,77 €	7,86	13,01	308.261,53 €	11,41
50 %	603.339,55 €	603.339,55 €	5,24	7,08	609.931,30 €	18,26
60 %	482.671,64 €	724.007,45 €	4,19	5,32	730.599,21 €	23,17
70 %	362.003,73 €	844.675,36 €	3,14	3,77	851.267,12 €	31,21
75 %	301.669,77 €	905.009,32 €	2,62	3,05	911.601,07 €	37,59
80 %	241.335,82 €	965.343,27 €	2,10	2,39	971.935,03 €	47,14

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot apreciar com la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **70 %** els períodes

d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries en inviable o molt complicada, per poder assumir la part d'inversió inicial de la UIB. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 70 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,66 anys**, i un **VAN de 400.684,32 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 19,21 %** superior a la $t_d=7,6$ %.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitjà de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 8** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 5,32 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 730.599,21 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 23,17 %** superior a la $t_d=7,6$ %. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

PANTALEU

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum als terrenys annexos al Pantaleu. A continuació es detallen aspectes tals com: la ubicació dels terrenys susceptibles a instal·lar-hi una potencial planta fotovoltaica, la classificació de la zona a la qual pertany el terreny segons l'ús, una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica que s'hi podria desplegar, i la generació elèctrica mensual que aquesta abocaria a la xarxa, una descripció dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió necessaris, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i de preu mig de l'electricitat.

UBICACIÓ

La zona del Pantaleu es troba ubicada al campus de la Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma (Illes Balears) en els terrenys annexes a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu. Concretament la zona susceptible per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques es troba delimitada mitjançant una línia blava contínua en la **Figura 19**. Aquest terreny presenta una superfície d'uns **12.950 m²** i delimita amb l'edifici Ramon Llull, l'estació de metro del Campus, la carretera que dona accés al Parc Bit i al campus, i la zona del Pantaleu.

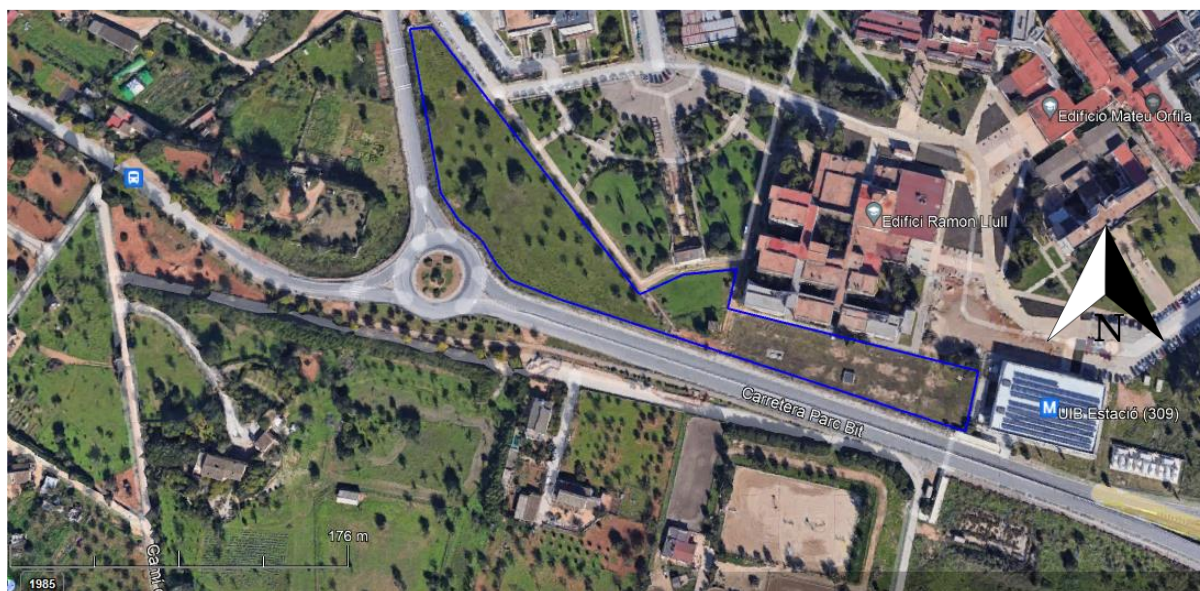


Figura 19. Terrenys annexes al Pantaleu susceptibles per instal·lar-hi una planta fotovoltaica. Font: Google Earth.

Com es pot apreciar, la zona definida es troba delimitada per l'estació de metro de la UIB, i la rampa subterrània que permet creuar la carretera del Parc Bit. Alguns d'aquests elements donaran peu a l'aparició d'ombres sobre els panells fotovoltaïcs que s'instal·lin en les seves immediacions, en especial als dematins donat que s'ubiquen principalment a l'est de la zona. Per tant, a l'hora de pre-dimensionar el potencial parc fotovoltaic que es podria instal·lar en aquest terreny s'haurà de realitzar un estudi d'ombres properes, a fi de determinar les pèrdues de generació provocades per la presència d'aquests obstacles.

CLASIFICACIÓ DE LA ZONA AFECTADA

Els terrenys prioritaris annexos al Pantaleu i a l'edifici Ramón Llull formen part de la *zona 1 – àrea de reserva natural*, segons el que estableix el Pla Especial de 1986 de la Universitat de les Illes Balears, que en la seua totalitat consta d'una superfície aproximada de **347.833 m²**. Cal remarcar que sota una

fracció d'aquests terrenys hi discorrerà la propera ampliació de la línia de metro de la UIB-Parc Bit. En quan a l'aptitud per instal·lar-hi un parc fotovoltaic, cal mencionar que segons el mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques, disponible al visor de la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB) de la *Conselleria de Media Ambient i Territori* del GOIB, aquests terrenys presenten una aptitud **alta**.

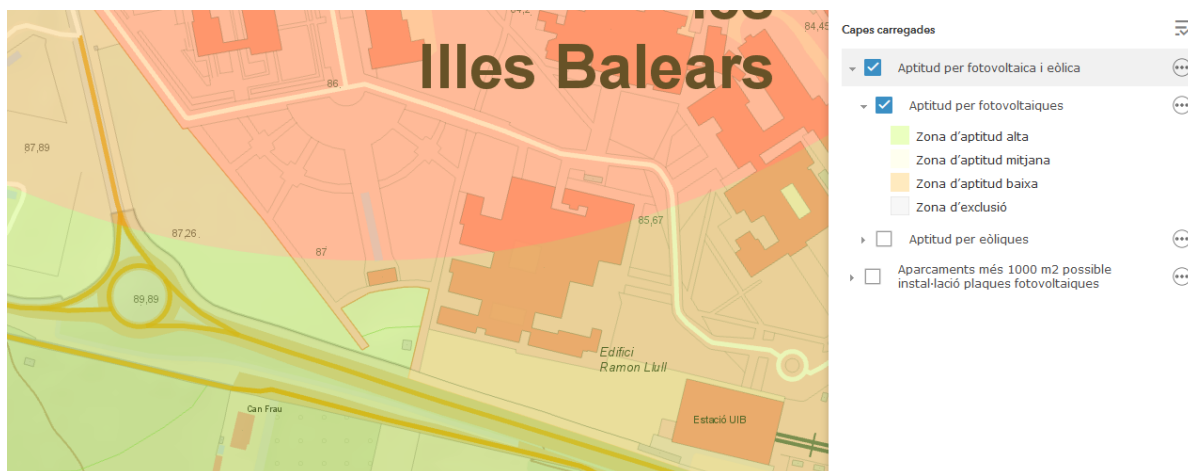


Figura 20. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques dels terrenys annexes a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu. Font: IDEIB.

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica es planteja que en la zona annexa a l'edifici de Ramón Llull i el Pantaleu, es podria ubicar un parc fotovoltaic de **1.060 kW_p** de potencia de producció en corrent continu (DC) i **1.000 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent altern (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continu s'ha de transformar en corrent altern, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus. Concretament, **es planteja la construcció de dos centres de transformació**, on cada un estaria compost per un transformador de **1.000 kVA**, una cel·la de línia, una cel·la de protecció, una cel·la de seccionament, una cel·la de mesura, i un quadre de baixa tensió. El primer centre de transformació s'ubicaria annexa al **Pantaleu** i s'encarregaria d'evacuar l'energia generada per la fracció de la potencial instal·lació ubicada a l'est de la planta fotovoltaica proposada (orientat cap al nord). Finalment, es proposa ubicar un segon centre de transformació annexa a l'edifici de **Ca ses Llúcies**, que permetria evacuar l'energia generada per la fracció de més de l'oest de la potencial instal·lació fotovoltaica del Pantaleu, i també l'energia generada per la potencial instal·lació fotovoltaica que es podria instal·lar sobre pèrgoles a les sis zones de 40 estacionaments de l'aparcament de l'Anselm Turmeda.

Un cop analitzats els terrenys s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **2.334 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una

superfície de **4.587,5 m²**, equivalent a un **1,32 %** de la superfície de la zona 7 – àrea de reserva natural. Els panells fotovoltaics s'instal·larien sobre suports inclinats a 30°, del model **35V** del fabricant espanyol SUNFER, que permetrien col·locar dues fileres de cinc panells. A la vegada, les 137 cadenes (strings) de 17 panells fotovoltaics de sortida s'interconnectaran a **10 inversos de 100 kWac** model **Sunny Highpower SHP100-20** del fabricant alemany SMA. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics als terrenys annexes al Pantaleu i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 21**.

A partir de la simulació del pre-disseny de la planta, realitzada mitjançant el programari PVsyst, s'ha obtingut l'energia que aquesta injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB una vegada descomptades les pèrdues de la planta, **Taula 9**.

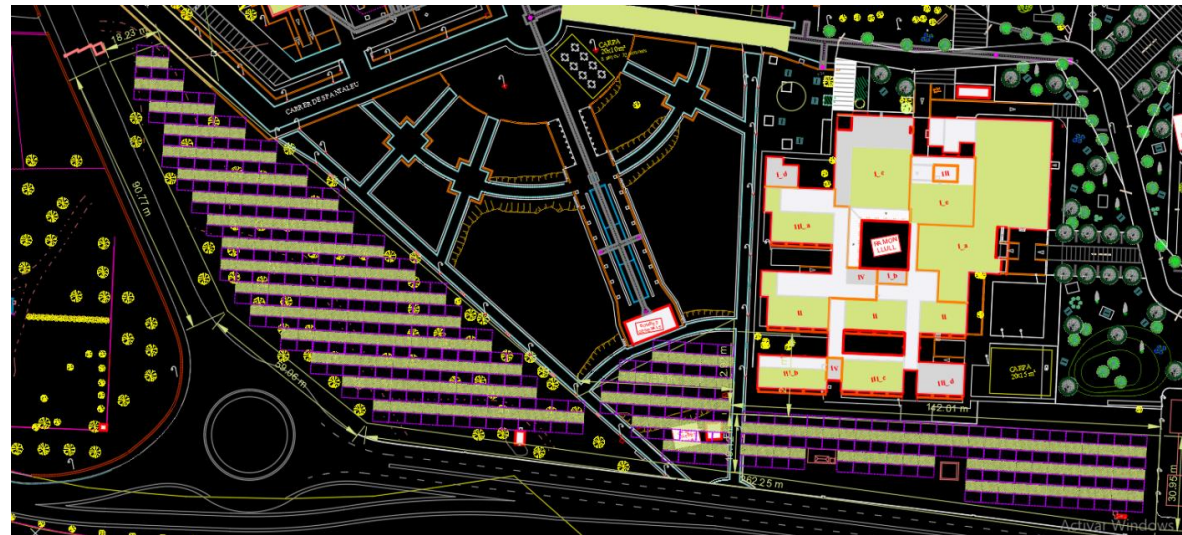
Taula 9. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada en els terrenys annexes a l'edifici Ramón Llull i al Pantaleu.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m ²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m ²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	96,3	94,8
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	109,7	107,9
<i>Març</i>	137,40	50,84	158,3	155,6
<i>Abril</i>	168,00	65,67	164,6	161,8
<i>Maig</i>	205,80	81,80	181,3	178,3
<i>Juny</i>	220,60	82,30	183,1	180,2
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	185,6	182,6
<i>Agost</i>	196,90	68,01	180,1	177,2
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	152,0	149,6
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	127,8	125,7
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	91,2	89,8
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	84,7	83,3
Total anual:	1.684,90	654,89	1.714,6	1.686,9
Inversió neta (Total del pressupost general):				1.948.938,80 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				484,13
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				16,46%

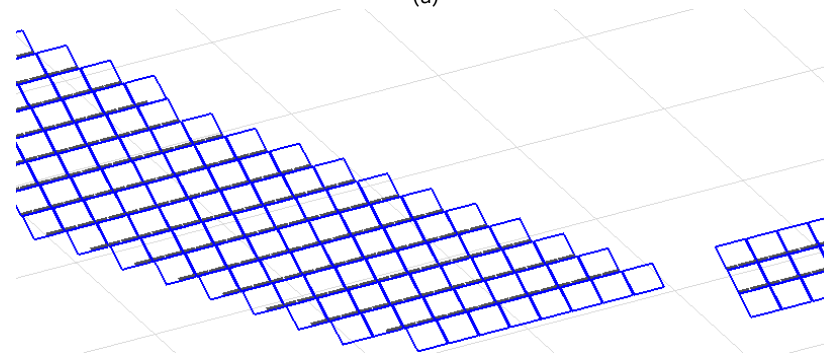
Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **1.686,9 MWh/any**, que permetria cobrir un **16,5 % de la demanda elèctrica anual** del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **484,13 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **1.948.938,8 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,84 €/W_p** (impostos inclosos) e incloent totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...) i obra civil associades (moviments de terra, ...).

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,84 €/W_p**, hi ha **0,24 €/W_p (12,9 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.



(a)



(b)

Figura 21: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica dels terrenys annexes al Pantaleu.(b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica als terrenys annexes a l Pantaleu

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per el pres-disseny de la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 10**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 10. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potencia nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Estructures de suport

A l'hora de seleccionar les estructures de suport dels panells fotovoltaics s'ha intentat minimitzar l'impacte visual, l'ocupació de territori, i la generació de residus permanents. Un altre requisit ha estat que les estructures permetin la instal·lació de entre 6 i 12 panells amb configuracions de dos panells verticals o quatre panells muntats horitzontalment, amb l'objectiu de mantenir l'alçada màxima de l'estructura per sota els 3 metres per tal de minimitzar l'impacte visual i paisatgístic de la planta de generació. A la vegada, s'ha decidit que l'alçada mínima de l'estructura sobre el terreny serà d'almenys 0,5 m amb l'objectiu de permetre la possibilitat de compatibilitzar la generació solar amb cultiu o l'ús del terreny com a pastos d'animals. Finalment, cal mencionar que per tal d'evitar la generació de residus permanents sobre el terreny al moment de desmuntar la planta, un cop completada la seva vida operativa, les estructures de suport s'hauran de poder fixar al sòl sense requerir de formigó o algun altre material de característiques similars.

Per tal de complir amb els requisits mencionats, en el present estudi s'ha decidit utilitzar estructures que permeten la seva fixació al terreny mitjançant el clavat directe de l'estructura al sòl, **Figura 22 (a)**, o mitjançant l'ús de pern de terra, **Figura 22 (b)**, segons la composició del sol.



Figura 22. (a) Estructura fixada al sòl mitjançant hinxes. (b) Estructura fixada al sòl mitjançant cargols de terra.

En ambdós casos es produeix una ocupació i una degradació mínima del terreny, donat que l'ocupació del territori es limita a la superfície de 4 cargols o hinxes per cada 3 metres lineals d'estructura. Els cargols i les hinxes es fixen al sòl mitjançant un equip hidràulic o un accessori hidràulic per excavadora que fa les funcions de tornavís i de martell hidràulic, respectivament. Aquestes solucions facilitaran el desmantellament i el reciclatge de la instal·lació, una vegada acabi la seua vida útil.

Concretament, en aquest estudi s'ha optat per l'estructura que es clava al sol mitjançant sis hinxes, model 35V del fabricant SUNFER, que es presenta a la **Figura 23**, i amb un angle dels panells sobre l'horitzontal de 30° . Aquesta estructura permet la instal·lació de 10 panells en configuració de dues fileres de cinc panells muntats verticalment, per a mides de panells de fins a 2279×1150 mm, amb una altura màxima sobre el sòl de l'estructura amb els panells de **2,62 m**.

En quan a la separació entre diferents fileres contigües, s'ha fixat en **3,5 m**, per tal de poder utilitzar mitjans mecànics per dur a terme la neteja periòdica dels panells fotovoltaics. A l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*) s'indica que la distància de separació entre files de mòduls de panells ha de ser tal que es garanteixi almanco quatre hores de sol al voltant del mig dia del solstici d'hivern. Si es calcula aquesta distància tenint en compte que la latitud on s'ubica es terreny, **$39,38^\circ$ N**, que la longitud de l'estructura amb cinc panells col·locats horitzontalment es de **5,2 m** (horitzontal), i que l'angle dels panells sobre l'horitzontal es de 30° , s'obté que la separació recomanada ha de ser de **6,7 m**. Per tant, es proposa reduir la separació entre panells al respecte a la recomanada al Plec de condicions tècniques d'instal·lacions fotovoltaïques del IDAE (*Instituto para la diversificación y Ahorro Energético*), a fi de maximitzar la generació fotovoltaica. En conseqüència les diferents estructures es faran ombra entre elles, el que implicarà unes pèrdues anuals del **3,57 %** de la generació, d'acord a les simulacions realitzades. Ara bé, les pèrdues son compensades amb l'augment de la generació al col·locar mes estructures per unitat d'àrea.

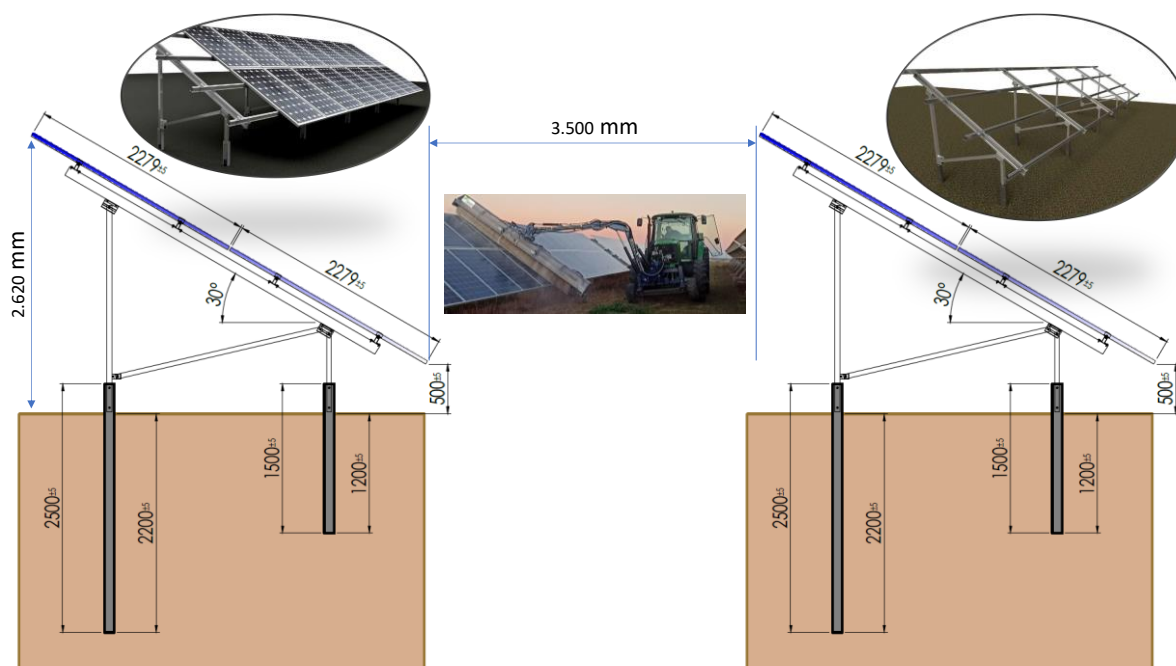


Figura 23. Disposició de les fileres d'estructures de suport dels panells a la planta fotovoltaica del Pantaleu

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en la intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el més proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'ha seleccionat un inversor trifàsic amb una potència de **100kW_{ac}**, model **Sunny Highpower 100-20 PEAK3** del fabricant alemany, amb una eficiència en la conversió del **98,6 %** i amb les característiques tècniques que es presenten en la **Taula 11**.

Taula 11. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 Peak3.

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Highpower 100-20 PEAK3
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	150
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.000
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	100
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,6
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	98

A la **Taula 12**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 12. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en el potencial parc fotovoltaic dels terrenys annexes al Pantaleu i l'edifici Ramón Llull.

Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	2334	455 W _p	1060 kW _p	1,87	30°	0° / S	4394,6
Estructura de suport	SUNFER 35 V	SUNFER	292	---	---	15,05	30°	0° / S	4394,6
Inversors	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK3	SMA	10	100 kW _{ac}	1000 kW _{ac}	--	--		--
Centre de transformació	---	Caseta prefabricada Omarzabal	2	1000 kVA	2000 kVA	14,47	--		28,9
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació:									4.587,7
Superfície total de la "zona 1 – facultats existents":									347.833
Percentatge d'ocupació de la "zona 1 – facultats existents":									1,32 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL PANTALEU

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, en els terrenys annexes a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu ascendeix a **1.948.938,8 €**. En la **Taula 13** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per a desplegar la instal·lació proposada.

Taula 13. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Pantaleu.

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Obra Civil	---	1	14.522,00 €	14.522,00 €	1,15%
	Instal·lació de les plaques fotovoltaïques	Estructura de suport dels panells PV i la seva instal·lació, palanganes de suport del cablejat, material elèctric, material auxiliar, mà d'obra, etc	1	498.404,51 €	498.404,51 €	39,30%
Total obres civils i estructures:					512.926,51 €	40,44%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, <u>Planta fotovoltaica - > CT Pantaleu</u>	1	36.325,02 €	36.325,02 €	2,86%
		Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, <u>Planta Fotovoltaica - > CT annexa a Ca ses Llúcies</u>	1	27.990,29 €	27.990,29 €	2,21%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					64.315,31 €	5,07%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					577.241,82 €	45,51%
Capítol 3	Inversor	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK3 (SMA)	10	13.698,00 €	136.980,00 €	10,80%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	2334	144,63	337.566,42 €	26,62%

	Comptador elèctric	---	1	2.700,00 €	2.700,00 €	0,21%
	Caixa de connexions	Caixa de connexions ST-36 (36 ramals de 350A)	137	600,00 €	82.200,00 €	6,48%
Capítol 4	Centre de transformació	Centre de transformació de 1000 kVA, amb caseta prefabricada, 2 celdes de línia, 1 celda de proteccions + fusible, 1 celda de seccionament, 1 celda de mesura.	2	49.643,07 €	99.286,14 €	7,83%
Capítol 5	Sistema de Seguretat	Clos perimetral+ Sistema de Seguretat	1	7.102,00 €	7.102,00 €	0,56%
Capítol 6	Sistema d'il·luminació	Columnes d'il·luminació	1	17.808,00 €	17.808,00 €	1,40%
Capítol 7	Seguretat i Salut	Seguretat i Salut	1	1.378,00 €	1.378,00 €	0,11%
Capítol 8	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	0,47%
Pressupost d'execució material (PEM):					1.268.262,38 €	100,00%
				Percentatge		
Despeses Generals (DG):				13,00%	164.874,11 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	76.095,74 €	
				Total DG+BI [€]:	240.969,85 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	101.460,99 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					1.610.693,22 €	
IVA:				21,00%	338.245,58 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					1.948.938,80 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,84	

ESTIMACIÓ DE LA AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL PANTALEU

La planta fotovoltaica a instal·lar en els terrenys annexes a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu generarà anualment de mitja **1.686,9 MWh/any** i requerirà d'una inversió inicial (I_0) de **1.948.938,8 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 14. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica annexa a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.948.938,80 €	0,00 €	16,89	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-732.661,18 €	2,74
25 %	1.461.704,10 €	487.234,70 €	12,67	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-245.426,48 €	5,55
50 %	974.469,40 €	974.469,40 €	8,44	14,82	241.808,22 €	10,41
60 %	779.575,52 €	1.169.363,28 €	6,76	10,16	436.702,10 €	13,72
70 %	584.681,64 €	1.364.257,16 €	5,07	6,77	631.595,98 €	18,95
75 %	487.234,70 €	1.461.704,10 €	4,22	5,36	729.042,92 €	23,01
80 %	389.787,76 €	1.559.151,04 €	3,38	4,09	826.489,86 €	29,00

Taula 15. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica annexa a l'edifici Ramon Llull i el Pantaleu per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.948.938,80 €	0,00 €	10,62	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-14.105,57 €	7,51
25 %	1.461.704,10 €	487.234,70 €	7,96	13,31	473.129,13 €	11,23
50 %	974.469,40 €	974.469,40 €	5,31	7,20	960.363,83 €	18,01
60 %	779.575,52 €	1.169.363,28 €	4,25	5,40	1.155.257,71 €	22,87
70 %	584.681,64 €	1.364.257,16 €	3,19	3,82	1.350.151,59 €	30,80
75 %	487.234,70 €	1.461.704,10 €	2,65	3,10	1.447.598,53 €	37,11
80 %	389.787,76 €	1.559.151,04 €	2,12	2,42	1.545.045,47 €	46,54

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **70 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 70 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,77 anys**, i un **VAN de 631.595,9 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 18,95 %** superior a la $t_d=7,6$ %.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitjà de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 15** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys el 60 %**, el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada 5,4 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN de 1.155.257,7 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del**

22,87 % superior a la $t_d=7,6$ %. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada, però si es té en compte la inflació actual d'un 10,4 % i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments, es pot veure com aquest valor no es tan elevat.

ALJUB GENERAL

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum als terrenys annexos a l'edifici de la residència d'estudiants, i l'Aljub General. A continuació es detallen aspectes tals com: la ubicació dels terrenys susceptibles a instal·lar-hi una planta fotovoltaica, la classificació de la zona a la qual pertany el terreny en funció de l'ús, una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

UBICACIÓ

La zona annexa a l'edifici de la residència d'estudiants susceptible per instal·lar-hi un potencial parc fotovoltaica es troba ubicada al campus de la Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma (Illes Balears), i es troba delimitada a la **Figura 24** per una línia contínua de color blau. Concretament, aquest terreny presenta una superfície de **3.900 m²** i delimita amb el carrer Menorca, la residència d'estudiants (Ed. Bartomeu Rosselló Porcel), l'edifici Arxiduc Lluís Salvador i la carretera de Valldemossa (MA-1110).

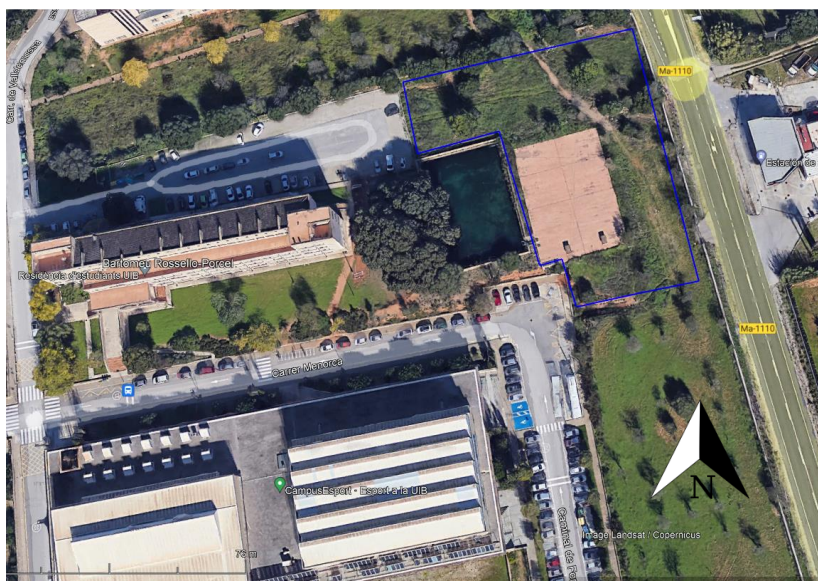


Figura 24. Terrenys annexes a l'edifici de la residència i l'Aljub General, susceptibles per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques. Font: Google Earth.

Com es pot apreciar, la zona definida es troba delimitada per un conjunt d'arbres de gran envergadura i la residència d'estudiants. Alguns d'aquests elements donaran peu a l'aparició d'ombres sobre els panells fotovoltaics que s'instal·lin en les seves immediacions, en especial per les tardes donat que bona part dels obstacles s'ubiquen a l'oest del terreny proposat. Per tant, a l'hora de pre-dimensionar el potencial parc fotovoltaic que es podria instal·lar en aquest terreny s'haurà de realitzar un estudi d'ombres properes, a fi de determinar les pèrdues de generació provocades per aquets obstacles.

CLASIFICACIÓ DE LA ZONA AFECTADA

Els terrenys prioritaris annexos l'edifici Bartomeu Rosselló Porcel estan definits com a *zona 6 – àrea d'esports*, segons el que estableix el Pla Especial de 1986 de la Universitat de les Illes Balears, que en la seua totalitat consta d'una superfície aproximada de **52.990 m²**. En quan a l'aptitud per instal·lar-hi un parc fotovoltaic, cal mencionar que segons el mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques, disponible al visor de la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB) de la *Conselleria de Media Ambient i Territori* del GOIB, presenta una aptitud **baixa**.

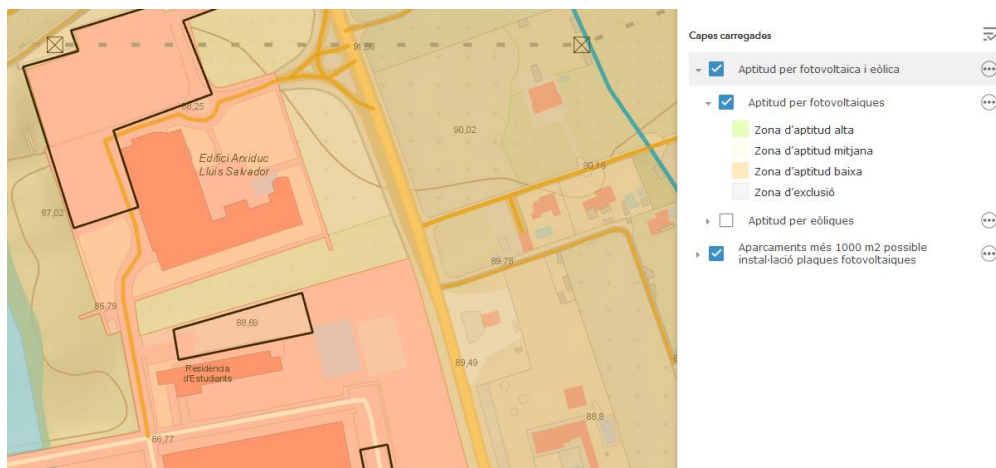


Figura 25. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques dels terrenys annexes a l'edifici Bartomeu Rosselló Porcel i l'Aljub General. Font: IDEIB.

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica es planteja que en la zona annexa a l'edifici Bartomeu Rosselló Porcel i l'Aljub General es podria ubicar un parc fotovoltaic de **335 kW_p** de potència de producció en corrent continua (DC), i **300 kW_{ac}** de potència de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaïcs es transferida mitjançant corrent continua s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaïcs de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'ha d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permet la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera de la xarxa de mitja tensió del campus. Concretament, **es plantejaria la construcció d'un centre de transformació** compost per dos transformadors de **1.000 kVA**, **cel·la de línia**, **cel·la de protecció**, **cel·la de seccionament**, **cel·la de mesura**, i un **quadre de baixa tensió**. D'aquesta manera es podria evacuar l'energia generada per les potencials instal·lacions fotovoltaïques de l'Aljub General, i de la potencial instal·lació fotovoltaica que es podria desplegar al Caminal de Formentera.

Un cop analitzats els terrenys s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **736 panells fotovoltaïcs**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **1.384,6 m²**, equivalent a un **2,6 %** de la superfície de la *zona 6 – àrea d'esports*. Els panells fotovoltaïcs s'instal·larien sobre suports inclinats a 30°, del **model 35V** del fabricant espanyol SUNFER, que permeten col·locar dues fileres de cinc panells. A la vegada, les 46 cadenes (strings) de

16 panells fotovoltaics de sortida s'interconnectaran a **3 inversos de 100 kWac** model **Sunny Highpower SHP100-20 Peak3** del fabricant alemany SMA. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics als terrenys annexes a la residència d'estudiants del Campus de la UIB, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 26**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, una vegada descomptades les pèrdues:

Taula 16. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada als terrenys annexes a l'edifici de la residència d'estudiants i de l'Aljub General.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	29,175	28,707
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	33,513	32,981
<i>Març</i>	137,40	50,84	49,161	48,343
<i>Abril</i>	168,00	65,67	51,66	50,809
<i>Maig</i>	205,80	81,80	57,035	56,11
<i>Juny</i>	220,60	82,30	57,629	56,713
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	58,198	57,276
<i>Agost</i>	196,90	68,01	56,36	55,45
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	47,418	46,667
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	39,43	38,809
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	27,721	27,297
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	25,573	25,182
Total anual:	1.684,90	654,89	532,874	524,344
Inversió neta (Total del pressupost general):				627.003,26 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				150,49
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				5,12 %

Concretament, aquesta instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **524,3 MWh/any**, que permetria cobrir un **5,12 % de la demanda elèctrica anual** del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **150,5 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **627.003,3 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,87 €/W_p** (impostos inclosos) e incloent totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...) i obra civil associades (moviments de terra, ...).

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,87 €/W_p**, hi ha **0,36 €/W_p (18,97 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.

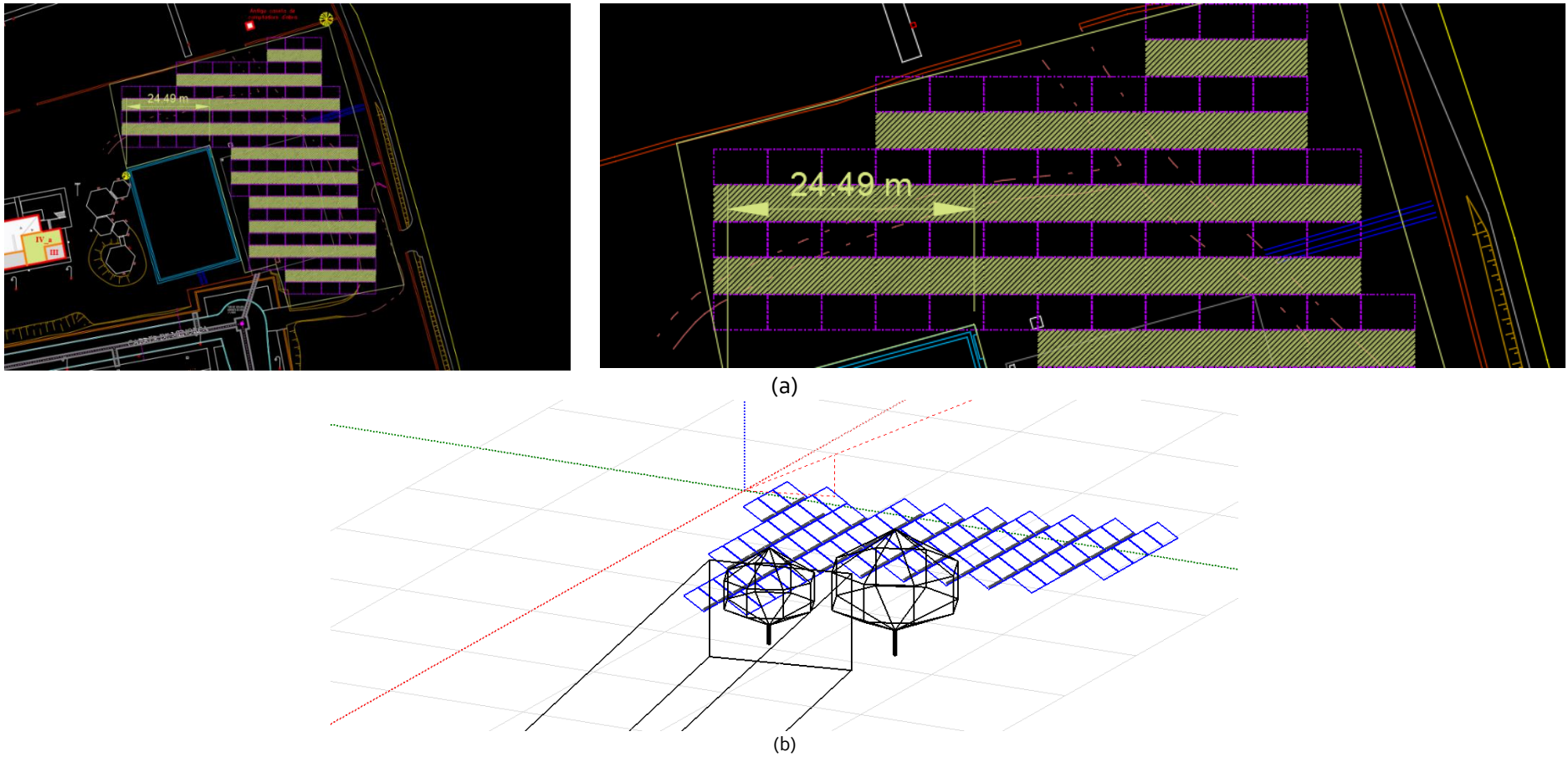


Figura 26 (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica dels terrenys annexes al la residència d'estudiants i a l'Aljub General. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica dels terrenys annexes al la residència d'estudiants i a l'Aljub General.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 17**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 17. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referencia:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Estructures de suport

A l'hora de seleccionar les estructures de suport dels panells fotovoltaics s'ha intentat minimitzar l'impacte visual, l'ocupació de territori, i la generació de residus permanents. Un altre requisit ha estat que les estructures permetin la instal·lació de entre 6 i 12 panells amb configuracions de dos panells verticals o quatre panells muntats horitzontalment, amb l'objectiu de mantenir l'alçada màxima de l'estructura per sota els 3 m per tal de minimitzar l'impacte visual i paisatgístic de la planta de generació. A la vegada, s'ha decidit que l'alçada mínima de la estructura sobre el terreny sigui d'almenys 0,5 m amb l'objectiu de permetre la possibilitat de compatibilitzar la generació solar amb cultiu o l'ús del terreny com a pastos d'animals. Finalment, cal mencionar que per tal d'evitar la generació de residus permanents sobre el terreny en el moment de desmuntar la planta un cop completada la seva vida operativa, les estructures de suport s'hauran de poder fixar al sòl sense requerir de formigó o algun altre material de característiques similars.

Per tal de complir amb els requisits mencionats, en el present estudi s'ha decidit utilitzar estructures que permeten la seva fixació al terreny mitjançant el clavat directe de l'estructura al sòl, **Figura 27 (a)**, o mitjançant l'ús de pernys de terra, **Figura 27 (b)**, segons la composició del sol.

En ambdós casos es produeix una ocupació i una degradació mínima del terreny, donat que l'ocupació del territori es limita a la superfície de 4 cargols o hiques per cada 3 metres lineals d'estructura. Els cargols i les hiques es fixen al sòl mitjançant un equip hidràulic o un accessori hidràulic per excavadora que fa les funcions de tornavís i de martell hidràulic, respectivament. Aquestes solucions facilitaran el desmantellament i el reciclatge de la instal·lació, una vegada acabi la seva vida útil.

Concretament, en aquest estudi s'ha optat per l'estructura que es clava al sol mitjançant sis hiques, model 35V del fabricant SUNFER, que es presenta a la **Figura 22**, i amb un angle dels panells sobre l'horitzontal de 30°. Aquesta estructura permet la instal·lació de 10 panells en configuració de dues

fileres de cinc panells muntats verticalment, per a mides de panells de fins a 2279 x 1150 mm, amb una altura màxima sobre el sòl de l'estructura amb els panells de **2,62 m**.



Figura 27. (a) estructura fixada al sòl mitjançant hinged. (b) Estructura fixada al sòl mitjançant cargols de terra.

En quan a la separació entre diferents fileres contigües, s'ha fixat en **3,5 m**, per tal de poder utilitzar mitjans mecànics per dur a terme la neteja periòdica dels panells fotovoltaics. A l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*) s'indica que la distància de separació entre files de mòduls de panells ha de ser tal que es garanteixi almanco quatre hores de sol al voltant del mig dia del solstici d'hivern. Si es calcula aquesta distancia tenint en compte que la latitud on s'ubica es terreny, **39,38° N**, que la longitud de l'estructura amb cinc panells col·locats horitzontalment es de **5,2 m** (horitzontal), i que l'angle dels panells sobre l'horitzontal es de 30°, s'obté que la separació recomanada ha de ser de **6,7 m**. Per tant, es proposa reduir la separació entre panells al respecte a la recomanada al Plec de condicions tècniques d'instal·lacions fotovoltaïques del IDAE (*Instituto para la diversificación y Ahorro Energético*), a fi de maximitzar la generació fotovoltaica. En conseqüència les diferents estructures es faran ombra entre elles, el que implicarà unes pèrdues anuals del **5,1 %** de la generació, d'acord a les simulacions realitzades. Ara bé, les pèrdues son compensades amb l'augment de la generació al col·locar mes estructures per unitat d'àrea.

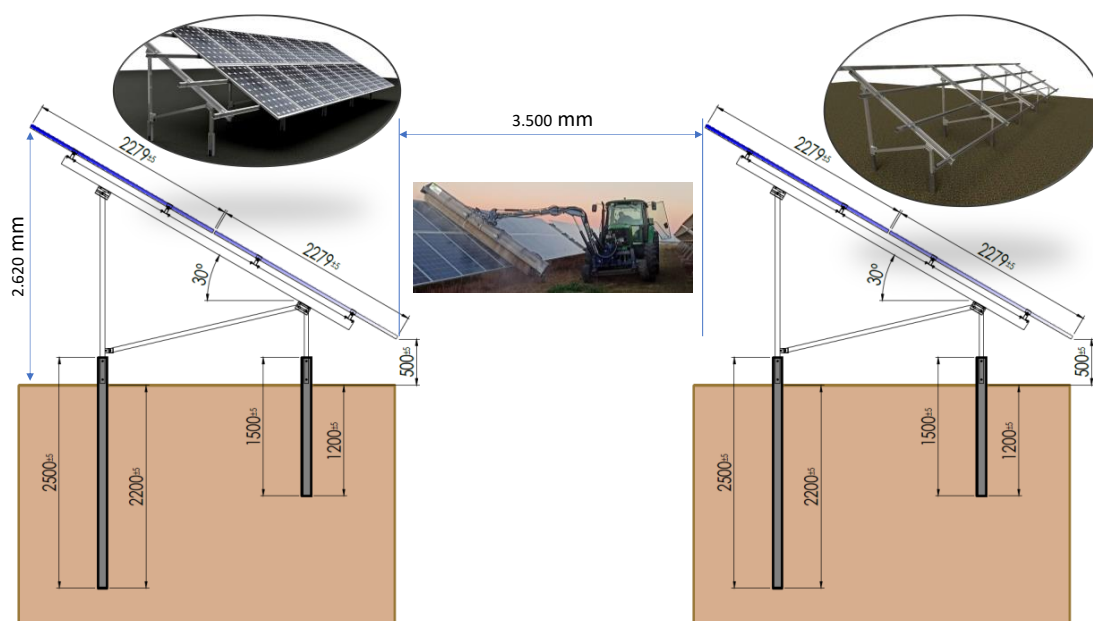


Figura 28. Disposició de les fileres d'estructures de suport dels panells a la planta fotovoltaica de l'Aljub General

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en la intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el més proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'ha seleccionat un inversor trifàsic amb una potència de **100kW_{ac}**, model **Sunny Highpower 100-20 PEAK3** del fabricant alemany, amb una eficiència en la conversió del **98,6%** i amb les característiques tècniques que es presenten en la **Taula 18**.

Taula 18. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 Peak3.

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Highpower 100-20 PEAK3
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	150
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.000
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	100
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,6
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	98

A la **Taula 19**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 19. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en el potencial parc fotovoltaic dels terrenys annexes a la residència d'estudiants i l'Aljub General

Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	736	455 W _p	335 kW _p	1,87	30°	0° / S	1.384,6
Estructura de suport	SUNFER 35 V	SUNFER	92	---	---	15,05	30°	0° / S	1.384,6
Inversors	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK3	SMA	3	100 kW _{ac}	300 kW _{ac}	--	--		--
Centre de transformació	---	Centre de transformació (caseta prefabricada, 2 transformadors de 1.000 kVA celdes de línia, celdes de proteccions,..etc)	2	1000 kVA	2000 kVA	14,47	--		14,47
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació:									1.384,6
Superfície total de la "zona 1 – facultats existents":									52.990
Percentatge d'ocupació de la "zona 1 – facultats existents":									2,6 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE L'ALJUB GENERAL

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada en els terrenys annexes a l'edifici Bartomeu Rosselló Porcel i l'Aljub General ascendeix a **627.003,3 €**. En la **Taula 20** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per a desplegar la instal·lació proposada.

Taula 20. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'Aljub General.

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Obra Civil	---	1	4.589,50 €	4.589,50 €	1,12%
	Instal·lació de les plaques fotovoltaïques	Estructura de suport dels panells PV i la seva instal·lació, palanganes de suport del cablejat, material elèctric, material auxiliar, mà d'obra.	1	160.282,00 €	160.282,00 €	39,28%
Total obres civils i estructures:					164.871,50 €	40,41%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, Planta fotovoltaica - > CT Aljub General	1	11.489,95 €	11.489,95 €	2,82%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					11.489,95 €	2,82%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					176.361,45 €	43,22%
Capítol 3	Panells, inversors i comptador elèctric					
	Inversor	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK3 (SMA)	3	13.698,00 €	41.094,00 €	10,07%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	736	144,63	106.447,68 €	26,09%
	Comptador elèctric		1	2.700,00 €	2.700,00 €	0,66%
	Caixa de connexions	Caixa de connexions ST-36 (36 ramals de 350A)	2	600,00 €	1.200,00 €	0,29%
Capítol 4	Centre de transformació	Centre de transformació de 2000 kVA, amb caseta prefabricada, 2 celdes de línia, 1 celda de proteccions + fusible, 1 celda de seccionament, 1 celda de mesura.	1	65.908,17 €	65.908,17 €	16,15%
Capítol 5	Sistema de Seguretat	Clos perimetral + Sistema de seguretat	1	2.244,50 €	2.244,50 €	0,55%
Capítol 6	Sistema d'il·luminació	Columnes d'il·luminació	1	5.628,00 €	5.628,00 €	1,38%
Capítol 7	Seguretat i salut	Seguretat i salut	1	435,50 €	435,50 €	0,11%
Capítol 8	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	1,47%
Pressupost d'execució material (PEM):					408.019,30 €	100,00%
				Percentatge		
Despeses Generals (DG):				13,00%	53.042,51 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	24.481,16 €	
				Total DG+BI [€]:	77.523,67 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	32.641,54 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					518.184,51 €	
IVA:				21,00%	108.818,75 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					627.003,26 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,87	

ESTIMACIÓ DE LA AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE L'ALJUB GENERAL

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en els terrenys annexes a l'Aljub General i la residència d'estudiants generaria anualment de mitja **524,3 MWh/any** i i requeria d'una inversió inicial (I_0) de **627.003,3 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi.

A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 21. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'Aljub General per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	627.003,26 €	0,00 €	17,47	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-248.810,06 €	2,43
25 %	470.252,45 €	156.750,82 €	13,11	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-92.059,25 €	5,19
50 %	313.501,63 €	313.501,63 €	8,74	15,84	64.691,57 €	9,95
60 %	250.801,30 €	376.201,96 €	6,99	10,72	127.391,89 €	13,18
70 %	188.100,98 €	438.902,28 €	5,24	7,08	190.092,22 €	18,26
75 %	156.750,82 €	470.252,45 €	4,37	5,60	221.442,38 €	22,20
80 %	125.400,65 €	501.602,61 €	3,49	4,26	252.792,54 €	28,00

Taula 22. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'Aljub General per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	627.003,26 €	0,00 €	10,98	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-25.380,12 €	7,12
25 %	470.252,45 €	156.750,82 €	8,24	14,15	131.370,69 €	10,75
50 %	313.501,63 €	313.501,63 €	5,49	7,55	288.121,51 €	17,35
60 %	250.801,30 €	376.201,96 €	4,39	5,64	350.821,83 €	22,06
70 %	188.100,98 €	438.902,28 €	3,30	3,97	413.522,16 €	29,75
75 %	156.750,82 €	470.252,45 €	2,75	3,22	444.872,32 €	35,84
80 %	125.400,65 €	501.602,61 €	2,20	2,51	476.222,49 €	44,96

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament,

es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **75 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 75 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 5,6 anys**, i un **VAN de 221.442,38 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 22,2 %** superior a la $t_d=7,6$ %.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitjà de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 22** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptada de 5,64 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN de 350.821,83 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 22,06 %** superior a la $t_d=7,6$ %. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada, però si es té en compte la inflació actual d'un 10,4 % i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments, es pot veure com aquest valor no es tan elevat.

APARCAMENT DE L'EDIFICI ANSELM TURMEDA

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum als terrenys corresponents a l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda. A continuació, es detallen aspectes tals com: la ubicació dels terrenys susceptibles a instal·lar-hi una planta fotovoltaica, la classificació de la zona a la qual pertany el terreny en funció de l'ús, una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

UBICACIÓ

L'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda es troba ubicat al campus de la Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma (Illes Balears). La zona susceptible per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques es troba delimitada mitjançant una línia vermella contínua en la **Figura 29**. Concretament, aquest terreny presenta una superfície d'uns **18.000 m²** i es troba delimitat per la part posterior dels edificis Guillem Cifre i Anselm Turmeda.



Figura 29. Terrenys de l'aparcament de l'Anselm Turmeda susceptibles per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques. Font: Google Earth.

CLASIFICACIÓ DE LA ZONA AFECTADA

Els terrenys prioritaris de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda estan definits com a *zona 7 – àrea de reserva natural*, segons el que estableix el Pla Especial de 1986 de la Universitat de les Illes Balears, que en la seua totalitat consta d'una superfície aproximada de **347.833 m²**. En quan a l'aptitud per instal·lar-hi un parc fotovoltaic, cal mencionar que segons el mapa d'aptitud per al desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques, disponible al visor de la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB) de la *Conselleria de Media Ambient i Territori* del GOIB, presenta una aptitud **baixa**. Ara bé, d'acord a la llei 10/2019, del visor IDEIB, el citat aparcament apareix identificat i presenta un nivell

d'insolació anual òptim, amb un valor menor o igual a 1.133 kWh/m², de manera que es tracta d'un aparcament de més de 1000 m² apte per a una possible instal·lació fotovoltaica.

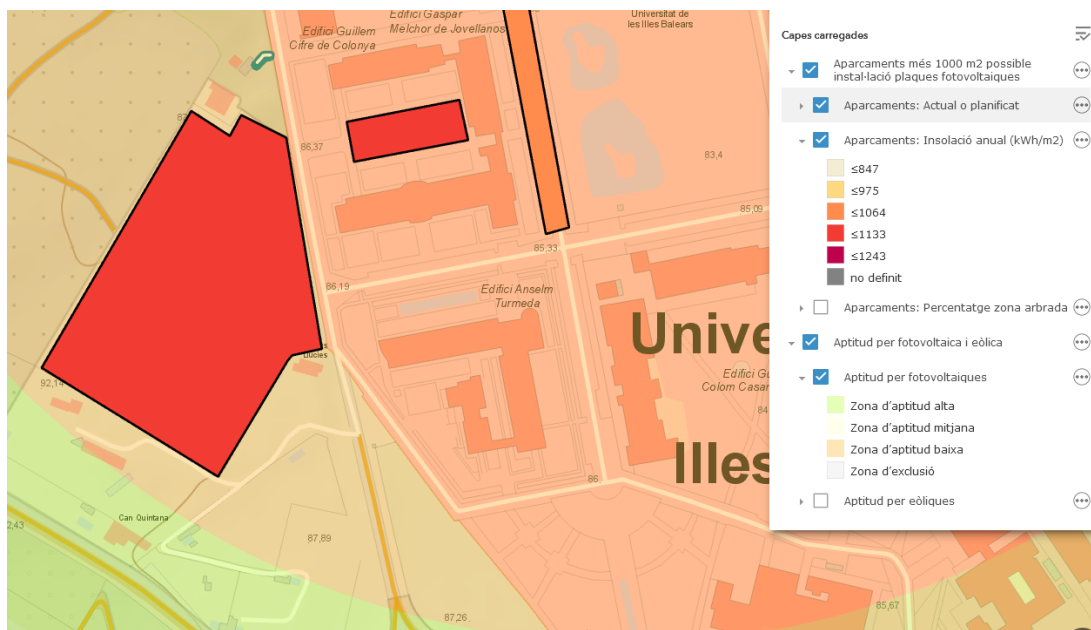


Figura 30. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda. Font: IDEIB.

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica es planteja que en la zona de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda es podria ubicar un parc fotovoltaic de **1.602 kW_p** de potencia de producció en corrent continu (DC), i **1.560 kW_{ac}** de potència de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continu s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'ha d'eleva la tensió de l'energia produïda a baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera de la xarxa de mitja tensió del campus. Concretament, **es plantejaria la construcció d'un centre de transformació** compost per un transformador de **de 1.250 kVA, cel·la de línia, cel·la de protecció, cel·la de seccionament, cel·la de mesura, i un quadre de baixa tensió**. Aquest centre de transformació es trobaria ubicat annexa a l'edifici de Can López, i permetria evacuar l'energia generada per les 10 marquesines fotovoltaïques de 36 aparcaments (marquesines del model **PR3.1 SC36**) que es podria instal·lar a les zones d'estacionament de més de l'oest. Per altra banda, l'energia generada per les marquesines de 40 estacionaments (marquesines del model **PR3.1 SC40**) podria ser evacuada cap al centre de transformació que es podria instal·lar annexa a l'edifici de Ca ses Llúcies, el cost del qual ja ha estat pressupostat quan s'ha estimat el cost de la potencial instal·lació fotovoltaica que es podria instal·lar a la zona annexa a l'edifici Ramón Llull i el Pantaleu.

Un cop analitzats els terrenys s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **3.521 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M

del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que col·locades sobre les marquesines ocuparien una superfície de **8.819,04 m²**, equivalent a un **2,5 %** de la superfície de la zona 7 – zona de reserva natural. En el pre-disseny proposat els panells fotovoltaics anirien instal·lats sobre marquesines dels models **PR3.1 SC40 i PR3.1 SC36** del fabricant espanyol **SUNFER**, amb una inclinació de 5° sobre l'horitzontal. Cada una de les marquesines permet col·locar 10 files de 24 panells, i 10 files de 21 panells respectivament. Les 75 cadenes de 19 panells fotovoltaics que es podrien col·locar sobre sis marquesines del model **PR3.1 SC40**, es podrien connectar a **6 inversors de 110 kWac model Ingecon Sun 100TL** del fabricant espanyol Ingeteam. A la vegada, les 131 cadenes de 16 panells fotovoltaics que es podrien col·locar sobre 10 marquesines del model **PR3.1 SC36**, es podrien connectar a **10 inversors de 87 kWac model Ingecon Sun 160TL de 87 kWac**. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics a les zones d'estacionament de l'Aparcament de l'Anselm Turmeda, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 31**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, una vegada descomptades les pèrdues:

Taula 23. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada a l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m ²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m ²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	106,616	104,911
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	131,011	129,12
<i>Març</i>	137,40	50,84	204,834	201,863
<i>Abril</i>	168,00	65,67	240,445	236,995
<i>Mai</i>	205,80	81,80	285,827	281,727
<i>Juny</i>	220,60	82,30	298,19	294,024
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	296,898	292,741
<i>Agost</i>	196,90	68,01	268,223	264,427
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	206,218	203,351
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	157,721	155,449
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	105,396	103,789
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	92,973	91,463
Total anual:	1.684,90	654,89	2394,353	2359,861
Inversió neta (Total del pressupost general):				3.147.666,59 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				677,28
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				23,03%

Concretament la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **2.359,9 MWh/any**, que permetria cobrir un **23,03 % de la demanda elèctrica anual** del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **677,3 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **3.147.666,6 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,97 €/Wp** (impostos inclosos) e incloent totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada (moviments de terra, ...). A més a més, inclou el cost de la xarxa de monitorització i control per a la xarxa elèctrica basada en *Time Sensitive Networking Ethernet*.

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,97 €/W_p**, hi ha **0,17 €/W_p (8,57 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa, i de la instal·lació del sistema de monitorització i control per la xarxa elèctrica.

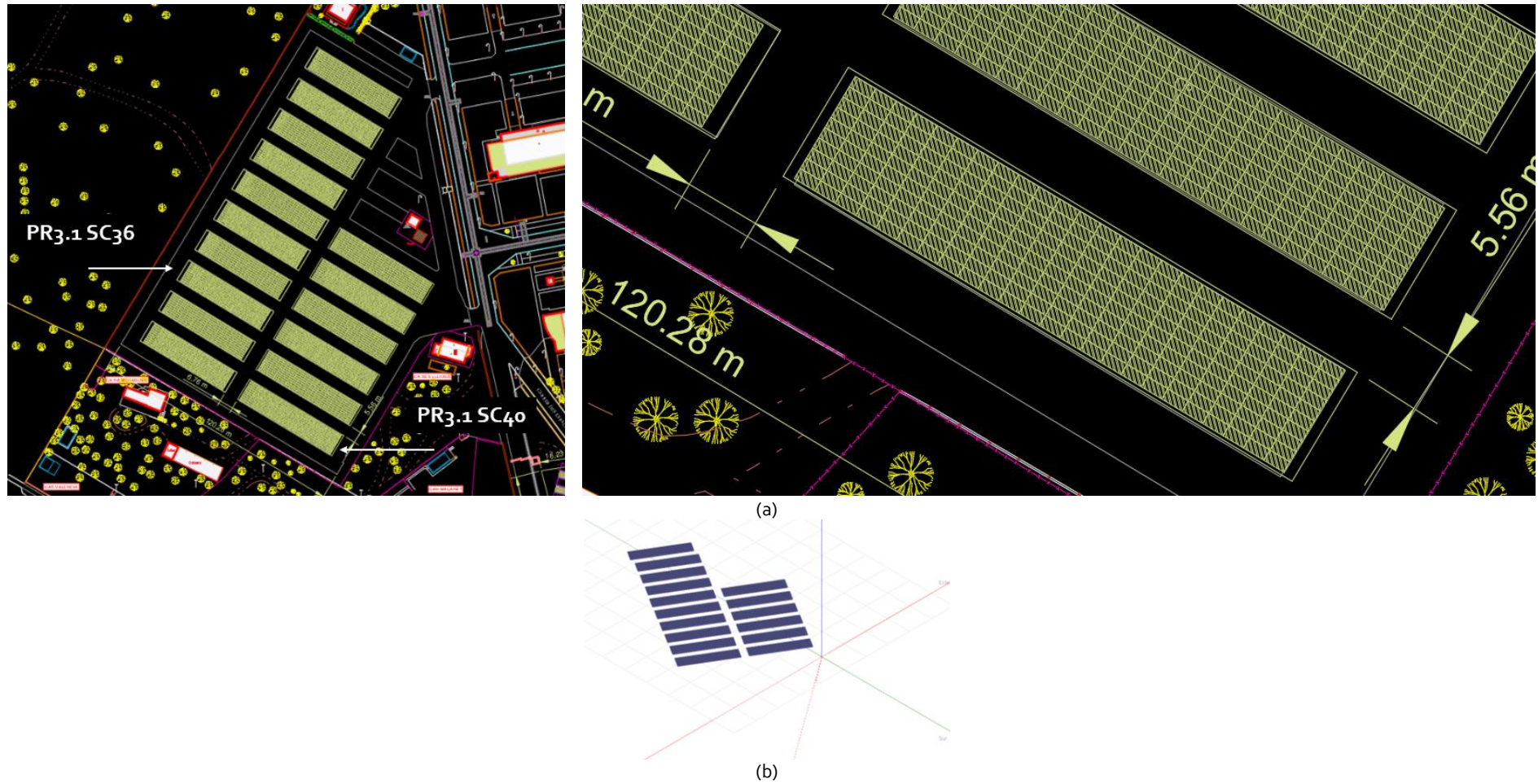


Figura 31: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica als terrenys de l'aparcament de l'Anselm Turmeda. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica als terrenys de l'aparcament de l'Anselm Turmeda.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 24**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 24. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Marquesines

A l'hora de seleccionar les marquesines fotovoltaiques s'ha intentat minimitzar el seu impacte visual, l'ocupació de territori, i la generació de residus permanents. Si s'analitza la zona delimitada per una línia contínua de color vermell de la **Figura 29**, es pot veure que la zona que s'ha considerat susceptible per instal·lar-hi plaques fotovoltaiques de l'aparcament de l'Anselm Turmeda consta de 6 trams d'estacionament que permeten l'estacionament de màxim 40 vehicles/ tram, i de 10 trams que permeten l'estacionament de com a màxim 36 vehicles/tram. Es per això que, a l'hora de dur a terme el pre-disseny de les estructures de suport dels panells fotovoltaics s'ha intentat trobar una solució basada en l'ús de marquesines fotovoltaiques dobles que permetrien diferents configuracions. Per una banda, s'ha seleccionat un model de marquesina que permetria col·locar-hi a sobre 10 files de 24 panells ($10 \cdot 24 = 240$ panells) i cobriria l'espai de 40 estacionaments, i per altra banda un model que permetria la instal·lació de 10 files de 21 panells ($10 \cdot 21 = 210$ panells) i cobriria l'espai de 36 estacionaments. A la vegada, amb la finalitat de minimitzar l'impacte visual i paisatgístic s'ha decidit que l'altura màxima de la marquesina sobre el terreny sigui de 3,5 m, i l'altura mínima de 2,2 m per tal de permetre compatibilitzar la generació solar amb el cultiu o l'ús del terreny com a estacionament de vehicles. Els pilars de les marquesines es fixaran al sòl mitjançant el seu cargolat a uns ancoratges prèviament embotits a sabates de formigó, que tindran un volum de com a mínim 4 m³ i es trobaran separades entre si com a màxim 5 m. A la **Figura 32** es presenta un exemple gràfic de l'ús d'una marquesina doble model PR3.1 SC40 a un aparcament de cotxes:

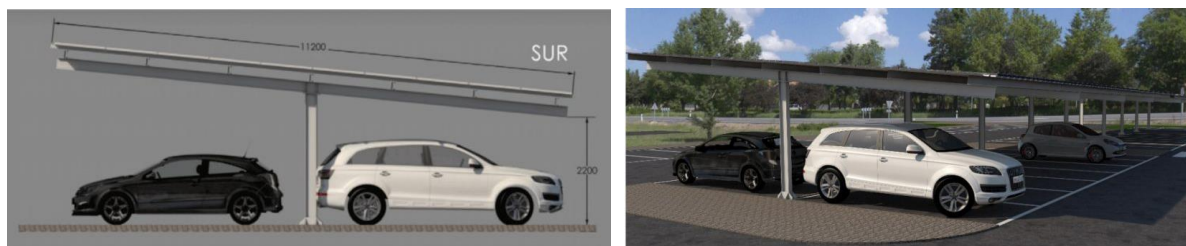


Figura 32. Marquesina modular per aparcament doble, sense xapa, model PR3.1 SC40 del fabricant SUNFER.

Al present estudi s'ha emprat el model de marquesina **PR3.1 SC40** del fabricant **SUNFER** per les zones amb **40 places d'estacionament**. Aquestes marquesines permetrien la instal·lació de **240 panells** en 24 fileres de 10 panells fotovoltaics muntats horitzontalment i amb una inclinació de 5° sobre la horitzontal, per a mides de panells de fins a 2150×1060 mm. L'altura màxima global de l'estructura sobre el sòl, amb els panells a sobre, seria de **3,18 m**. Per a les zones amb capacitat per a **36 places d'estacionament** s'ha optat per les marquesines model **PR3.1 SC36**, del fabricant **SUNFER**. Aquestes marquesines permetrien la instal·lació de **210 panells** es 21 fileres de 10 panells fotovoltaics muntats horitzontalment i amb una inclinació de 5° sobre la horitzontal, i l'altura màxima respecte el sòl de l'estructura amb els panells a sobre, per a mides de panells de fins a 2150×1060 mm, seria de **3,18 m**.

En quan a la separació entre les files contigües de marquesines cal mencionar que aquesta ve fixada per la zona de rodadura dels vehicles, que es aproximadament de **5,76 m**. Aquesta distància es superior a la distància que es recomana deixar al Plec de Condicions Tècniques de instal·lacions fotovoltaïques del IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*), segons el qual hauria de ser d'almenys **3,66 m**, per a garantir 4 hores de sol al voltant del migdia del solstici d'hivern. Tot i així, les diferents marquesines es faran una mica d'ombra, fet que implicarà unes pèrdues anuals d'energia d'un **0,09 %**, d'acord a les simulacions realitzades mitjançant el PVsyst. A la **Figura 33** es presenta la disposició de dues fileres contigües de marquesines:

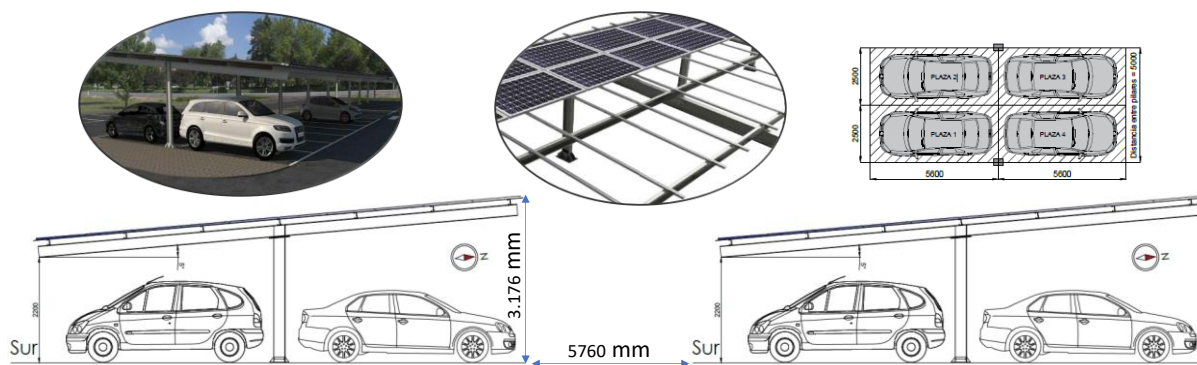


Figura 33. Disposició de les fileres de marquesines fotovoltaïques de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en la intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el mes proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de

comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat dos models d'inversors trifàsics del fabricant espanyol Ingeteam. Per una banda s'ha emprat l'inversor Ingecon Sun 100TL de 110 kW, i per altra banda l'inversor Ingecon Sun 160TL de 87 kW.

Taula 25. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 100TL
Potència màxima en entrada en CC [kW_p]:	159,5
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.100
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	110
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,5
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	78

Taula 26. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 160TL

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 160TL
Potència màxima en entrada en CC [kW_p]:	136
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.500
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	87
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,7
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	78

Xarxa de monitorització i control

Es proposa la instal·lació d'una xarxa de control i monitorització de la infraestructura elèctrica, que consta d'un centre de control, i dos nodes de monitorització ubicats un a la coberta i un a la instal·lació fotovoltaica de l'aparcament de l'Anselm Turmeda. A la **Figura 34** es presenta l'arquitectura del sistema proposat.

El centre de control estarà compost per un ordinador dedicat a la recollida de dades i visualització del estat de la instal·lació, així com també a permetre les possibles actuacions de control implementades. L'ordinador executarà un software de tipus SCADA per aquesta tasca. Addicionalment, aquest ordinador ha de tenir una targeta de xarxa dedicada, (model RELY-TSNPCIe, fabricant SoC-e/Relyum) que implementi els protocols TSN de forma nativa. Aquesta interfície de xarxa TSN necessita de les interfícies físiques SFP per coure o fibra que permetin comunicacions fins a 1 Gbps. El centre de control es comunicarà amb els nodes computacionals distribuïts per mitjà d'un commutador o switch TSN de 12 ports (model RELY-TSN-BRIDGE 12 ports, fabricant SoC-e/Relyum o similar). Aquest commutador necessita també les respectives interfícies SFP per coure o fibra que permetin comunicacions fins a 1 Gbps.

Tots els nodes computacionals s'han de comunicar per mitjà d'una xarxa de comunicacions que implementi els estàndards TSN. Aquesta xarxa estarà composta per switches o commutadors RELY-TSN-BRIDGE de 4 ports i RELY-TSN-BRIDGE de 12 ports (fabricant SoC-e/Relyum o dispositius similars) per desplegar una topologia de xarxa que sigui tolerant a les possibles fallades que puguin patir els enllaços de comunicació. Per a tots aquests dispositius seran necessàries les corresponents

interfícies físiques SFP tant de coure o de fibra que permetin comunicacions al manco a 1 Gbps per a cada port dels dispositius.

La càmera IP serveix per a la vídeo vigilància de la instal·lació elèctrica i dels equips TSN. Aquesta s'instal·larà en exterior, per tant ha d'estar adaptada per la captura de vídeo en exterior així com tenir el grau de protecció adequat per la instal·lació a la intempèrie. A més a més la càmera ha de tenir una interfície Ethernet que permeti la seva connexió amb un dels switches o commutadors del punt de desplegament corresponent.

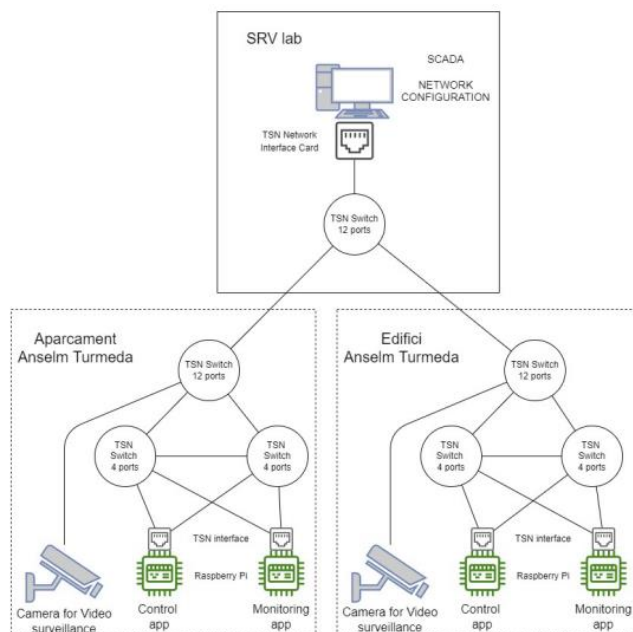


Figura 34: Arquitectura del sistema de monitorització i control TSN

A la **Taula 27**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 27. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda.

Zona fotovoltaica 1: Marquesines fotovoltaiques per a 40 places d'estacionament.									
Model de marquesina:		PR3.1 SC40	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	6	Superfície unitària [m²]:	586,19
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimuth / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	1.425	455 W _p	648 kW _p	2,17	5°	+31,2° / S-o	3517,14 (Marquesines)
Inversors	Ingecon Sun 100TL	Ingeteam	6	110 kW _{ac}	660 kW _{ac}	--	--	--	--
Zona fotovoltaica 2: Marquesines fotovoltaiques per a 36 places d'estacionament.									
Model de marquesina:		PR3.1 SC36	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	10	Superfície unitària [m²]:	530,19
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimuth / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	2.093	455 W _p	952 kW _p	2,17	5°	+31,2° / S-o	5301,9 (Marquesines)
Inversors	Ingecon Sun 160 TL	Ingeteam	10	87 kW _{ac}	870 kW _{ac}	--	--	--	--

Evacuació de la generació									
Centre de transformació	---	---	1	1250 kVA	1250 kVA	14,47	--	--	14,47
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									8819,04
Superfície total de la "zona 7 – àrea de reserva natural" [m²]:									347.833
Percentatge d'ocupació de la "zona 7 – àrea de reserva natural":									2,5 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE L'APARCAMENT DE L'EDIFICI ANSELM TURMEDA

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, en l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda ascendeix a **3.147.666,6 €**. En la **Taula 28** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per a desplegar la instal·lació proposada.

Taula 28. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'Anselm Turmeda.

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Obra Civil	---	1	21.933,70 €	21.933,70 €	1,07%
	Instal·lació de les plaques fotovoltaïques	Marquesines dels aparcaments i la seva instal·lació, material auxiliar, cimentacions de les sabates i mà d'obra.	1	1.142.030,66 €	1.142.030,66 €	55,75%
Total obres civils i estructures:					1.163.964,36 €	56,83%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, Planta fotovoltaica -> CT Pantaleu	1	17.154,77 €	17.154,77 €	0,84%
		Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, Marquesines-> CT Zona Nord aparcament del Turmeda	1	61.705,23 €	61.705,23 €	3,01%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					78.860,00 €	3,85%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					1.242.824,36 €	60,68%
Capítol 3	Inversor	Ingecon Sun 100TL	6	8893,5	53361	2,61%
	Inversor	Ingecon Sun 160TL	10	7.402,50 €	74.025,00 €	3,61%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	3518	144,63	508.808,34 €	24,84%
	Comptador elèctric	---	1	2.700,00 €	2.700,00 €	0,13%
	Caixa de connexions	Caixa de connexions ST-36 (36 ramals de 350A)	7	600,00 €	4.200,00 €	0,21%
Capítol 4	Centre de transformació	Centre de transformació de 1250 kVA, amb caseta prefabricada, 2 celdes de línia, 1 celda de proteccions + fusible, 1 celda de seccionament, 1 celda de mesura.	1	52.278,97 €	52.278,97 €	2,55%
Capítol 5	Sistema de Seguretat	Clos perimetral + Sistema de seguretat	1	10.726,70 €	10.726,70 €	0,52%
Capítol 6	Sistema d'il·luminació	Columnes d'il·luminació	1	46.896,80 €	46.896,80 €	2,29%
Capítol 7	Seguretat i salut	Seguretat i salut	1	2.081,30 €	2.081,30 €	0,10%
Capítol 8	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	0,29%
Capítol 9	Xarxa de monitorització i control per a la xarxa elèctrica basada en time-sensitive networking Ethernet	Centre de control i dos punts de desplegament (TSN network Interface Card, PC SCADA, TSN Switch 12 ports, càmera per videovigilància,..etc), material auxiliar, mà d'obra, etc.	1	46.896,80 €	46.896,80 €	2,17%

Pressupost d'execució material (PEM):		2.048.328,62 €	100,00%
	Percentatge		
Despeses Generals (DG):	13,00%	266.282,72 €	
Benefici Industrial (BI):	6,00%	122.899,72 €	
	Total DG+BI [€]:	389.182,44 €	
Honoraris professionals [€]	8,00%	163.866,29 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:		2.601.377,35 €	
IVA:	21,00%	546.289,24 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)		3.147.666,59 €	
Cost específic [€/Wp]:		1,97	

ESTIMACIÓ DE LA AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE L'APARCAMENT DE L'ANSELM TURMEDA

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda generaria anualment de mitja **2.359,9 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **3.147.666,6 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 29. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	3.147.666,59 €	0,00 €	19,50	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-1.446.146,90 €	1,47
25 %	2.360.749,94 €	786.916,65 €	14,62	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-659.230,25 €	4,09
50 %	1.573.833,30 €	1.573.833,30 €	9,75	20,15	127.686,40 €	8,54
60 %	1.259.066,64 €	1.888.599,95 €	7,80	12,83	442.453,05 €	11,53
70 %	944.299,98 €	2.203.366,61 €	5,85	8,23	757.219,71 €	16,18
75 %	786.916,65 €	2.360.749,94 €	4,87	6,44	914.603,04 €	19,75
80 %	629.533,32 €	2.518.133,27 €	3,90	4,86	1.071.986,37 €	25,00

Taula 30. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

<i>Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]</i>	<i>Inversió inicial UIB ($I_{0, UIB}$) [€]</i>	<i>Inversió inicial GOIB ($I_{0, GOIB}$) [€]</i>	<i>(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]</i>	<i>(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]</i>	<i>(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]</i>	<i>(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]</i>
0 %	3.147.666,59 €	0,00 €	12,26	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-440.918,75 €	5,90
25 %	2.360.749,94 €	786.916,65 €	9,19	17,60	345.997,90 €	9,28
50 %	1.573.833,30 €	1.573.833,30 €	6,13	8,80	1.132.914,55 €	15,35
60 %	1.259.066,64 €	1.888.599,95 €	4,90	6,49	1.447.681,20 €	19,63
70 %	944.299,98 €	2.203.366,61 €	3,68	4,53	1.762.447,86 €	26,57
75 %	786.916,65 €	2.360.749,94 €	3,06	3,66	1.919.831,19 €	32,05
80 %	629.533,32 €	2.518.133,27 €	2,45	2,84	2.077.214,52 €	40,23

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **75 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 75 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,44 anys**, i un **VAN de 914.603 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 19,75 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitjà de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 30** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 6,49 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 1.447.681,2 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 19,63 %** superior a la $t_d=7,6 \%$. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

CAMINAL D'EIVISSA

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum als terrenys corresponents a la zona d'estacionament de la dreta (orientat cap al nord) del Caminal d'Eivissa. A continuació es detallen aspectes tals com: la ubicació dels terrenys susceptibles a instal·lar-hi una planta fotovoltaica, la classificació de la zona a la qual pertany el terreny en funció de l'ús, una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

UBICACIÓ

El Caminal d'Eivissa es troba ubicat al campus de la Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma (Illes Balears). La zona susceptible per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques sobre pèrgoles es troba delimitada mitjançant una línia vermella contínua en la **Figura 35**. Concretament, aquesta zona presenta una superfície d'uns **1.600 m²**.

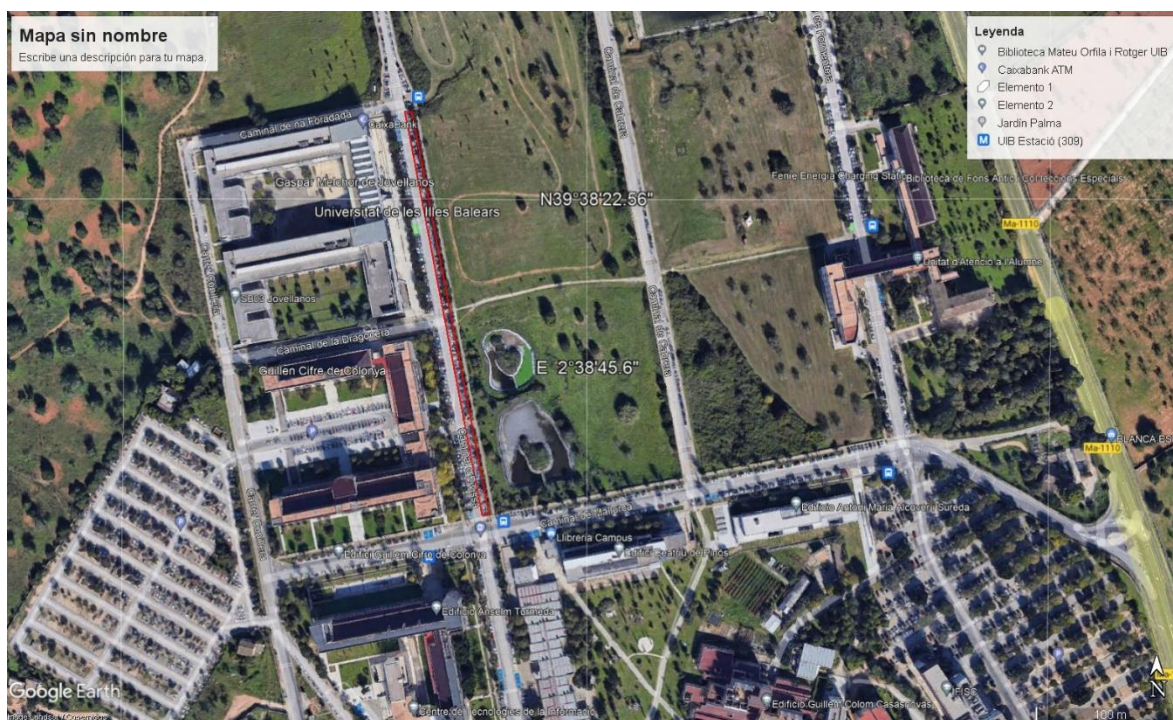


Figura 35. Zona delimitada amb color vermell seria on s'ubicaria la planta fotovoltaica del Caminal Eivissa.

CLASIFICACIÓ DE LA ZONA AFECTADA

Els terrenys prioritaris de l'aparcament del Caminal d'Eivissa estan definits com a *zona 3 – àrea docent i investigació*, segons el que estableix el Pla especial de 1986 de la Universitat de les Illes Balears, i que en conjunt consta d'una superfície aproximada de **109.050 m²**. La zona d'aparcament del Caminal d'Eivissa presenta una aptitud **baixa** per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques segons el mapa d'aptitud per el desplegament de instal·lacions fotovoltaïques disponible al visor de la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB) de la *Conselleria de Media Ambient i Territori* del GOIB, **Figura 36**. Ara bé, si s'observa el **mapa d'aparcaments de més de 1.000 m²** aptes per una possible instal·lació de panells fotovoltaïcs, d'acord amb la Llei 10/2019, del visor IDEIB el citat aparcament apareix identificat i presenta un nivell d'**insolació anual òptim**, amb un valor menor o igual a 1.064 kWh/m².

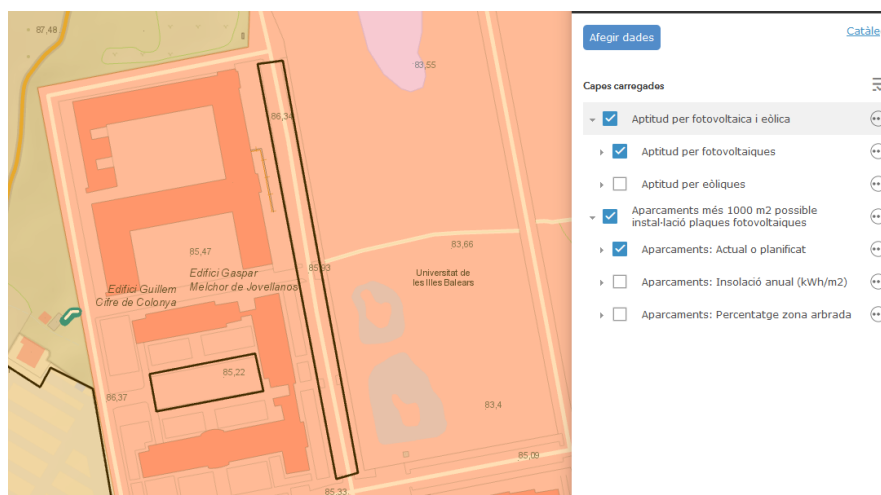


Figura 36. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques de l'aparcament del caminal d'Eivissa. Font: IDEIB.

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica es planteja que en la zona d'estacionament de la dreta del Caminal Eivissa (orientat cap al nord) es podria ubicar un parc fotovoltaic de **277 kW_p** de potencia de producció en corrent continu (DC) i **253 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continu s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus. Concretament, en el present estudi es proposa que es podria evacuar l'energia generada per la present instal·lació a través del CT de reserva de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos.

Un cop analitzat el caminal s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **608 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que col·locades sobre marquesines ocuparien una superfície de **1.495,3 m²**, equivalent a un **1,37 %** de la superfície de la zona 3 – zona d'àrea docent que en totalitat consta de **109.050 m²**. Concretament, l'espai disponible es pot dividir en tres trams. Pel primer tram, es proposa la combinació d'una **marquesina model PR1.1 SC10 amb una marquesina model PR1.1 SC14 del fabricant SUNFER, cobrint 24 llocs d'estacionament**. Pel segon tram es proposa combinar una **marquesina PR1.1 SC10 amb una marquesina model PR1.1 SC16, del fabricant SUNFER, cobrint 26 llocs d'estacionament**. Finalment, pel tercer tram es proposa combinar **dues marquesines PR1.1 SC20 i una marquesina PR1.1 SC4, del fabricant SUNFER, donant lloc a 54 estacionaments**. La coberta de cada una d'aquestes marquesines presentaria una inclinació de 5° sobre l'horitzontal, i les estructures estarien orientades a -101° (S-E), presentant una altura màxima de 2,2 m sobre el sòl. A la vegada, les **8 cadenes de 18 panells fotovoltaics** que es podrien col·locar al tram 1 es podrien connectar a un

inversor de **55 kW_{ac}** model **Ingecon Sun 100TL** del fabricant espanyol Ingeteam. Les **10** cadenes de 16 panells fotovoltaics que es podrien col·locar sobre les marquesines del tram 2 es podrien interconnectar a **2 inversors** de **33 kW_{ac}** model **Ingecon Sun 33TL** del fabricant espanyol Ingeteam. Finalment, les **19 cadenes de 16 panells fotovoltaics** que es porien col·locar sobre les marquesines del tram 3 es podrien connectar a **4 inversors** de **33 kW_{ac}** model **Ingecon Sun 33TL** del fabricant espanyol Ingeteam. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics al Caminal d'Eivissa es presenta a la **Figura 37**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, una vegada descomptades les pèrdues:

Taula 31. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada al Caminal d'Eivissa

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m ²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m ²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	16,17	15,85
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	20,801	20,464
<i>Març</i>	137,40	50,84	33,926	33,376
<i>Abril</i>	168,00	65,67	41,328	40,681
<i>Maig</i>	205,80	81,80	50,184	49,398
<i>Juny</i>	220,60	82,30	52,809	52,011
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	52,65	51,849
<i>Agost</i>	196,90	68,01	46,382	45,647
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	34,84	34,297
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	25,634	25,214
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	16,359	16,073
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	14,035	13,757
Total anual:	1.684,90	654,89	405,117	398,617
Inversió neta (Total del pressupost general):				600.091,82 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				114,40
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				3,89%

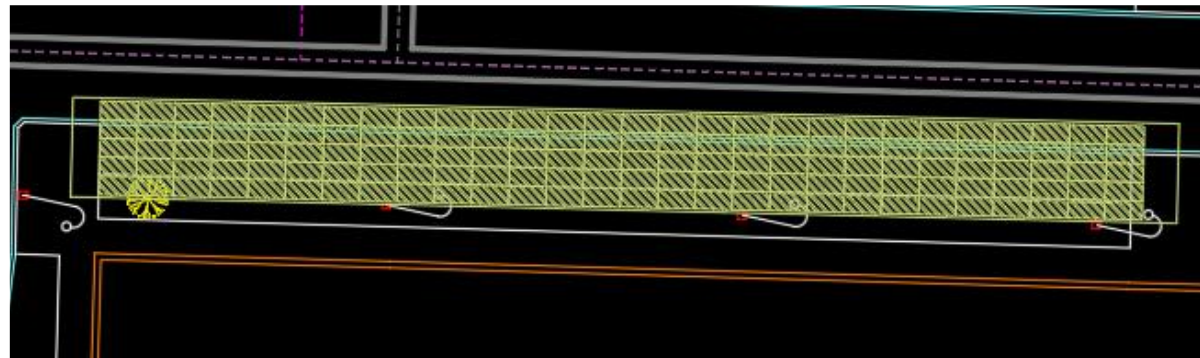
Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **398,6 MWh/any**, que permetria cobrir un **3,9 % de la demanda elèctrica anual** del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **114,4 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **600.091,8 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **2,17 €/W_p**, (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada (moviments de terra, ...).

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **2,17 €/W_p**, hi ha **0,26 €/W_p** (**11,84 %**) que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.



(a)



(b)

Figura 37: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa. (b) Marquesines del tram 1 del pre-disseny.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 32**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 32. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Marquesines

A l'hora de seleccionar les marquesines fotovoltaiques s'ha intentat minimitzar l'impacte visual, l'ocupació de territori, i la generació de residus permanents. La zona d'estacionament de la dreta del Caminal d'Eivissa (orientat cap al nord) disposa d'un tram que permet l'estacionament de 24 vehicles/tram, un de 26 vehicles/tram, i un de 54 vehicles/tram. Per al tram 1, on hi ha 24 estacionaments de vehicles es proposa combinar una marquesina model PR1.1 SC8 (fins a: 10*5=50 panells) i una del model PR1.1 SC14 (fins a: 17*5=85 panells). Al tram 2 on hi ha 26 estacionaments es proposa emprar una marquesina model PR1.1. SC10 (fins a: 12*5=60 panells) i una marquesina model PR1.1. SC16 (fins a: 19*5= 95 panells). Finalment al tram 3 on hi ha 54 estacionaments, es proposa emprar dues marquesines del model PR1.1. SC20 (fins a: 24*5*2=240 panells) i una marquesina del model PR1.1 SC4 (fins a: 5*5=25 panells). Cal mencionar que tots els models presentats son del fabricant espanyol SUNFER. A la vegada, amb la finalitat de minimitzar l'impacte visual i paisatgístic s'ha decidit que l'altura màxima de la marquesina sobre el terreny sigui de **3,5 m**, i l'altura mínima de **2,2 m** per tal de permetre compatibilitzar la generació solar amb el cultiu o l'ús del terreny com a estacionament de vehicles. Els pilars de les marquesines es fixaran al sòl mitjançant el seu cargolat a uns ancoratges prèviament embotits a sabates de formigó, que tindrien un volum de com a mínim **4 m³** i es trobarien separades entre si com a màxim **5 m**. A la **Figura 32** es mostra una representació gràfica de l'ús d'una marquesina model PR1.1 SC20 a un aparcament de cotxes.

Les marquesines emprades permeten la instal·lació de cinc fileres de 5 (model PR1.1 SC4), 10 (PR1.1 SC8), 12 (PR1.1. SC10), 17 (PR1.1 SC14), i 24 (model PR1.1. SC20) panells fotovoltaics muntats horitzontalment, per mides de panells fins a 2150 x 1060 mm. L'altura màxima de l'estructura amb els panells sobre el sòl es de **2,67 m**. Els pilars de les marquesines es distribuïrien com a mínim cada 5 m, i anirien fixats mitjançant cargols a les respectives sabates de formigó.

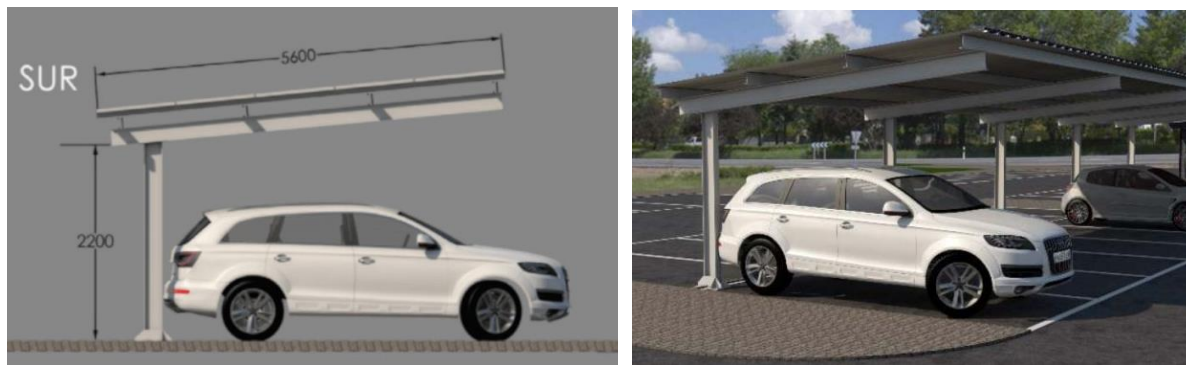


Figura 38. Marquesina modular per aparcament doble, sense xapa, model PR1.1 SC20 del fabricant SUNFER.

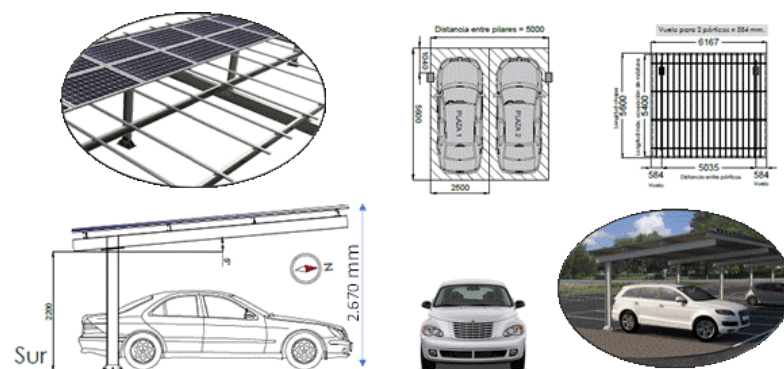


Figura 39. Disposició de les fileres de marquesines fotovoltaiques de l'aparcament del Caminal d'Eivissa.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en la intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el més proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat dos models d'inversors trifàsics del fabricant espanyol Ingeteam. Per una banda s'ha emprat l'inversor model Ingecon Sun 100TL de 55 kW, i per altra banda l'inversor model Ingecon Sun 33TL de 33 kW.

Taula 33. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 100TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	80,2
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.100
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	55,3
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,5
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	78

Taula 34. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 33TL

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 33TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	45
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.000
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	33
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,3
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	54,5

A la **Taula 35**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 35. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa.

Zona fotovoltaica 1: Marquesines fotovoltaiques per a 24 places d'estacionament.									
Model de marquesina:		PR1.1 SC8	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	1	Superfície unitària [m²]:	119,4
Model de marquesina:		PR1.1 SC14	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	1	Superfície unitària [m²]:	195,3
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	144	455 W _p	65,5 kW _p	2,17	5°	-101/ S-E	314,7 (marquesines)
Inversors	Ingecon Sun 100TL	Ingeteam	1	55 kW _{ac}	55 kW _{ac}	--	--	--	--
Zona fotovoltaica 2: Marquesines fotovoltaiques per a 26 places d'estacionament.									
Model de marquesina:		PR1.1. SC10	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	1	Superfície unitària [m²]:	165,5
Model de marquesina:		PR1.1. SC16	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	1	Superfície unitària [m²]:	246,2
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	161	455 W _p	72,8 kW _p	2,17	5°	-101/ S-E	411 (marquesines)
Inversors	Ingecon Sun 33TL	Ingeteam	2	33 kW _{ac}	66 kW _{ac}	--	--	--	--
Zona fotovoltaica 3: Marquesines fotovoltaiques per a 54 places d'estacionament.									
Model de marquesina:		PR1.1. SC20	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	2	Superfície unitària [m²]:	306,2
Model de marquesina:		PR1.1. SC4	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	1	Superfície unitària [m²]:	83,45
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	315	455 W _p	131 kW _p	2,17	5°	-101/ S-E	695,8 (marquesines)
Inversors	Ingecon Sun 33TL	Ingeteam	4	33 kW _{ac}	264 kW _{ac}	--	--	--	--
Evacuació de la generació									

Centre de transformació	---	Quadre de baixa tensió (BT)	1	--	--	--	--	--	---
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									1.421,5
Superfície total de la "zona 3 – àrea docent i investigació" [m²]:									109.050
Percentatge d'ocupació de la "zona 3 – àrea docent i investigació" [%]:									1,3%

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL CAMINAL D'EIVISSA

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, al Caminal d'Eivissa ascendeix a **600.091,8 €**. En la **Taula 36** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per a desplegar la instal·lació proposada.

Taula 36. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal d'Eivissa.

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Obra Civil	---	1	3.794,90 €	3.794,90 €	0,97%
	Instal·lació de les plaques fotovoltaïques	Marquesines dels aparcaments i la seva instal·lació, material auxiliar, cimentacions de les sabates, formigonat de la rasa de connexió fins al CT de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos	1	204.417,12 €	204.417,12 €	52,35%
Total obres civils i estructures:					208.212,02 €	53,32%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, etc. Tram de 24 estacionaments	1	8.208,47 €	8.208,47 €	2,10%
		Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, etc. Tram de 26 estacionaments	1	3.960,73 €	3.960,73 €	1,01%
		Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, etc. Tram de 54 estacionaments	1	30.346,96 €	30.346,96 €	7,77%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					42.516,16 €	10,89%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					250.728,18 €	64,21%
Capítol 3	Inversor	Ingecon Sun 100TL de 55 kW	1	6187,5	6187,5	1,58%
	Inversor	Ingecon Sun 33TL	6	3.591,40 €	21.548,40 €	5,52%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	608	144,63	87.935,04 €	22,52%
	Comptador elèctric		1	2.700,00 €	2.700,00 €	0,69%
	Caixa de connexions	Caixa de connexions ST-36 (36 ramals de 350A)	8	600,00 €	4.800,00 €	1,23%
Capítol 4	Centre de transformació	Quadre de protecció de Baixa Tensió (BT)	1	3.738,09 €	3.738,09 €	0,96%
Capítol 5	Sistema de Seguretat	Clos perimetral + Sistema de seguretat	1	1.855,90 €	1.855,90 €	0,48%
Capítol 6	Sistema d'il·luminació	Columnes d'il·luminació	1	4.653,60 €	4.653,60 €	1,19%
Capítol 7	Seguretat i salut	Seguretat i salut	1	360,10 €	360,10 €	0,09%
Capítol 8	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	1,54%
Pressupost d'execució material (PEM):					390.506,81 €	100,00%
				Percentatge		
Despeses Generals (DG):				13,00%	50.765,89 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	23.430,41 €	
				Total DG+BI [€]:	74.196,29 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	31.240,54 €	

Pressupost d'execució per contrata [€]:		495.943,65 €
IVA:	21,00%	104.148,17 €
Total del pressupost general (inclou IVA)		600.091,82 €
Cost específic [€/Wp]:		2,17

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL CAMINAL D'EIVISSA

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en la zona d'estacionament del Caminal d'Eivissa generaria anualment de mitja **398,6 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **600.091,8 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present document. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 37. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	600.091,82 €	0,00 €	22,00	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-312.630,96 €	0,47
25 %	450.068,87 €	150.022,96 €	16,50	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-162.608,00 €	2,95
50 %	300.045,91 €	300.045,91 €	11,00	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-12.585,05 €	7,10
60 %	240.036,73 €	360.055,09 €	8,80	16,07	47.424,13 €	9,85
70 %	180.027,55 €	420.064,27 €	6,60	9,81	107.433,31 €	14,10
75 %	150.022,96 €	450.068,87 €	5,50	7,56	137.437,91 €	17,32
80 %	120.018,36 €	480.073,46 €	4,40	5,65	167.442,50 €	22,03

Taula 38. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal d'Eivissa per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	600.091,82 €	0,00 €	13,83	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-142.804,10 €	4,64
25 %	450.068,87 €	150.022,96 €	10,37	23,82	7.218,86 €	7,79

50 %	300.045,91 €	300.045,91 €	6,92	10,54	157.241,81 €	13,35
60 %	240.036,73 €	360.055,09 €	5,53	7,62	217.250,99 €	17,21
70 %	180.027,55 €	420.064,27 €	4,15	5,25	277.260,18 €	23,43
75 %	150.022,96 €	450.068,87 €	3,46	4,21	307.264,77 €	28,31
80 %	120.018,36 €	480.073,46 €	2,77	3,25	337.269,36 €	35,58

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 60 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **80 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 80 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 5,65 anys**, i un **VAN de 167.442,50 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 22,2 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitjà de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la

Taula 38 mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **70 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 5,25 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 277.260,18 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 23,43 %** superior a la $t_d=7,6 \%$. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

CAMINAL DE FORMENTERA

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum als terrenys corresponents a la zona d'estacionament del Caminal de Formentera. A continuació es detallen aspectes tals com: la ubicació dels terrenys susceptibles a instal·lar-hi una planta fotovoltaica, la classificació de la zona a la qual pertany el terreny en funció de l'ús, una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

UBICACIÓ

El Caminal de Formentera es troba ubicat al campus de la Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma (Illes Balears). La zona susceptible per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques sobre pèrgoles es troba delimitada mitjançant una línia vermella contínua en la **Figura 40**. Concretament, aquesta zona presenta una superfície d'uns **3.507,9 m²**.



Figura 40. Zona delimitada amb color vermell seria on s'ubicaria la planta fotovoltaica del Caminal Formentera.

Com es pot apreciar, la zona definida es troba delimitada per el terraplè i els arbres que s'ubiquen al costat del caminal. Alguns d'aquests elements donaran peu a l'aparició d'ombres sobre els panells fotovoltaics que s'instal·lin en les seves immediacions, en especial per les tardes donat que bona part dels obstacles s'ubiquen a l'oest del terreny proposat. Per tant, a l'hora de pre-dimensionar el potencial parc fotovoltaic que es podria instal·lar en aquest terreny s'haurà de realitzar un estudi d'ombres properes, a fi de determinar les pèrdues de generació provocades per aquets obstacles.

CLASIFICACIÓ DE LA ZONA AFECTADA

Els terrenys prioritaris del Caminal de Formentera formen part de la *zona 6 – àrea d'esports*, segons el que estableix el Pla especial de l'any 1986 de la Universitat de les Illes Balears, que consta d'una superfície aproximada de **52.990 m²**. Segons el mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques disponible al visor de la Infraestructura de Dades Espacials de les Illes Balears (IDEIB) de la *Conselleria de Media Ambient i Territori* del GOIB, la zona d'aparcament del caminal de Formentera presenta una aptitud **baixa**. Per altra banda, si s'analitza el mapa d'aparcaments de més de 1.000 m² aptes per una possible instal·lació de panells fotovoltaïcs, d'acord amb llei 10/2019, del visor IDEIB, la zona d'aparcament del Caminal de Formentera presenta un nivell d'insolació òptim.

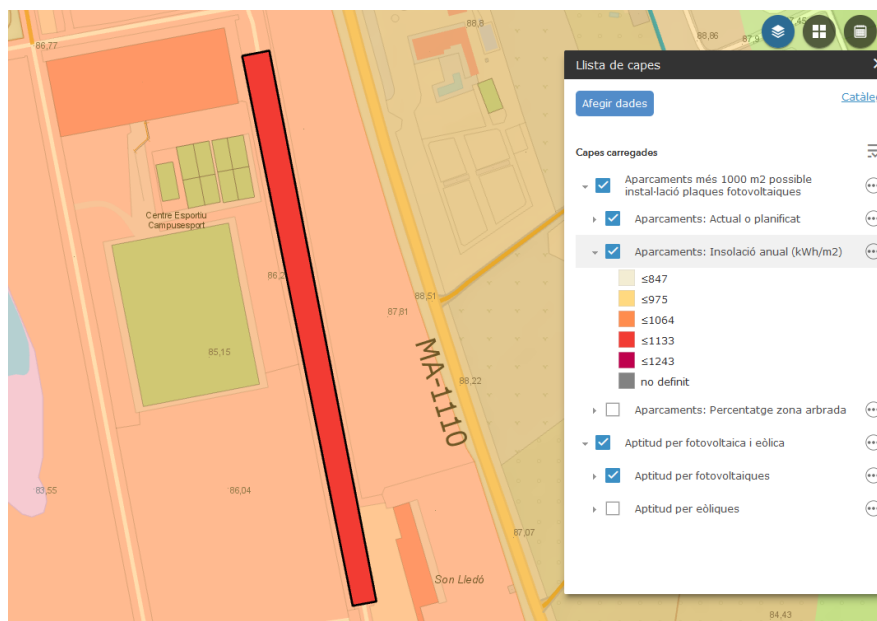


Figura 41. Mapa d'aptitud per el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques del caminal de Formentera. Font: IDEIB.

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica es planteja que en la zona d'estacionament del Caminal de Formentera es podria ubicar un parc fotovoltaic de **645 kW_p**, kW_p de potencia de producció en corrent continua (DC) i **650 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent altern (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaïcs es transferida mitjançant corrent continua s'ha de transformar en corrent altern, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaïcs de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus. Concretament, en el present estudi es proposa evacuar l'energia que generaria la potencial instal·lació fotovoltaica del Caminal de Formentera a través del CT que es proposa construir annexa a l'Aljub General, el cost del qual ja s'ha inclòs a l'estimació del cost de la instal·lació de la potencial planta fotovoltaica que es podria instal·lar a la zona de l'Aljub General.

Un cop analitzats els terrenys s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **1.408 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, col·locades sobre **una marquesina del model PR1.1 SC18 i onze marquesines model PR1.1 SC20**, del fabricant SUNFER, ocuparien una superfície de **3.507,25 m²**, equivalent a un **6,8 %** de la superfície de la zona 6 – àrea d'esports que en totalitat consta de **50.990 m²**. La coberta de cada una d'aquestes marquesines presentaria una inclinació de 5° sobre l'horitzontal, i les estructures presentarien una orientació de 79° (marquesines col·locades al costat esquerra del caminal, orientació nord) o -101° (marquesines del costat de la dreta del caminal, orientació nord). A la vegada, les cadenes de panells fotovoltaics de dues marquesines consecutives (partint des del sud) anirien connectades a **un inversor de 100 kWac model Sunny Highpower SHP100-20-PEAK3** (panells de les marquesines PR1.1 SC18+PR1.1 SC20) i **a 4 inversors de 110 kWac model Sunny Tripower STP110** (panells de les marquesines PR1.1 SC20+ PR1.1 SC20), del fabricant alemany SMA. Finalment, les cadenes de panells de les dues marquesines model PR1.1 SC20 de més del nord es connectarien a **2 inversors model Ingecon Sun 100TL de 55 kW**, del fabricant espanyol Ingeteam. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics als terrenys annexes a Cas Jai i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 44**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, una vegada descomptades les pèrdues:

Taula 39. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada a l'aparcament del Caminal de Formentera

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
Gener	67,70	26,84	38,021	37,14
Febrer	85,10	37,39	49,133	48,201
Març	137,40	50,84	79,648	78,208
Abril	168,00	65,67	96,483	94,838
Maig	205,80	81,80	116,834	114,879
Juny	220,60	82,30	122,938	120,982
Juliol	222,80	77,89	122,473	120,514
Agost	196,90	68,01	108,652	106,855
Setembre	145,30	59,45	81,41	80,041
Octubre	107,20	44,86	60,195	59,088
Novembre	68,80	33,24	38,484	37,68
Desembre	59,30	26,61	32,694	31,916
Total anual:	1.684,90	654,89	946,965	930,343
Inversió neta (Total del pressupost general):				1.295.808,57 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				267,01
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				9,08%

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **930,3 MWh/any**, que permetria cobrir un **9,08 % de la demanda elèctrica anual** del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **267,01 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta de **1.295.808,6 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **2,01 €/Wp**, (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada (moviments de terra, ...).

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la

confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **2,01 €/W_p**, hi ha **0,18 €/W_p (8,76 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 40**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 40. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Marquesines

A l'hora de seleccionar les marquesines fotovoltaiques s'ha intentat minimitzar l'impacte visual, l'ocupació de territori, i la generació de residus permanents. En quan a la zona d'estacionament de l'esquerra del Caminal de Formentera (orientat cap al nord), cal mencionar que al pre-disseny s'hi han situat una marquesina model PR1.1 SC18 (fins a: 21*5=105 panells), i sis marquesines model PR1.1 SC20 (fins a: 24*5=120 panells) del fabricant SUNFER, que permetrien en total la instal·lació de 825 panells fotovoltaics. Per altra banda, a la zona d'estacionament de la dreta del caminal (orientat cap al nord) s'hi han situat cinc marquesines model PR1.1 SC20 (fins a: 24*5=120 panells) del fabricant SUNFER, que permetrien en total la instal·lació de fins a 600 panells.

A la vegada, amb la finalitat de minimitzar l'impacte visual i paisatgístic s'ha decidit que l'altura màxima de la marquesina sobre el terreny seria de **3,5 m**, i l'altura mínima de **2,2 m** per tal de permetre compatibilitzar la generació solar amb l'ús del terreny com a estacionament de vehicles. Els pilars de les marquesines es fixarien al sòl mitjançant el seu cargolat a uns ancoratges prèviament embotits a sabates de formigó, que tindrien un volum de com a mínim **4 m³** i es trobarien separades entre si com a màxim **5 m**. A la **Figura 42** es presenta una representació gràfica de l'ús d'una marquesina simple model PR3.1 SC4 a un aparcament de cotxes:

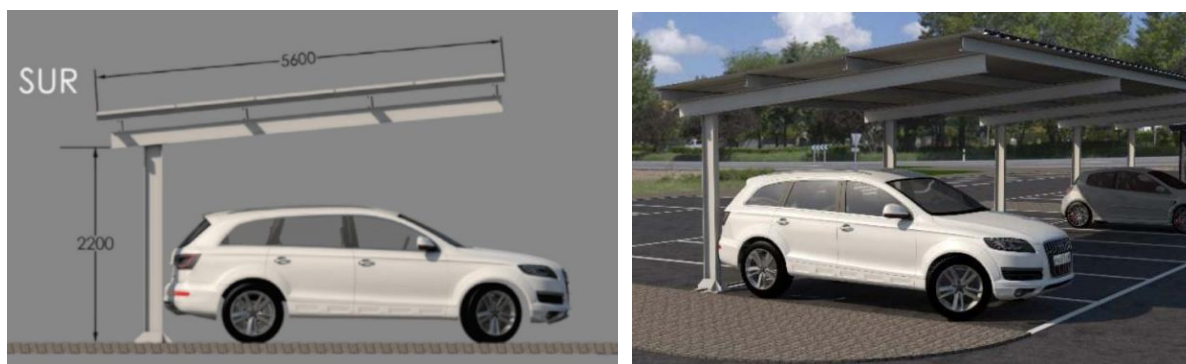


Figura 42. Marquesina modular per aparcament doble, sense xapa, model PR3.1 SC40 del fabricant SUNFER.

Les marquesines emprades permetrien la instal·lació de cinc fileres de 21 (model PR1.1. SC18), i de 24 (model PR1.1. SC20) panells fotovoltaics muntats horitzontalment, per mides de panells fins a 2150x1060 mm. L'altura màxima de l'estructura amb els panells sobre el sòl es de **2,67 m**. Els pilars de les marquesines es distribuïrien cada 5 metres, i aniran fixats mitjançant cargols a les respectives sabates de formigó.

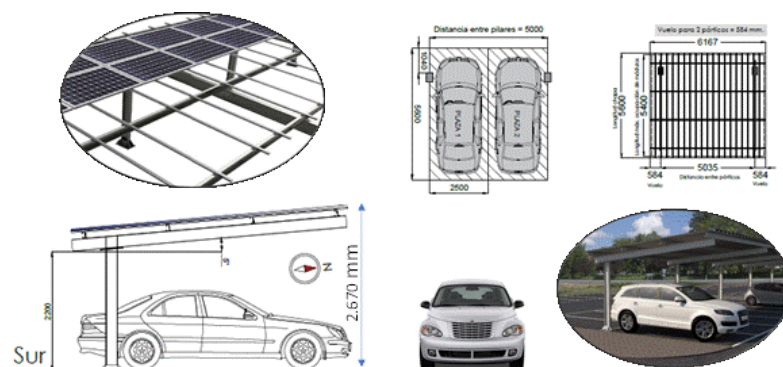


Figura 43. Disposició de les fileres de marquesines fotovoltaïques de l'aparcament del Caminal de Formentera.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en la intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el mes proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat tres models d'inversors trifàsics. Per una banda s'han emprat els inversors **model Sunny Highpower 100-20 PEAK3 de 100 kW**, i l'inversor **model Sunny Tripower STP110**, del fabricant alemany **SMA**. Per altra banda, s'han emprat inversor **model Ingecon Sun 100TL de 55 kW**, del fabricant espanyol **Ingeteam**.

Taula 41. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower 100-20 PEAK₃

Fabricant:	SMA
Referencia:	Sunny Highpower 100-20 PEAK ₃
Potencia màxima en entrada en CC [kW _p]:	150
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.000
Numero d'entrades en CC:	1
Potencia màxima de sortida en CA [kW]:	100
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,6
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	98

Taula 42. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Tripower STP110

Fabricant:	SMA
Referencia:	Sunny Tripower STP110
Potencia màxima en entrada en CC [kW _p]:	165
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.100
Numero d'entrades en CC:	1
Potencia màxima de sortida en CA [kW]:	110
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,6
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	93,5

Taula 43. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100 TL

Fabricant:	Ingeteam
Referencia:	Ingecon Sun 100 TL
Potencia màxima en entrada en CC [kW _p]:	80,2
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.000
Numero d'entrades en CC:	1
Potencia màxima de sortida en CA [kW]:	55,3
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,5
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	78

A la **Taula 44**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 44. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera.

Zona fotovoltaica 1: Marquesines per la zona d'estacionament de l'esquerra del Caminal de Formentera (orientat cap al nord)									
Model de marquesina:		PR1.1 SC18	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	1	Superfície unitària [m²]:	266,65
Model de marquesina:		PR1.1 SC20	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	6	Superfície unitària [m²]:	294,65
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	822	455 W _p	374 kW _p	2,17	5°	79/ S-O	2.034,6 (marquesines)
Inversors	Sunny Highpower 100-20 PEAK3	SMA	1	100 kW _{ac}	100 kW _{ac}	--	--	--	--
Inversors	Sunny Tripower STP110	SMA	2	110kW _{ac}	220 kW _{ac}	--	--	--	--
Inversors	INGECON SUN 100TL	Ingeteam	1	55 kW _{ac}	55 kW _{ac}	--	--	--	--
Zona fotovoltaica 2: Marquesines per la zona d'estacionament de la dreta del Caminal de Formentera (orientat cap al nord)									
Model de marquesina:		PR1.1 SC20	Fabricant:		SUNFER	Unitats:	6	Superfície unitària [m²]:	294,65
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	596	455 W _p	271,2 kW _p	2,17	5°	-101/ S-E	1473,3 (marquesines)
Inversors	Sunny Tripower STP110	SMA	2	110kW _{ac}	220 kW _{ac}	--	--	--	--
Inversors	INGECON SUN 100TL	Ingeteam	1	55 kW _{ac}	55 kW _{ac}	--	--	--	--
Evacuació de la generació									
Centre de transformació	---	Quadre de Baixa tensió a instal·lar al CT que s'ha construït al costat de la planta PV de l'Aljub General	1	--	--	--	--	--	--
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									3.507,3
Superfície total de la "zona 6 – àrea d'esports" [m²]:									59990
Percentatge d'ocupació de la "zona 6 – àrea d'esports" [%]:									6,8 %

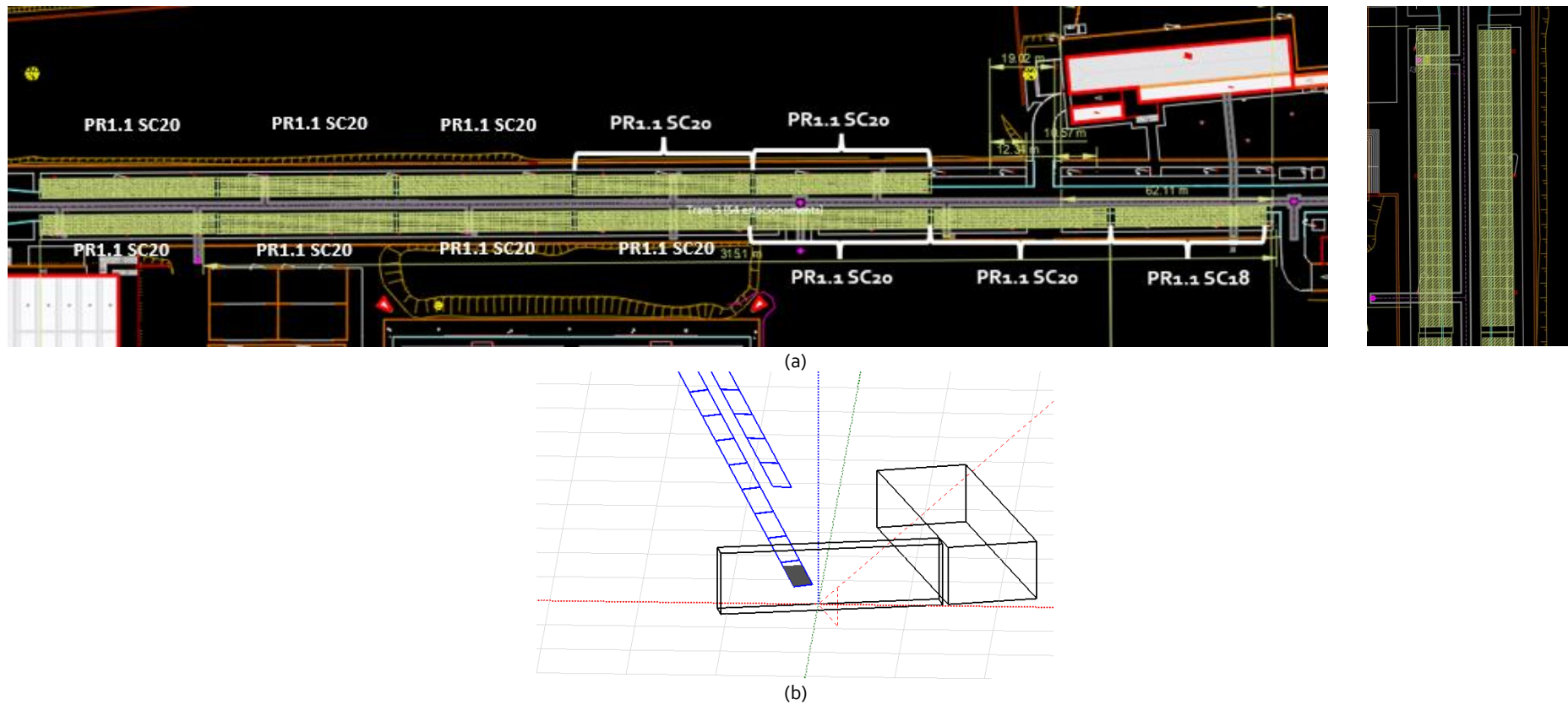


Figura 44: (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal de Formentera. (b) Estudi d'ombres de la potencial instal·lació fotovoltaica que es podria desplegar al Caminal de Formentera.

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL CAMINAL DE FORMENTERA

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, al Caminal de Formentera ascendeix a **1.295.808,6 €**. En la **Taula 45** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per a desplegar la instal·lació proposada.

Taula 45. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal de Formentera

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Obra Civil	---	1	8.836,50 €	8.836,50 €	1,05%
	Instal·lació de les plaques fotovoltaïques	Marquesines dels aparcaments i la seva instal·lació, material auxiliar, cimentacions de les sabates, mà d'obra de la instal·lació, etc.	1	471.932,89 €	471.932,89 €	55,97%
Total obres civils i estructures:					480.769,39 €	57,01%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra, rasa per l'entubat, formigonat de la rasa de connexió fins al CT de la planta de l'Aljub General, etc, mà d'obra de la instal·lació, etc.	1	70.107,46 €	70.107,46 €	8,31%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					70.107,46 €	8,31%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					550.876,85 €	65,33%
Capítol 3	Inversor	Sunny Tripower STP110-60-Core2	4	8.617,70 €	34.470,8	4,09%
	Inversor	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK3	1	7.199,00 €	7.199,00 €	0,85%
	Inversor	Ingecon Sun 100TL	2	6.187,50 €	12.375,00 €	
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	1418	144,63	205.085,34 €	24,32%
	Comptador elèctric		1	2.700,00 €	2.700,00 €	0,32%
	Caixa de connexions	Caixa de connexions ST-36 (36 ramals de 350A)	8	600,00 €	4.800,00 €	0,57%
Capítol 4	Centre de transformació	Quadre de protecció de Baixa Tensió (BT)	1	3.738,09 €	3.738,09 €	0,44%
Capítol 5	Sistema de Seguretat	Clos perimetral + Sistema de seguretat	1	4.321,50 €	4.321,50 €	0,51%
Capítol 6	Sistema d'il·luminació	Columnes d'il·luminació	1	10.836,00 €	10.836,00 €	1,29%
Capítol 7	Seguretat i salut	Seguretat i salut	1	838,50 €	838,50 €	0,10%
Capítol 8	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	0,71%
Pressupost d'execució material (PEM):					843.241,08 €	100,00%
				Percentatge		
Despeses Generals (DG):				13,00%	109.621,34 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	50.594,46 €	
				Total DG+BI [€]:	160.215,81 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	67.459,29 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					1.070.916,17 €	
IVA:				21,00%	224.892,40 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					1.295.808,57 €	
Cost específic [€/Wp]:					2,01	

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL CAMINAL DE FORMENTERA

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en el Caminal de Formentera generaria anualment de mitja **930,3 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **1.295.808,6 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 46. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.295.808,57 €	0,00 €	20,36	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-625.049,74 €	1,11
25 %	971.856,43 €	323.952,14 €	15,27	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-301.097,60 €	3,67
50 %	647.904,29 €	647.904,29 €	10,18	22,57	22.854,55 €	8,01
60 %	518.323,43 €	777.485,14 €	8,14	13,86	152.435,40 €	10,91
70 %	388.742,57 €	907.066,00 €	6,11	8,76	282.016,26 €	15,41
75 %	323.952,14 €	971.856,43 €	5,09	6,81	346.806,69 €	18,85
80 %	259.161,71 €	1.036.646,86 €	4,07	5,13	411.597,12 €	23,89

Taula 47. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Formentera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.295.808,57 €	0,00 €	12,80	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-228.777,12 €	5,44
25 %	971.856,43 €	323.952,14 €	9,60	19,42	95.175,02 €	8,73
50 %	647.904,29 €	647.904,29 €	6,40	9,37	419.127,16 €	14,61
60 %	518.323,43 €	777.485,14 €	5,12	6,86	548.708,02 €	18,74
70 %	388.742,57 €	907.066,00 €	3,84	4,77	678.288,88 €	25,40
75 %	323.952,14 €	971.856,43 €	3,20	3,84	743.079,31 €	30,66
80 %	259.161,71 €	1.036.646,86 €	2,56	2,97	807.869,73 €	38,50

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta

planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **75 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 75 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,81 anys**, i un **VAN de 346.806,69 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 18,85 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitja de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 48** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 6,81 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 548.708,02 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 18,74 %** superior a la $t_d=7,6 \%$. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

CAMINAL DE CABRERA

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum donant-li un segon us al terreny que ocupa el Caminal de Cabrera. A continuació es detallen aspectes tals com: la ubicació dels terrenys susceptibles a instal·lar-hi una planta fotovoltaica, la classificació de la zona a la qual pertany el terreny en funció de l'ús, una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

UBICACIÓ

El Caminal de Cabrera s'ubica al campus de la Universitat de les Illes Balears, Cra. de Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma (Illes Balears), entre la cruïlla dels Caminals de Mallorca i del Caminal de Menorca. La zona susceptible per instal·lar-hi plaques fotovoltaïques es troba delimitada mitjançant una línia vermella continua en la **Figura 45**, consta de **5.640 m²** i cobreix la totalitat de la calçada, les zones d'estacionament, i les voreres del caminal. Tenint en compte que la zona d'estacionament del caminal presenta una superfície major a 1000 m², d'acord amb l'article 53 de la Llei 10/2019, aquest espai s'ha de cobrir amb marquesines fotovoltaïques. En el present estudi es planteja el desplegament d'una infraestructura singular de caminal solar, construïda en base a la combinació de les estructures metàl·liques de varies unitats de naus agrícoles, i basada en alguns dels projectes més innovadors que es plantegen a la Unió Europea en aquest àmbit (**Figura 46**).



Figura 45. Zona delimitada amb color vermell seria on s'ubicaria la planta fotovoltaica del Caminal Eivissa.



PV-SÜD initiative. Font: LABOR3 for Sonnenkraft/HSB.



A81 Autobahn: Solar roof over the highway. Font: Austrian Institute of Technology

Figura 46. Exemples de carreteres fotovoltaïques actualment en projecció a la UE.

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que al Caminal de Cabrera es podria ubicar un caminal solar de **1.517 kW_p** de potencia de producció en corrent continua (DC) i **1.460 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continua s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus. Concretament, es plantejaria la construcció d'un **centre de transformació** compost per dos transformadors de **1.250 kVA**, **cel·la de línia**, **cel·la de protecció**, **cel·la de seccionament**, **cel·la de mesura**, i un **quadre de baixa tensió**, ubicat aproximadament a mig camí del Caminal de Cabrera (partint des del Caminal de Mallorca).

La proposta de desplegament de plaques fotovoltaïques al caminal de Cabrera es basa en la instal·lació d'una estructura metàl·lica continua prefabricada, del tipus nau agrícola oberta, sobre la coberta de la qual s'instal·larien els panells fotovoltaics i tot el cablejat elèctric de la instal·lació. D'aquesta manera s'aconseguiria una superfície susceptible per instal·lar-hi panells fotovoltaics de **8026,45 m²**, una superfície major a la del conjunt del caminal, donat que l'amplada de la teulada de l'estructura plantejada seria d'uns 17 m, front als 12 m d'amplada de la calçada. En conseqüència, l'ús de l'estructura presentada a la **Figura 47** permetria augmentar la superfície per la instal·lació de panells fotovoltaics, i alhora evitar possibles impactes de vehicles en l'estructura en cas d'accident (al ubicar-se les sabates de l'estructura més enllà dels paretons laterals del caminal).

Un cop analitzada la superfície del caminal, i les característiques de l'estructura de la nau que s'ha decidit emprar al pre-disseny, s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **3.328 panells fotovoltaics** del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **8.026,45 m²**, equivalent a un 15,7 % de la zona 6 – àrea d'esports, que en total consta de **50.990 m²**. Es requeriria de l'ús de 13 estructures metàl·liques del model presentat a la **Figura 47**, però tenint en compte que l'estructura cobriria un caminal ja existent, la instal·lació proposada en el present pre-disseny no implicaria pràcticament ocupar sol urbanitzable no consolidat. Cal mencionar que, la

coberta de les estructures seleccionades presenten una inclinació d'un 8 %, i s'orientarien cap a l'est amb l'objectiu de tenir la generació punta durant les hores del matí, franja horària durant la qual la UIB presenta la màxima demanda elèctrica. A la vegada, cal mencionar que al pre-disseny les cadenes de panells fotovoltaics s'han connectat a dos tipus d'inversors trifàsics. Per una banda, s'han emprat **nou inversors model Sunny Highpower SPH 150 de 150 kW del fabricant alemany SMA**, i per altra banda **un inversor model Ingecon Sun 100 TL de 110 kW del fabricant espanyol Ingeteam**.

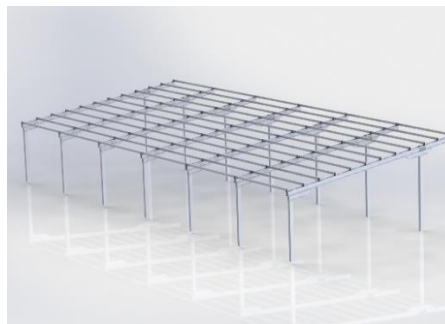
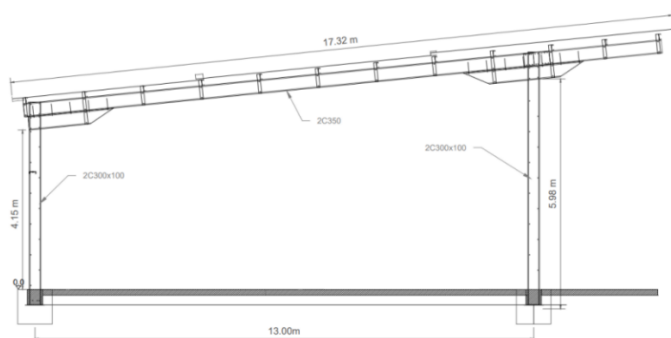


Figura 47. Exemple d'estructures metàl·liques contínues prefabricades destinades a usos agrícoles que podrien servir per el desplegament del Caminal fotovoltaic de Cabrera.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, una vegada descomptades les pèrdues:

Taula 48. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica ubicada al Caminal de Cabrera

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	88,485	87,465
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	114,133	112,885
<i>Març</i>	137,40	50,84	185,761	183,719
<i>Abril</i>	168,00	65,67	226,387	223,889
<i>Maig</i>	205,80	81,80	274,502	271,467
<i>Juny</i>	220,60	82,30	288,518	285,4
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	287,508	284,424
<i>Agost</i>	196,90	68,01	252,584	249,874
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	191,04	189,029
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	140,73	139,237
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	89,851	88,858
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	77,384	76,487
Total anual:	1.684,90	654,89	2.216,882	2.192,733
Inversió neta (Total del pressupost general):				3.014.005,40 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				629,31
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				21,40%

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **2.192,7 MWh/any** que permetria cobrir un **21,4 % de la demanda elèctrica anual** del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **629,3 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **3.014.005,40 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,99 €/Wp** (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada (moviments de terra, ...).

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,99 €/W_p**, hi ha **0,21 €/W_p (10,74 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.



Figura 48: Pre disseny del caminal solar a desplegar al Caminal de Cabrera.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 49**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 49. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Estructura metàl·lica del caminal solar

A l'hora de seleccionar l'estructura del caminal solar s'ha intentat minimitzar l'impacte visual, l'ocupació de territori, i la generació de residus permanents. Amb l'objectiu de complir aquets requisits, s'ha seleccionat un kit d'una estructura prefabricat d'una nau agrícola a una aigua, feta amb perfil d'acer galvanitzat cargolat. Les seues dimensions son de 17 m d'amplada i 36 m de llarg, de manera que cobriria la totalitat de l'amplada del caminal. Per tal de poder cobrir la longitud del tram del Caminal de Cabrera, partint des del Caminal de Mallorca, i acabant a l'altura de la piscina del Campus Esport, es requeriria col·locar 13 estructures de forma contigua. Donat que l'altura mínima de l'estructura es de 4,15 m, per tal de permetre la circulació de vehicles de gran envergadura, els pilars metàl·lics es col·locarien a sobre de pilastres de formigó de 2 m d'altura (agafant com a referència d'altura nul·la la calçada). Per tal d'assegurar l'estabilitat de l'estructura, s'ha considerat que s'hauria de col·locar cada un dels pilastres de formigó sobre sabates de com a mínim 4 m³.

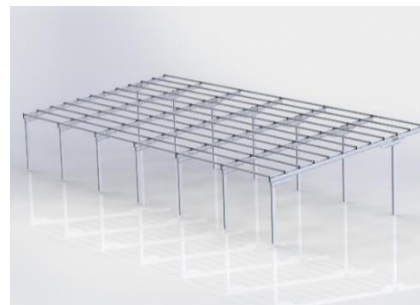
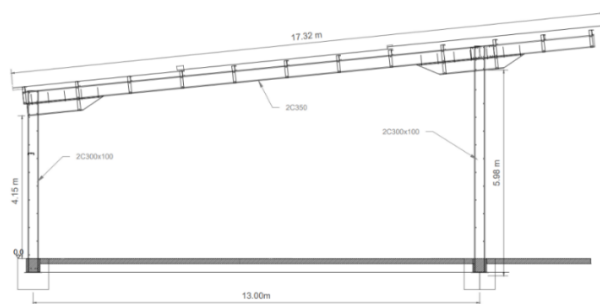


Figura 49. Exemple d'estructures metàl·liques contínues prefabricades destinades a usos agrícoles que podrien servir per el desplegament del caminal fotovoltaic de Cabrera.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el més proper possible dels strings de continu que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat tres models d'inversors trifàsics. Per una banda s'han emprat els inversors **model Sunny Highpower 100-20 PEAK3 de 100 kW**, i l'inversor **model Sunny Tripower STP110**, del fabricant alemany SMA. Per altra banda, s'han emprat inversors **model Ingecon Sun 100TL de 55 kW**, del fabricant espanyol Ingeteam.

Taula 50. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Highpower SHP 150-Peak3

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Highpower SHP 150-Peak3
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	225
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.500
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	150
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	99,1
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	98

Taula 51. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100 TL

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 100 TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	159,5
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.100
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	110
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,5
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	78

A la **Taula 52**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 52. Superfícies i característiques del equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera.

Zona fotovoltaica 1: Marquesines per la zona d'estacionament de l'esquerra del Caminal de Formentera (orientat cap al nord)									
Model de marquesina:		Kit Nave de Terneros	Fabricant:		CARM	Unitats:	13	Superfície unitària [m²]:	617,4
Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]

Panells solars	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	3335	455 W _p	1517 kW _p	2,17	8°	-101/S-E	8026,45
Inversors	Sunny Highpower 100-20 PEAK ₃	SMA	1	100 kW _{ac}	100 kW _{ac}	--	--	--	--
Inversors	Ingecon Sun 100TL	Ingeteam	1	55 kW _{ac}	55 kW _{ac}	--	--	--	--
Evacuació de la generació									
Centre de transformació	---	Centre de transformació de 2500 kVA	1	--	2500 kVA	--	--	--	--
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									8.026,45
Superfície total de la "zona 6 – àrea d'esports" [m²]:									50.990
Percentatge d'ocupació de la "zona 6 – àrea d'esports" [%]:									15,7 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL CAMINAL DE CABRERA

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, al Caminal de Cabrera ascendeix a **3.014.005,40 €**. En la **Taula 53** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per a desplegar la instal·lació proposada.

Taula 53. Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'aparcament del Caminal de Cabrera

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Obra Civil	---	20.782,90 €	20.782,90 €	1,06%	20.782,90 €
	Instal·lació de les plaques fotovoltaïques	Estructura metàl·lica de la coberta solar del caminal, cost del transport de cada estructura desde Huesca fins a Mallorca, moviment de terres, sabates de 4 m³, pilars de formigó armat per augmentar l'altura de l'estructura metàl·lica, material auxiliar, mà d'obra de la instal·lació, etc.	1.050.448,16 €	1.050.448,16 €	53,56%	1.050.448,16 €
Total obres civils i estructures:					1.071.231,06 €	54,62%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat, tubs, terres, material auxiliar, mà d'obra de la instal·lació, rasa per l'entubat, formigonat de la rasa de connexió fins al CT	1	140.850,81 €	140.850,81 €	7,18%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					140.850,81 €	7,18%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					1.212.081,86 €	61,80%
Capítol 3	Inversor	Sunny Highpower SHP150	9	15.414,53 €	138730,77	7,07%

	Inversor	Sunny Highpower SHP100-20-PEAK ₃	1	7.199,00 €	7.199,00 €	0,37%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G ₂	3335	144,63	482.341,05 €	24,59%
	Comptador elèctric		1	2.700,00 €	2.700,00 €	0,14%
	Caixa de connexions	Caixa de connexions ST-36 (36 ramals de 350A)	8	600,00 €	4.800,00 €	0,24%
Capítol 4	Centre de transformació	Centre de transformació de 2500 kVA, amb caseta prefabricada, 2 celdes de línia, 1 celda de proteccions + fusible, 1 celda de seccionament, 1 celda de mesura.	1	69.874,97 €	69.874,97 €	3,56%
Capítol 5	Sistema de Seguretat	Clos perimetral + Sistema de seguretat	1	10.163,90 €	10.163,90 €	0,52%
Capítol 6	Sistema d'il·luminació	Columnes d'il·luminació	1	25.485,60 €	25.485,60 €	1,30%
Capítol 7	Seguretat i salut	Seguretat i salut	1	1.972,10 €	1.972,10 €	0,10%
Capítol 8	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	0,31%
Pressupost d'execució material (PEM):					1.961.349,25 €	100,00%
				Percentatge		
Despeses Generals (DG):				13,00%	254.975,40 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	117.680,96 €	
				Total DG+BI [€]:	372.656,36 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	156.907,94 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					2.490.913,55 €	
IVA:				21,00%	523.091,85 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					3.014.005,40 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,99	

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DEL CAMINAL DE CABRERA

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar al Caminal de Cabrera generaria anualment de mitja **1.057,8 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **3.014.005,4 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 %

superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 54. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	3.014.005,40 €	0,00 €	20,09	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-1.433.039,16 €	1,22
25 %	2.260.504,05 €	753.501,35 €	15,07	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-679.537,81 €	3,80
50 %	1.507.002,70 €	1.507.002,70 €	10,05	21,77	73.963,54 €	8,17
60 %	1.205.602,16 €	1.808.403,24 €	8,04	13,54	375.364,08 €	11,10
70 %	904.201,62 €	2.109.803,78 €	6,03	8,59	676.764,62 €	15,64
75 %	753.501,35 €	2.260.504,05 €	5,02	6,70	827.464,89 €	19,13
80 %	602.801,08 €	2.411.204,32 €	4,02	5,04	978.165,16 €	24,23

Taula 55. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Caminal de Cabrera per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	3.014.005,40 €	0,00 €	12,63	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-499.031,89 €	5,58
25 %	2.260.504,05 €	753.501,35 €	9,47	18,83	254.469,46 €	8,90
50 %	1.507.002,70 €	1.507.002,70 €	6,32	9,19	1.007.970,81 €	14,83
60 %	1.205.602,16 €	1.808.403,24 €	5,05	6,75	1.309.371,35 €	19,01
70 %	904.201,62 €	2.109.803,78 €	3,79	4,70	1.610.771,89 €	25,75
75 %	753.501,35 €	2.260.504,05 €	3,16	3,78	1.761.472,16 €	31,08
80 %	602.801,08 €	2.411.204,32 €	2,53	2,93	1.912.172,43 €	39,02

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **75 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 75 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,7 anys**, i un **VAN de 827.464,89 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 19,13 %** superior a la $t_d=7,6$ %.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitja de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021,

els resultats presentats a la **Taula 47** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancaries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 6,75 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 1.309.371,35 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 19,01 %** superior a la $t_d=7,6$ %. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

ZONES PRIORITÀRIES PER EL DESPLEGAMENT DE LES INSTAL·LACIONS FOTOVOLTAIQUES EN ELS EDIFICIS DEL CAMPUS

Un cop analitzat el conjunt de les cobertes dels edificis del campus de la UIB s'han identificat les zones potencialment prioritàries, tècnica i econòmicament viables on es podrien desplegar un conjunt d'instal·lacions fotovoltaïques en règim d'autoconsum. El present document té l'objectiu de presentar un pre-disseny dels potencials parcs fotovoltaïcs, que d'acord amb les premisses aportades des de la Unitat Tècnica de la UIB, es podria instal·lar a les cobertes dels següents edificis/zones¹:

- Gaspar Melchor de Jovellanos
- Guillem Cifre de Colonya
- Anselm Turmeda
- Beatriu de Pinós
- Antoni Maria Alcover i Sureda
- Coberta del Campus Esport

METODOLOGIA SEGUIDA

La metodologia resseguida per tal de dimensionar els potencials parcs fotovoltaïcs a instal·lar a les cobertes dels edificis, consta de 4 fases:

1. Al llarg de la primera fase s'ha analitzat les diferents zones de la coberta de cada edifici, i s'ha seleccionat les cobertes prioritàries.

Els criteris acordats per identificar les cobertes prioritàries des del punt de vista tècnic (simplicitat en la instal·lació i el manteniment) i econòmic (minimització dels costos d'instal·lació i manteniment), són els següents:

- La coberta ha de trobar-se orientada en direcció sud, sud-est o sud-oest.
- La superfície mínima de la coberta lliure d'obstacles ha de ser d'almenys 100 m².

Una vegada identificades les cobertes prioritàries, aquestes s'han classificades en funció de les seves característiques constructives, tal i com es detalla en la Taula 56.

Taula 56. Classificació de les cobertes en funció de les característiques constructives.

Tipus de coberta	Presència d'ombres	Categoria de coberta	Descripció
Plana	No	A	<ul style="list-style-type: none"> • Coberta d'alta prioritat. • Es tracta d'una zona de coberta plana sense cap obstacle que al llarg de l'any pugui generar ombres sobre els panells fotovoltaïcs.
Plana	Si	B	<ul style="list-style-type: none"> • Coberta de mitjana prioritat. • Es tracta d'una zona de coberta plana amb obstacles que al llarg de l'any generaran ombres sobre els panells fotovoltaïcs.
Inclinada	Si/No	C	<ul style="list-style-type: none"> • Coberta de baixa prioritat. • Es tracta d'una zona de coberta inclinada, fet que inicialment dificultarà la instal·lació dels panells sobre la seva superfície. Per tant, aquestes zones de cobertes estan destinades a servir de complement de les instal·lacions en coberta plana, a fi d'augmentar la generació renovable en els diferents estudis.

¹ Cal remarcar, que no és objecte del present estudi la identificació de les zones prioritàries del edificis Ramon Llull i Mateu Orfila i Rotger, donat que aquestes han sigut analitzades prèviament per un altre estudi encarregat des de la Unitat Tècnica de la UIB.

2. Al llarg de la segona fase s'ha dut a terme un desplegament de les plaques fotovoltaïques sobre les cobertes prioritàries emprant el programari AUTOCAD.

S'han tingut en compte els següents criteris:

- S'ha emprat el model de placa fotovoltaica LR4-72HPH-455M del fabricant Longi Solar, que presenta unes dimensions de 2,094x1,038 m, una potència unitària de 455 Wp, i una eficiència del 20,9 %.
- S'han considerat estructures de suport inclinades d'una única fila de mòduls, excepte a dues zones de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos, on a dos trams de coberta s'han utilitzat estructures amb dues files de mòduls.
- S'ha deixat com a mínim una distància de 0,7 m entre la vorera de la coberta i les fileres de plaques fotovoltaïques per tal de poder dur a terme tasques de manteniment.
- A les cobertes planes s'ha instal·lat les plaques considerant una inclinació de 30 ° i una distància mínima entre fileres de 0,7 m.
- A les cobertes inclinades s'han utilitzat suports coplanars continus per instal·lar les plaques.
- Tenint en compte que el Campus de la UIB es troba a l'hemisferi nord, i que les cobertes estan orientades cap al sud-est, s'ha decidit orientar els panells fotovoltaïcs de forma solidària a l'orientació de la coberta per tal d'optimitzar l'aprofitament de l'espai.

3. Al llarg de la tercera fase s'ha dut a terme la simulació de les plantes fotovoltaïques projectades mitjançant el PVSYST, fixant el nombre de plaques fotovoltaïques, els inversors a utilitzar, i duent a terme un estudi d'ombres.

4. Al llarg de la quarta fase s'ha dut a terme un anàlisi de la inversió necessària per tal de construir el parc fotovoltaic, i un estudi del període d'amortització.

Seguidament, es presenten les potencials instal·lacions fotovoltaïques d'autoconsum que es podrien desplegar en cada edifici, el cost de la seva inversió, i un estudi de la seva amortització en funció de diferents escenaris de preu mig de l'electricitat.

EDIFICI GASPAS MELCHOR DE JOVELLANOS

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum a la coberta de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos. A continuació es detallen aspectes tals com: una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

COBERTA DE L'EDIFICI GASPAS MELCHOR DE JOVELLANOS

Analitzant la coberta de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos s'ha pogut veure que consta de 6 zones susceptibles a instal·lar-hi plaques fotovoltaïques, que es corresponen a tres tipus de coberta: una zona de coberta plana transitable (color vermell), una zona de coberta de xapa lleugerament inclinada (color verd), i una zona de coberta inclinada de xapa (blau). A la **Figura 50** es pot visualitzar la classificació en colors de les diferents zones, i a la **Taula 57** les principals característiques de cada una de les zones identificades:

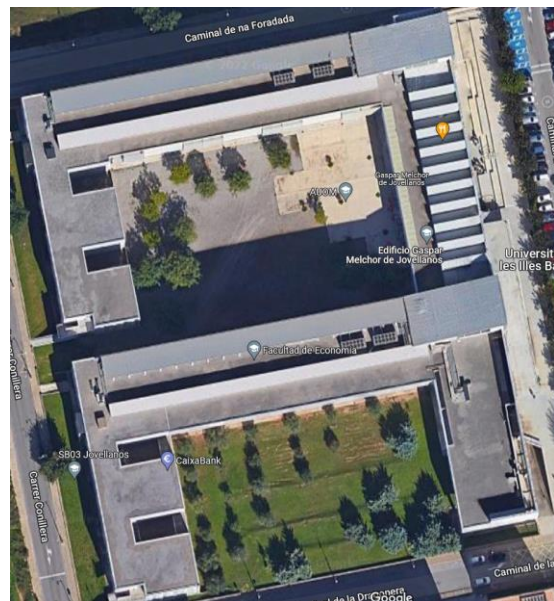
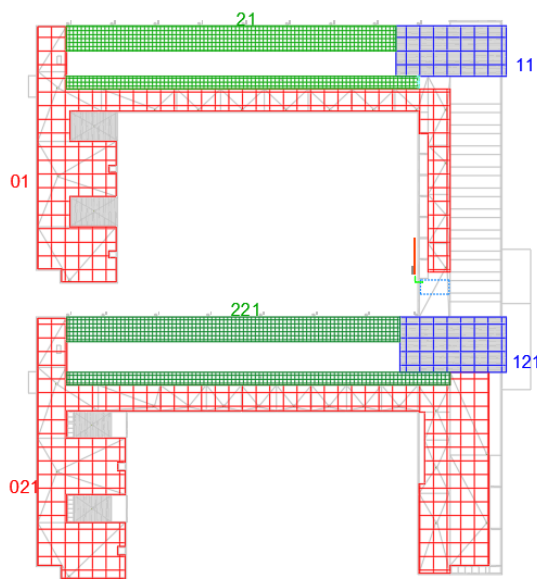


Figura 50. Zones de la coberta identificades a l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos.

Taula 57. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos.

Zona de la Coberta	Categoria de coberta	Superfície de la coberta [m²]	Superfície PV útil de la coberta [m²]	Angle azimut / orientació	Inclinació de la coberta	Inclinació dels panells fotovoltaics
21	A	681,18	340	12° / S-E	0°	30°
221	A	708,88	354	12° / S-E	0°	30°
01	B	1.340,8	704	12° / S-E	0°	30°
021	B	1.926,6	1.128	12° / S-E	0°	30°
11	C	301,36	301	102° / N-E	17,31°	0°
121	C	317,79	317	102° / N-E	17,31°	0°

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que en la coberta de l'edifici Melchor Gaspar de Jovellanos es podria ubicar un parc fotovoltaic de **585 kW_p** de potencia de producció en corrent continua (DC) i **572 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continua s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus. Concretament, es plantejaria evacuar l'energia que generaria la potencial instal·lació a través del CT ja existent de l'edifici.

Un cop analitzada la coberta s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **1.286 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **2.795 m²**, equivalent a un **52,9 %** de la superfície de coberta òptima de l'edifici, estimada en **5.276,6 m²**. A la vegada les cadenes de strings dels panells fotovoltaics anirien connectats a **2 inversors de 136 kWac model Ingecon Sun 160TL**, a **2 inversors de 100 kWac model Ingecon Sun 100TL** del fabricant espanyol Ingeteam, i a **dos inversors de 50 kW model Sunny Tripower STP50** del fabricant alemany SMA. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics sobre la coberta, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 51**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, una vegada descomptades les pèrdues:

Taula 58. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Melchor Gaspar de Jovellanos.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m ²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m ²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	49,5	48,8
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	57,1	56,4
<i>Març</i>	137,40	50,84	83,8	82,7
<i>Abril</i>	168,00	65,67	89,6	88,5
<i>Maig</i>	205,80	81,80	100,8	99,5
<i>Juny</i>	220,60	82,30	102,6	101,3
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	103,3	101,9
<i>Agost</i>	196,90	68,01	98,8	97,5
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	81,2	80,1
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	66,9	66
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	47,3	46,6
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	43,7	43,1
Total anual:	1.684,90	654,89	924,7	912,4
Inversió neta (Total del pressupost general) [€]:				690.214,76 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				261,86
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				8,91%

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **912,4 MWh/any**, que permetria cobrir un **8,9 %** de la demanda elèctrica anual del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **261,7 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **690.214,76 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,18 €/W_p**, (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,18 €/W_p**, hi ha **0,1 €/W_p (8,29 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.

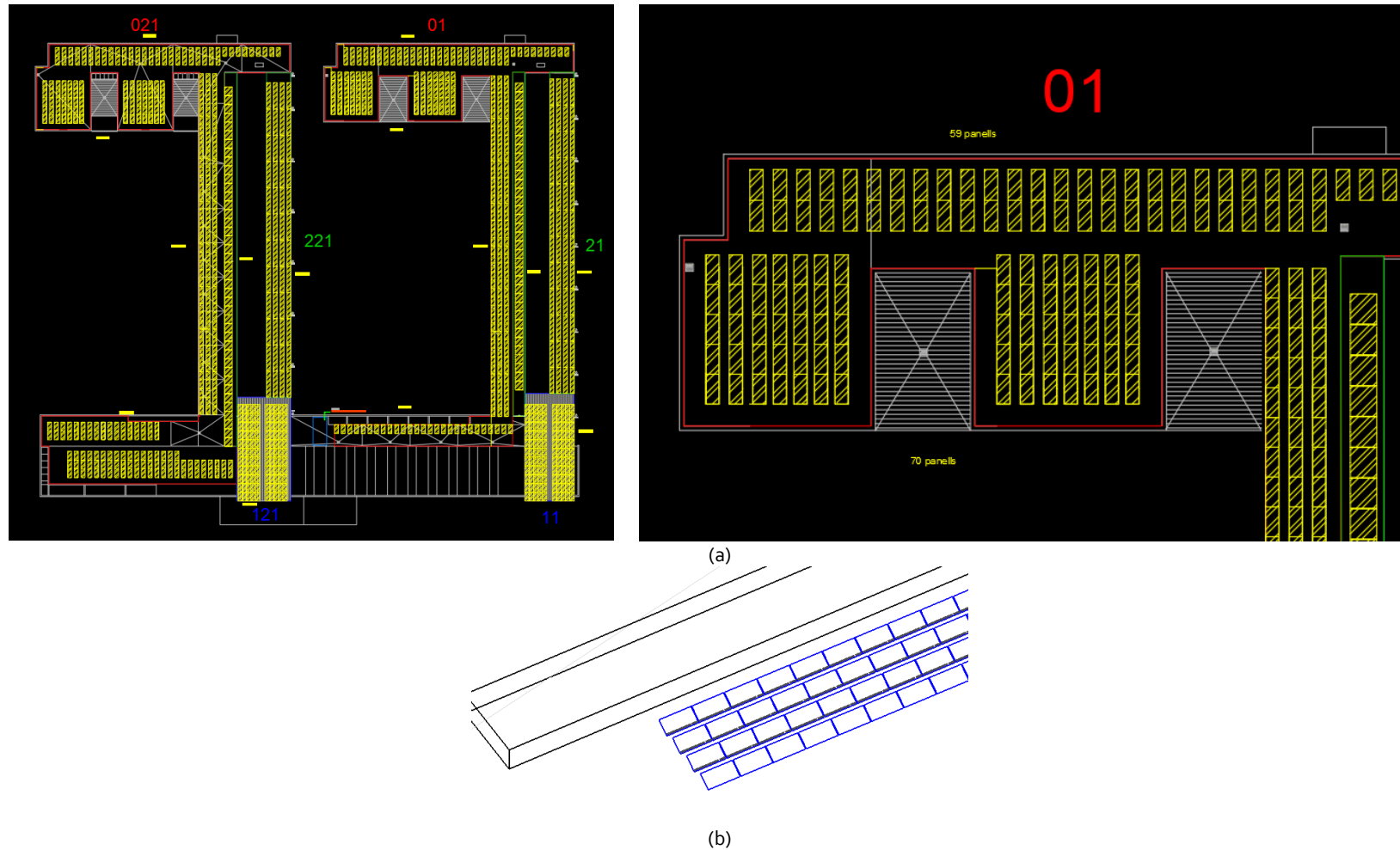


Figura 51 : Pre-disseny de la planta fotovoltaica a la coberta del Melchor Gaspar de Jovellanos. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica a la coberta del Melchor Gaspar de Jovellanos.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les característiques tècniques dels equips més rellevants seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 3**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 59. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Estructures de suport

Si s'analitza la coberta del Gaspar Melchor de Jovellanos es pot veure que aquesta es compon per tres tipus de coberta, de manera que per instal·lar les plaques fotovoltaïques de forma eficient es requeriria de tres tipus d'estructures de suport.

- *Coberta plana transitable:* a les cobertes planes transitables s'ha decidit utilitzar unes estructures de suport de formigó prefabricat denominades SOLARBLOC. La geometria i la massa d'aquets elements permeten fixar els panells fotovoltaics directament a sobre seu, sense requerir d'una estructura metàl·lica o haver d'ancorar l'estructura de suport a la coberta.



Figura 52: SOLARBLOC.

- *Coberta plana de xapa:* a les cobertes planes de xapa s'ha decidit utilitzar un suport inclinat obert del model SUNFER 09H3 o un suport inclinat obert de 2 files de mòduls del model SUNFER 25H.



SUNFER 25H



SUNFER 09H3

Figura 53: Estructures de suport emprades a la coberta plana de xapa.

- *Coberta inclinada de xapa:* a les cobertes inclinades de xapa s'ha utilitzat un suport coplanar continu amb fixació, dels models SUNFER 04V5, SUNFER 04V2, i SUNFER 04V1.

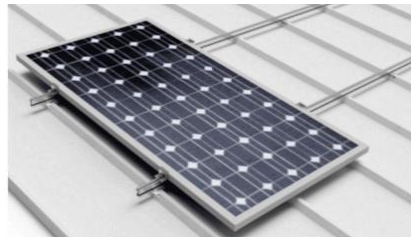


Figura 54: SUNFER 04V5

A l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*) s'indica que la distància de separació entre files de mòduls de panells ha de ser tal que es garanteixi almanco quatre hores de sol al voltant del mig dia del solstici d'hivern. Si es calcula aquesta distància tenint en compte que la latitud de la posició de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos es de 39.38° N, que la longitud del panell fotovoltaic es de 1,038 m (horitzontal), i que l'angle del panell sobre l'horitzontal es de 30° , s'obté que la separació entre files ha de ser de 0,997 m. Si es considera la longitud vertical (2,094 m) la separació mínima ha de ser de 2,1 m. Tenint en compte que l'espai disponible a les cobertes es limitat, en aquest estudi s'ha decidit reduir lleugerament aquesta distància per tal de poder instal·lar un major nombre de panells, de manera que la **separació entre files ha estat fixada en 0,7 m**. En conseqüència, les diferents estructures es faran ombra entre elles, el que implicarà unes **pèrdues anuals d'energia**, que d'acord a la simulació duta a terme amb el PVsyst es **del 2,6 %**. Ara bé, les pèrdues son compensades amb l'augment de la generació al col·locar més estructures per unitat d'àrea. En quan a la coberta inclinada cal mencionar que la separació entre files no s'ha de tenir en compte donat que les plaques s'instal·laran emprant estructures coplanars. Tot i així s'ha deixat espai suficient per poder dur a terme tasques de manteniment.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el mes proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat els models Ingecon Sun 100TL de 100 kWac, i Ingecon Sun 160TL de 136 kWac del fabricant espanyol Ingeteam, i el model Sunny Tripower STP50 de 50 kWac del fabricant SMA. Els inversors presenten les següents característiques tècniques:

Taula 60. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon SUN 100TL.

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 100TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	91,8
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.100
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	100
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,5
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	75

Taula 61. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon SUN 160TL.

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	INGECON SUN 160TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	136
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.250
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	87
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,7
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	98

Taula 62. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Tripower STP50.

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Tripower STP50
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	75
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1.000
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	50
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,7
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	84

A la **Taula 63**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 63. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Jovellanos.

Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Estructura de suport per a coberta plana de xapa	SUNFER 25H	SUNFER	155	-	-	3,8	30	12	-
Estructura de suport per a coberta	SUNFER 09H3	SUNFER	96	-	-	5,7	30	12	-

plana de xapa									
Estructura de suport per a coberta inclinada de xapa	SUNFER 04V5	SUNFER	44	-	-	10,9	13	102	-
Suports prefabricats de formigó	Solarblock	Pretensats DURAN	624	-	-	-	-	-	-
Panells fotovoltaics	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	1.286	455 W _p	585 kW _p	2,17	13/30°	102/12° / S	2.795
Inversors	Ingecon Sun 160TL 630V Ingecon Sun 100TL 400V Sunny Tripower STP50	Ingeteam Ingeteam SMA	2 2 2	136 kW _{ac} 100 kW _{ac} 50 kW _{ac}	575 kW _{ac}	--	--		--
Quadre de baixa tensió (BT)	---	Ormazabal	---	---	---	---	---	---	---
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									2.795
Superfície total òptima de la coberta [m²]:									5.276
Percentatge d'ocupació:									52,9 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE L'EDIFICI GASPAR MELCHOR DE JOVELLANOS

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, en la coberta del Gaspar Melchor de Jovellanos ascendeix a **690.214,76 €**. En la **Taula 64** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per implementar la instal·lació proposada en el present estudi:

Taula 64: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Gaspar Melchor de Jovellanos.

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Instal·lació a coberta plana transitable	Solar block, palanges de suport del cablejat, accessoris, material elèctric, caixa de strings, i mà d'obra de la instal·lació.	1	64.423,87	64.423,87	14,34%
	Instal·lació a coberta plana de xapa	Estructura de suport inclinada, elements de fixació a xapa, elements d'unió dels perfils, palanges de suport del cablejat, material elèctric, caixes de strings, mà d'obra de la instal·lació.	1	81.323,48	81.323,48	18,11%
	Instal·lació a coberta inclinada de xapa	Suport coplanar, elements de fixació coplanars, unió dels perfils d'alumini,	1	25.863,68	25.863,68	5,76%

		palanganes de suport del cablejat, material elèctric, caixa de strings, mà d'obra de la instal·lació.				
Total obres civils i estructures:					171.611,03 €	38,21%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat de connexió amb el centre de transformació + quadres de proteccions elèctriques, mà d'obra de la instal·lació, etc.	1	35.668,19 €	35.668,19 €	7,94%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					35.668,19 €	7,94%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					207.279,22 €	46,15%
Capítol 3	Inversor	Ingecon Sun 160 TL 630 V	2	8.596,60 €	17.193,20 €	3,83%
	Inversor	Sunny Tripower STP50	2	6.073,11 €	12.146,22 €	2,70%
	Inversor	Ingecon Sun 100 TL 400 V	2	6187,5	12.375,00 €	2,76%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	1286	144,63	185994,18	41,41%
	Comptador elèctric		1	2.700,00 €	2.700,00 €	0,60%
Capítol 4	Centre de transformació	Un quadre de baixa tensió + línia	1	1546,56	1546,56	0,34%
Capítol 5	Seguretat i Salut	Seguretat i Salut	1	3.919,50 €	3.919,50 €	0,87%
Capítol 6	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	1,34%
Pressupost d'execució material (PEM):					449.153,88 €	100,00%
Despeses Generals (DG):				13,00%	58.390,00 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	26.949,23 €	
				Total DG+BI [€]:	85.339,24 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	35.932,31 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					570.425,42 €	
IVA:				21,00%	119.789,34 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					690.214,76 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,18	

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LA COBERTA DE L'EDIFICI GASPAR MELCHOR DE JOVELLANOS

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en la coberta de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos generaria anualment de mitja **912,4 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **690.214,8 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop

es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 65. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

<i>Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]</i>	<i>Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]</i>	<i>Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]</i>	<i>(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]</i>	<i>(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]</i>	<i>(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]</i>	<i>(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]</i>
0 %	690.214,76 €	0,00 €	11,06	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-32.650,47 €	7,04
25 %	517.661,07 €	172.553,69 €	8,30	14,34	139.903,22 €	10,65
50 %	345.107,38 €	345.107,38 €	5,53	7,62	312.456,91 €	17,22
60 %	276.085,90 €	414.128,86 €	4,43	5,69	381.478,38 €	21,90
70 %	207.064,43 €	483.150,33 €	3,32	4,00	450.499,86 €	29,53
75 %	172.553,69 €	517.661,07 €	2,77	3,25	485.010,60 €	35,58
80 %	138.042,95 €	552.171,81 €	2,21	2,53	519.521,33 €	44,63

Taula 66. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Gaspar Melchor de Jovellanos per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

<i>Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]</i>	<i>Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]</i>	<i>Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]</i>	<i>(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]</i>	<i>(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]</i>	<i>(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]</i>	<i>(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]</i>
0 %	690.214,76 €	0,00 €	6,95	10,64	355.827,03 €	13,26
25 %	517.661,07 €	172.553,69 €	5,22	7,03	528.380,72 €	18,36
50 %	345.107,38 €	345.107,38 €	3,48	4,24	700.934,41 €	28,15
60 %	276.085,90 €	414.128,86 €	2,78	3,27	769.955,89 €	35,37
70 %	207.064,43 €	483.150,33 €	2,09	2,38	838.977,37 €	47,37
75 %	172.553,69 €	517.661,07 €	1,74	1,94	873.488,10 €	56,96
80 %	138.042,95 €	552.171,81 €	1,39	1,54	907.998,84 €	71,34

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 25 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **60 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 60 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 5,69 anys**, i un **VAN de 381.478,38 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 21,9 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitja de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 66** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament sense cofinançament públic. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **50 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 50 %** el que permetria aconseguir un **període de**

amortització descomptada de 4,24 anys, menor a 7 anys, i un **VAN 700.934,41 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 28,15 %** superior a la $t_d=7,6 \%$. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

EDIFICI GUÍLLEM CIFRE DE COLONYA

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum a la coberta de l'edifici Guillem Cifre de Colonya. A continuació es detallen aspectes tals com: una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

COBERTA DE L'EDIFICI GUÍLLEM CIFRE DE COLONYA

Analitzant la coberta de l'edifici Guillem Cifre de Colonya es pot veure que aquesta es compon per tres tipus de cobertes prioritàries: una zona de coberta plana sense obstacles (color vermell), una zona de coberta plana amb obstacles (color taronja), i una zona de coberta de teules (color verd). A la **Figura 55** es presenta la classificació en colors de les cobertes considerades, i a la **Taula 67** es presenten les principals característiques de cada zona.

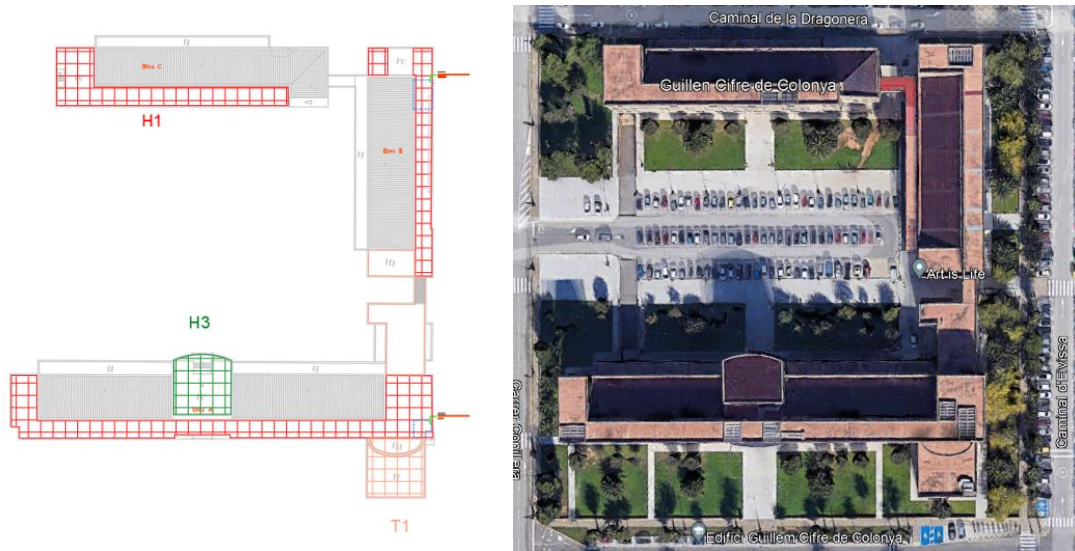


Figura 55. Zones de la coberta identificades a l'edifici Guillem Cifre de Colonya.

Taula 67. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Guillem Cifre de Colonya

Zona de la Coberta	Categoria de coberta	Superfície de la coberta [m²]	Superfície PV útil de la coberta [m²]	Angle azimut / orientació	Inclinació de la coberta	Inclinació dels panells fotovoltaics
H1	A	1350,9	453,2	12° / S-E	0°	30°
T1	B	193,9	67,8	12° / S-E	0°	30°
H3	C	219,7	139,1	12° / S-E	11°	11°

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que en la coberta de l'edifici Guillem Cifre de Colonya es podria ubicar un parc fotovoltaic de fins a **144 kW_p**, de potencia de producció en corrent continua (DC) i **154 kW_{ac}** de potència de generació en corrent alterna (AC), elements convertidors de DC/AC. de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continua s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels

diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus.

Un cop analitzada la coberta s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **316 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **650,3 m²**, equivalent a un **36,9 %** de la superfície de coberta òptima de l'edifici, estimada en **1.764,5 m²**. A la vegada les cadenes de strings dels panells fotovoltaics anirien connectats a **cinc inversors de 7 kW** del model Sunny Boy 7000 TL, a un inversor de **20 kW** del model Sunny Tripower 20000TL-30 del fabricant SMA, i a **3 inversors de 33 kW** del model Ingecon Sun 33TL, del fabricant espanyol Ingeteam. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics sobre la coberta, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 56**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, un cop descomptades les pèrdues pertinents:

Taula 68. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Guillem Cifre de Colonya.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	12,65	12,33
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	14,6	14,25
<i>Març</i>	137,40	50,84	21,44	20,94
<i>Abril</i>	168,00	65,67	22,78	22,25
<i>Maig</i>	205,80	81,80	25,48	24,88
<i>Juny</i>	220,60	82,30	25,83	25,25
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	26,05	25,46
<i>Agost</i>	196,90	68,01	25,08	24,51
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	20,73	20,26
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	17,12	16,71
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	12,05	11,75
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	11,11	10,83
Total anual:	1.684,90	654,89	234,92	229,42
Inversió neta (Total del pressupost general) [€]:				175.483,97 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				65,84
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				2,24%

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **229,4 MWh/any**, que permetria cobrir un **2,24 %** de la demanda elèctrica anual del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que segons l'estudi dut a terme per el "**Servei de Patrimoni, Contractació, Infraestructura i Unitat Tècnica**" de la UIB aquesta instal·lació portaria associada una inversió d'uns **175.483,97 €**, donant lloc a un cost específic de **0,82€/W_p**, i permetent reduir en **65,84 tones** les emissions de CO₂ /any de la UIB.

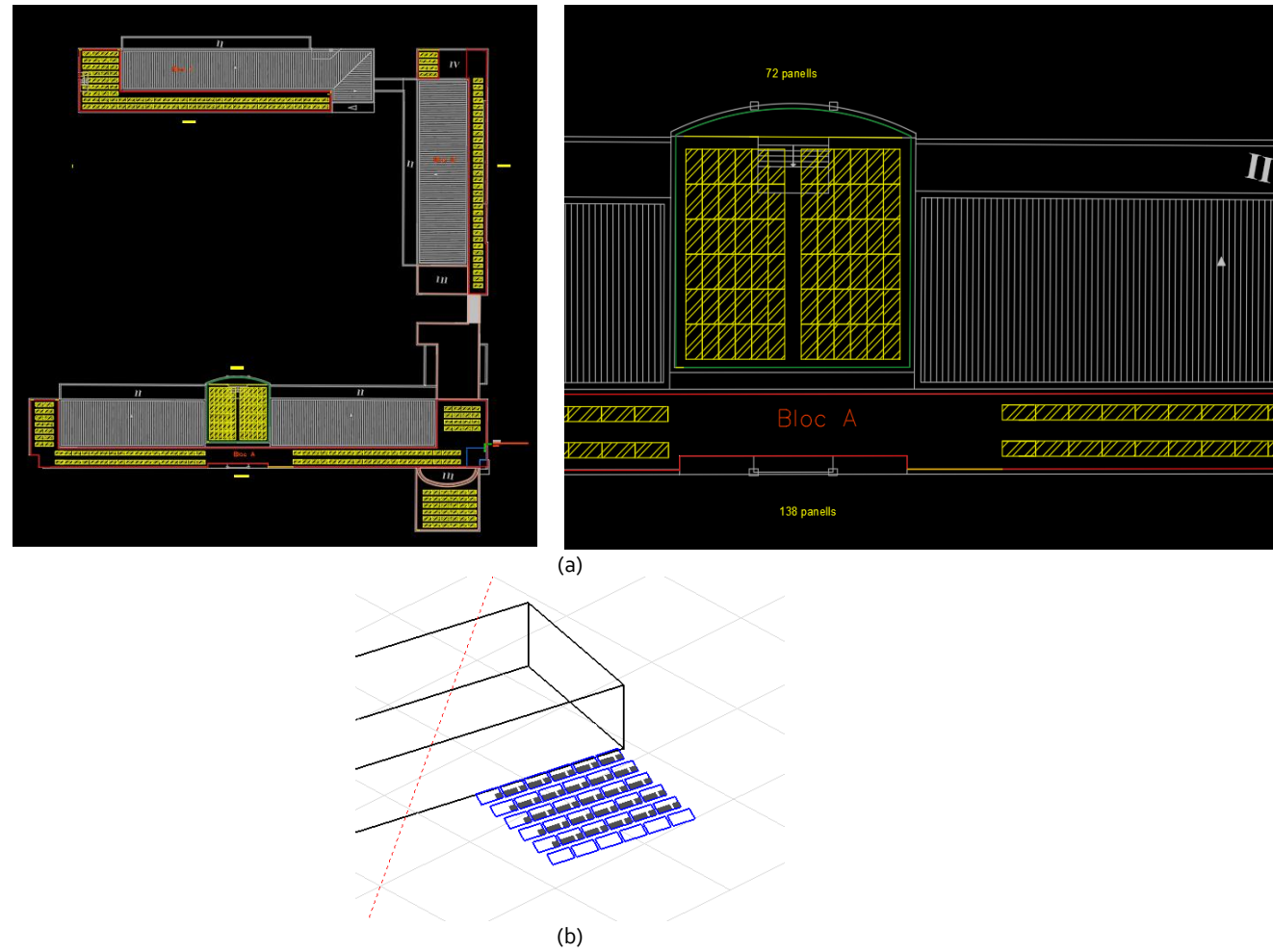


Figura 56. Pre-disseny de la planta fotovoltaica a la coberta del Guillem Cifre de Colònia. (b) Estudi d'ombres generat amb el programari PVsyst de la planta fotovoltaica a la coberta del Guillem Cifre de Colònia.

EDIFICI ANSELM TURMEDA

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum a la coberta de l'edifici Anselm Turmeda. A continuació es detallen aspectes tals com: una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

COBERTA DE L'ANSELM TURMEDA

Analitzant la coberta de l'edifici Anselm Turmeda es pot veure que les cobertes prioritàries per a la instal·lació de plaques fotovoltaïques es componen per una zona de coberta plana transitable (color vermell) i una zona de coberta de teules (color cel). A la **Figura 57** es presenta la classificació de les cobertes, i a la **Taula 69** les seues principals característiques.

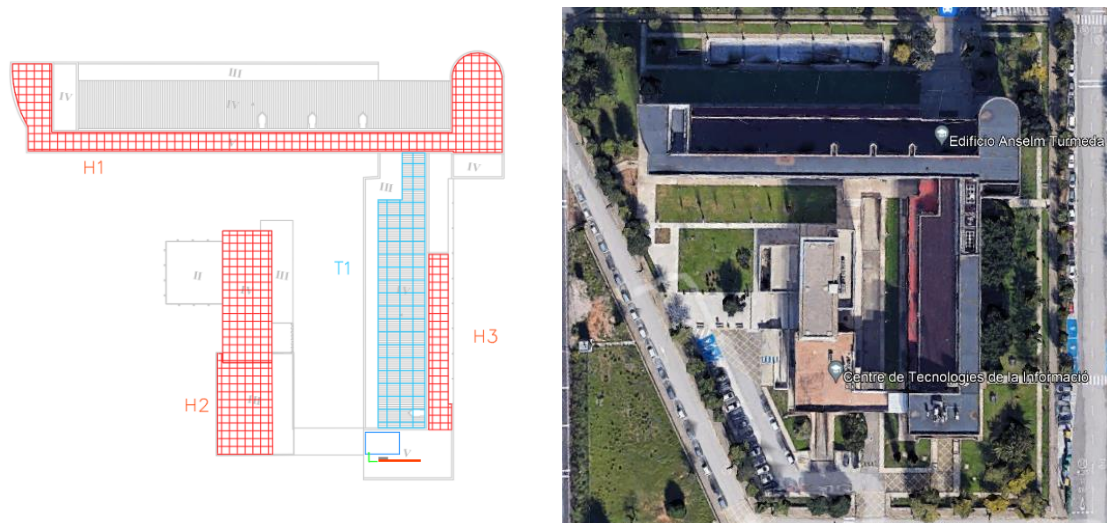


Figura 57. Zones de la coberta identificades a l'edifici Anselm Turmeda.

Taula 69. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Anselm Turmeda.

Zona de la Coberta	Categoria de coberta	Superfície de la coberta [m²]	Superfície PV útil de la coberta [m²]	Angle azimuth / orientació	Inclinació de la coberta	Inclinació dels panells fotovoltaics
H1	A	588,2	453,2	12° / S-E	0°	30°
H2	B	296	165	12° / S-E	0°	30°
H3	A	137,7	33,9	12° / S-E	0°	30°
T1	C	464,6	247,8	12° / S-E	16°	16°

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que en la coberta de l'edifici Anselm Turmeda es podria ubicar un parc fotovoltaic de **160 kW_p** de potencia de producció en corrent continu (DC) i **153 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continu s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació

(BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus.

Un cop analitzada la coberta s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **352 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **2.795 m²**, equivalent a un **50,6 %** de la superfície de coberta òptima de l'edifici, estimada en **698,6 m²**. A la vegada les cadenes de strings dels panells fotovoltaics aniran connectats a **cinc inversors de 10 kW model Sunny Boy 10000TL**, i a **sis inversors de 8 kW del model Sunny Boy 8000TL**, del fabricant SMA, i a un **inversor de 55 kWac del model Ingecon Sun 100TL** del fabricant espanyol Ingeteam. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics sobre la coberta, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 60**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB, una vegada descomptades les pèrdues:

Taula 70. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Anselm Turmeda.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	13,29	12,96
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	15,47	15,13
<i>Març</i>	137,40	50,84	22,72	22,22
<i>Abril</i>	168,00	65,67	24,49	23,97
<i>Maig</i>	205,80	81,80	27,83	27,24
<i>Juny</i>	220,60	82,30	28,42	27,84
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	28,55	27,96
<i>Agost</i>	196,90	68,01	27,23	26,66
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	22,14	21,68
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	18,15	17,74
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	12,77	12,46
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	11,69	11,39
Total anual:	1.684,90	654,89	252,76	247,23
Inversió neta (Total del pressupost general) [€]:				287.438,62 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				70,96
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				2,41%

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **247,23 MWh/any**, que permetria cobrir un **2,41 % de la demanda elèctrica** anual del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una **reducció de 70,9 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **287.438,62 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,80 €/Wp**, (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada.

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,80 €/W_p**, hi ha **0,24 €/W_p** (**13,52 %**) que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les principals característiques tècniques dels equips seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..* Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 71. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Estructures de suport

La coberta de l'edifici Anselm Turmeda es troba composta per cobertes planes transitables i cobertes de teules, de manera que la instal·lació de panells fotovoltaics requeriria de l'ús de dues estructures de suport diferents:

- *Coberta plana transitable:* al pre-disseny a les cobertes planes transitables s'ha decidit utilitzar unes estructures de suport de formigó prefabricat denominades SOLARBLOC. La geometria i la massa d'aquests elements permeten fixar els panells fotovoltaics directament a sobre seu, sense requerir d'una estructura metàl·lica o haver d'ancorar l'estructura de suport a la coberta.



Figura 58: SOLARBLOC

- **Coberta de teules:** a la coberta de teules s'ha emprat una estructura de suport coplanar cargolada del model SUNFER 01V5.



Figura 59: SUNFER 01V5

A l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*) s'indica que la distància de separació entre files de mòduls de panells ha de ser tal que garanteixi almanco quatre hores de sol al voltant del mig dia del solstici d'hivern. Si es calcula aquesta distància tenint en compte que la latitud de la posició de l'Anselm Turmeda es de 39.38° N, que la longitud del panell fotovoltaic es de 1,038 m, i que l'angle del panell sobre l'horitzontal es de 30° , s'obté que la separació entre files ha de ser de 0,997 m. Tenint en compte que l'espai disponible a les cobertes es limitat, en aquest estudi s'ha decidit reduir lleugerament aquesta distància per tal de poder instal·lar un major nombre de panells, de manera que la **separació entre files ha estat fixada en 0,7 m**. En conseqüència, les diferents estructures es faran ombra entre elles, el que implicarà **unes pèrdues anuals d'energia**, que d'acord a la simulació duta a terme amb el PVsyst es del **4,36 %**. Ara bé, les pèrdues son compensades amb l'augment de la generació al col·locar més estructures per unitat d'àrea. En quan a la coberta de teules la separació entre files no s'ha de tenir en compte donat que es tracta d'una instal·lació coplanar.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el mes proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat tres models d'inversors trifàsics amb diferents potències de sortida en AC. Concretament, s'han seleccionat el **model Ingecon Sun 100TL** de 55 kW del fabricant espanyol Ingeteam, i els **models Sunny Boy 8000TL i Sunny Boy 10000TL** del fabricant alemany SMA. Els inversors presenten les següents característiques tècniques:

Taula 72. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL.

Fabricant:	Ingeteam
Referencia:	Ingecon SUN 100TL.
Potència màxima en entrada en CC [kW_p]:	80,2
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1000
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	55,3
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,5
Grau de protecció:	IP65

Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	75

Taula 73. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 10000TL.

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Boy 10000TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	10,35
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	700
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	10
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	35

Taula 74. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 8000TL

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Boy 8000TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	8,25
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	700
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	7
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	32

A la **Taula 75**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 75. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica de l'Anselm Turmeda.

Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície ocupada [m²]
Estructura de suport per a coberta inclinada de teules	SUNFER 01V5	SUNFER	24	-	-	13	16	12	-
Suports prefabricats de formigó	Solarbloc	Pretensados DURAN	246	-	-	-	-	-	-
Panells fotovoltaics	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	352	455 W _p	160 kW _p	2,17	16/30°	12° / 78° S	650,3
Inversors	Ingecon Sun 100TL Sunny Boy 10000 TL Sunny Boy 8000 TL	Ingeteam SMA	1 5 6	55 kW _{ac} 10 kW _{ac} 8 kW _{ac}	153 kW _{ac}	--	--	--	--
Quadre de baixa tensió (BT)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									698,6
Superfície total òptima de la coberta [m²]:									1.380,4

Percentatge d'ocupació:	50,6 %
-------------------------	--------

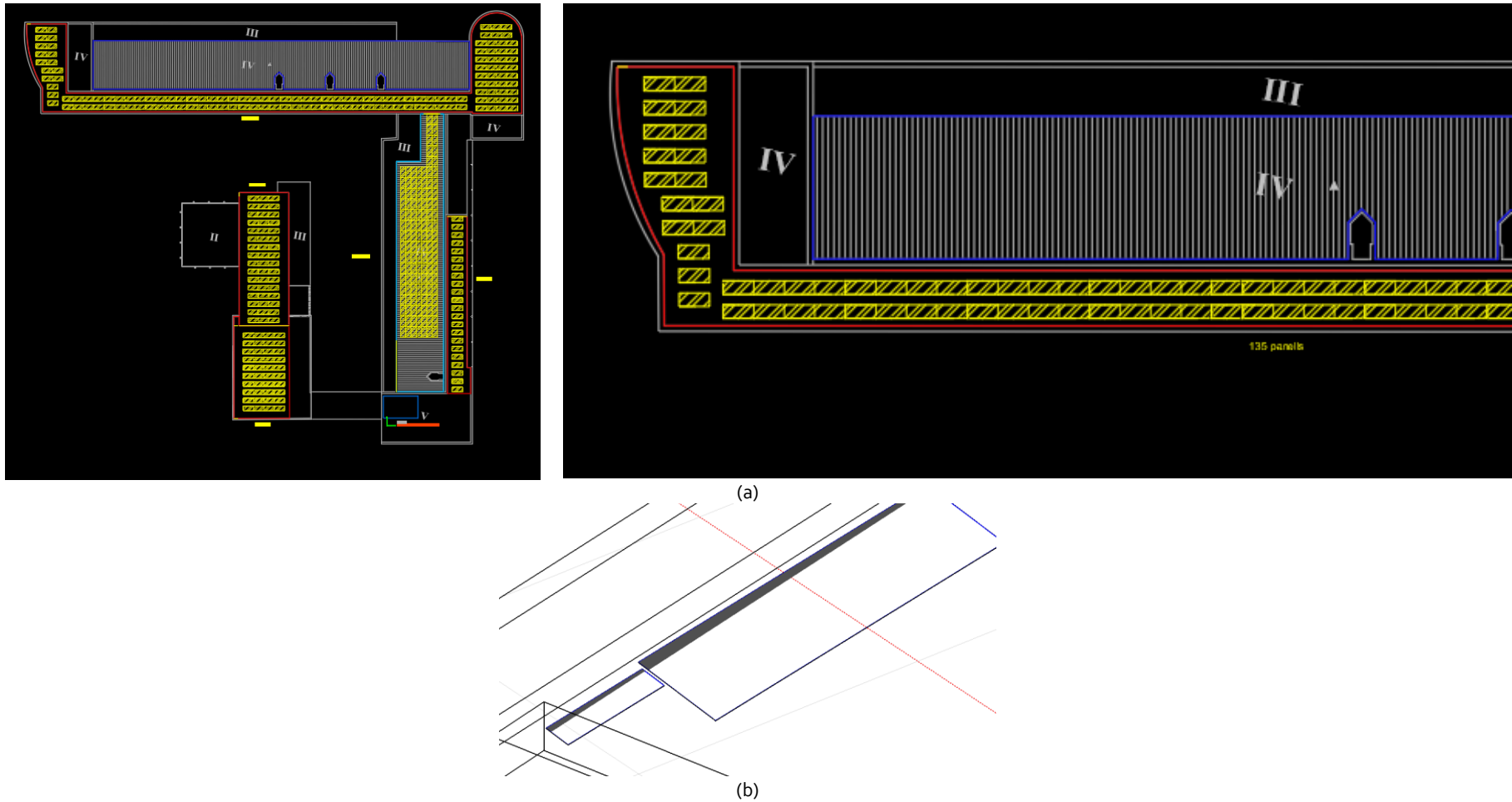


Figura 60. (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Anselm Turmeda.(b) Estudi d'ombres de la instal·lació fotovoltaica que es proposa per instal·lar a sobre de la coberta de l'Anselm Turmeda.

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LA COBERTA DE L'ANSELM TURMEDA

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, en la coberta de l'edifici Anselm Turmeda ascendeix a **287.438,6 €**. En la **Taula 76** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per implementar la instal·lació proposada en el present estudi.

Taula 76: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica de l'Anselm Turmeda.

	<i>Partida</i>	<i>Model</i>	<i>Unitats</i>	<i>Cost unitari [€]</i>	<i>Cost Total [€]:</i>	<i>Percentatge del cost %</i>
Capítol 1	Instal·lació a coberta plana transitable	Solar block, palangana de suport del cablejat, accessoris, material elèctric, caixa de strings, mà d'obra de la instal·lació.	1	30.210,48 €	30.210,48 €	16,15%
	Instal·lació a coberta inclinada de teules	Estructura de suport coplanar per a teules, fixació a teules, unió dels perfils d'alumini, palanganes de suport del cablejat, material elèctric, caixes de strings, mà d'obra de la instal·lació.	1	24.353,33 €	24.353,33 €	13,02%
Total obres civils i estructures:					54.563,81 €	29,17%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat de connexió amb els centres de transformació + quadres de proteccions elèctriques, mà d'obra de la instal·lació.	1	20.093,49 €	20.093,49 €	10,74%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					20.093,49 €	10,74%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					74.657,30 €	39,91%
Capítol 3	Inversor	Sunny Boy 8000TL	7	2.717,70	19.023,90 €	10,17%
	Inversor	Sunny Boy 10000TL	5	3873,4	19.367,00 €	10,35%
	Inversor	Ingecon Sun 100TL 220V	1	6187,6	6.187,60 €	3,31%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	316	144,63	45.703,08 €	27,22%
	Comptador elèctric		1	2.700,00	2.700,00 €	1,44%
Capítol 4	Centre de transformació	Quadre de baixa tensió (BT)+ celda de protecció de fusibles	1	5203,71	5.203,71€	2,78%
Capítol 5	Seguretat i Salut		1	3000 €	3.000,00 €	1,60%
Capítol 6	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00 €	6.000,00 €	3,21%
Pressupost d'execució material (PEM):					187.049,27	100,00%
Despeses Generals (DG):				13,00%	24.316,41 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	11.222,96 €	
				Total DG+BI [€]:	35.539,36 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	14.963,94 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					237.552,58 €	
IVA:				21,00%	49.886,04 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					287.438,62 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,80	

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LA COBERTA DE L'EDIFICI ANSELM TURMEDA

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en la coberta de l'edifici Anselm Turmeda generaria anualment de mitja **247,23 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **287.438,62 €**. La vida útil de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 77. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	287.438,62 €	0,00 €	17,00	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-109.182,46 €	2,68
25 %	215.578,97 €	71.859,66 €	12,75	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-37.322,80 €	5,48
50 %	143.719,31 €	143.719,31 €	8,50	14,99	34.536,85 €	10,32
60 %	114.975,45 €	172.463,17 €	6,80	10,27	63.280,71 €	13,62
70 %	86.231,59 €	201.207,03 €	5,10	6,83	92.024,57 €	18,82
75 %	71.859,66 €	215.578,97 €	4,25	5,41	106.396,51 €	22,85
80 %	57.487,72 €	229.950,90 €	3,40	4,12	120.768,44 €	28,81

Taula 78. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Anselm Turmeda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	287.438,62 €	0,00 €	10,68	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-3.871,83 €	7,44
25 %	215.578,97 €	71.859,66 €	8,01	13,46	67.987,83 €	11,14
50 %	143.719,31 €	143.719,31 €	5,34	7,27	139.847,48 €	17,89
60 %	114.975,45 €	172.463,17 €	4,27	5,45	168.591,34 €	22,72
70 %	86.231,59 €	201.207,03 €	3,21	3,85	197.335,20 €	30,61
75 %	71.859,66 €	215.578,97 €	2,67	3,12	211.707,14 €	36,87
80 %	57.487,72 €	229.950,90 €	2,14	2,44	226.079,07 €	46,24

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un

cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **70 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 70 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,83 anys**, i un **VAN de 92.024,57 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 18,82 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitja de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 78** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 5,45 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 168.591,34 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 22,72 %** superior a la $t_d=7,6 \%$. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

EDIFICI BEATRIU DE PINÓS

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum a la coberta de l'edifici Beatriu de Pinós. A continuació es detallen aspectes tals com: una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa.

COBERTA DE L'EDIFICI BEATRIU DE PINÓS

Analitzant la coberta de l'edifici Beatriu de Pinós es pot veure que les cobertes prioritàries per a la instal·lació de plaques fotovoltaïques es componen per una zona de coberta plana de xapa sense ombres (color blau) i una zona de coberta plana transitable amb ombres (color vermell). A la **Figura 61** es presenta la classificació de les cobertes, i a la **Taula 79** les seues principals característiques.



Figura 61. Zones de la coberta identificades a l'edifici Beatriu de Pinós.

Taula 79. Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Beatriu de Pinós.

Zona de la Coberta	Categoria de coberta	Superfície de la coberta [m²]	Superfície PV útil de la coberta [m²]	Angle azimut / orientació	Inclinació de la coberta	Inclinació dels panells fotovoltaics
T1	A	363,9	135,7	12° / S-E	0°	30°
H1	B	719,5	305,3	12° / S-E	0°	30°

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que en la coberta de l'edifici Beatriu de Pinós es podria ubicar un parc fotovoltaic de **106 kW_p** de potencia de producció en corrent continu (DC) i **89,4 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continu s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus.

Un cop analitzada la coberta s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **234 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **441 m²**, equivalent a un **40,7 %** de la superfície de coberta òptima de l'edifici, estimada en **1083,4 m²**. A la vegada les cadenes de strings dels panells fotovoltaics anirien

connectats a vuit inversors de 3,3 kW model Sunny Boy 3800, i a set inversors de 8 kW del model Sunny Boy 8000TL, del fabricant alemany SMA, i a un inversor de 55 kWac model Ingecon Sun 100 TL del fabricant espanyol Ingeteam. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics sobre la coberta, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 62**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB:

Taula 8o. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Beatriu de Pinós.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m ²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m ²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	9,89	9,6
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	11,13	10,83
<i>Març</i>	137,40	50,84	15,96	15,52
<i>Abril</i>	168,00	65,67	16,61	16,15
<i>Maig</i>	205,80	81,80	18,47	17,96
<i>Juny</i>	220,60	82,30	18,71	18,2
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	18,9	18,38
<i>Agost</i>	196,90	68,01	18,41	17,9
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	15,42	15
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	12,97	12,62
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	9,34	9,08
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	8,76	8,52
Total anual:	1.684,90	654,89	174,58	169,75
Inversió neta (Total del pressupost general) [€]:				162.643,45 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				48,72
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				1,66%

Concretament, aquesta instal·lació fotovoltaica tindria una generació mitja de **169,75 MWh/any**, que permetria cobrir un **1,66 %** de la demanda elèctrica anual del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que segons l'estudi dut a terme per el "**Servei de Patrimoni, Contractació, Infraestructura i Unitat Tècnica**" de la UIB aquesta instal·lació **portaria associada una inversió que rondaria els 162.643,45 €, donant lloc a un cost específic d'uns 0,65 €/W_p**, i permetent reduir en **48,7 tones les emissions de CO₂ /any de la UIB**.

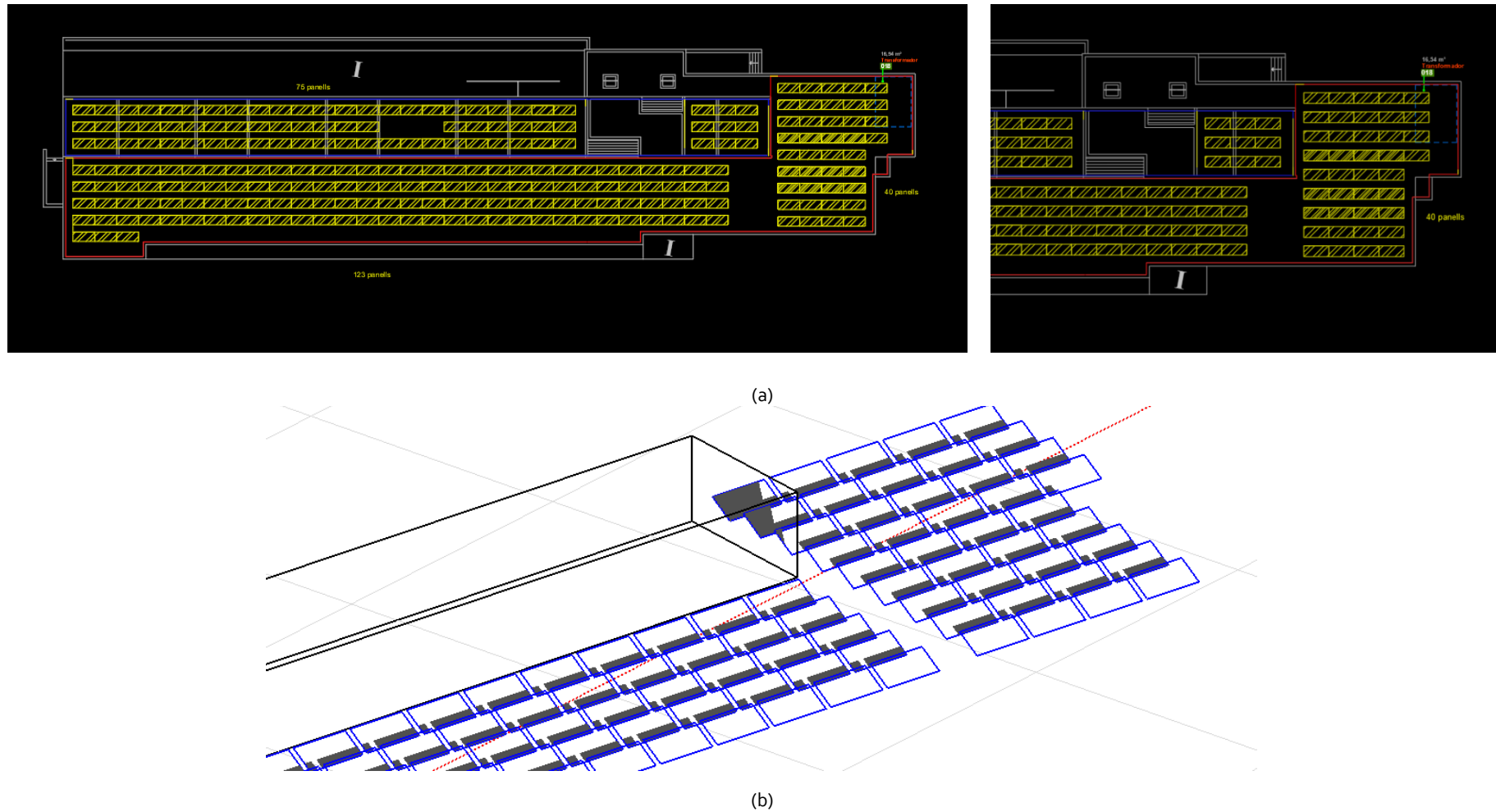


Figura 62. (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Anselm Turmeda. (b) Estudi d'ombres dut a terme mitjançant el programari PVsyst.

EDIFICI ANTONI MARIA ALCOVER I SUREDA

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum a la coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover. A continuació es detallen aspectes tals com: una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

COBERTA DE L'EDIFICI ANTONI MARIA ALCOVER I SUREDA

Analitzant la coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda es pot veure que les cobertes prioritàries per a la instal·lació de plaques fotovoltaïques es componen per una zona de coberta plana transitable sense ombres (color vermell) i una zona de coberta plana transitable amb presència d'ombres (taronja). A la **Figura 63** es presenta la classificació de les cobertes, i a la **Taula 81** les seues principals característiques.

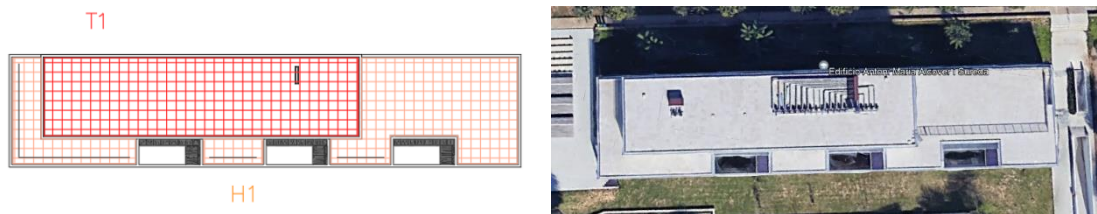


Figura 63. Zones de la coberta identificades a l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda.

Taula 81: Característiques de les cobertes identificades a l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda.

Zona de la Coberta	Categoria de coberta	Superfície de la coberta [m²]	Superfície PV útil de la coberta [m²]	Angle azimut / orientació	Inclinació de la coberta	Inclinació dels panells fotovoltaics
T1	A	623,7	260,07	12° / S-E	0°	30°
H1	B	566,7	207,4	12° / S-E	0°	30°

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que en la coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda es podria ubicar un parc fotovoltaic de **113 kW_p** de potencia de producció en corrent continu (DC) i **137 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), elements convertidors de DC/AC. de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continu s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus.

Un cop analitzada la coberta s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **248 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien

una superfície de **467,47 m²**, equivalent a un **39,2 %** de la superfície de coberta òptima de l'edifici, estimada en **1190,4 m²**. A la vegada les cadenes de strings dels panells fotovoltaics anirien connectats a **1 inversor model Ingecon Sun 160TL de 87 kWac**, i a **10 inversors de 5 kWac del model Sunny Boy 5000TL**, del fabricant alemany SMA. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics sobre la coberta, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 64**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB:

Taula 82. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Beatriu de Pinós.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m ²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m ²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	10,05	9,87
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	11,55	11,36
<i>Març</i>	137,40	50,84	16,82	16,55
<i>Abril</i>	168,00	65,67	17,57	17,29
<i>Maig</i>	205,80	81,80	19,51	19,2
<i>Juny</i>	220,60	82,30	19,71	19,41
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	19,92	19,6
<i>Agost</i>	196,90	68,01	19,37	19,07
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	16,18	15,94
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	13,52	13,3
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	9,55	9,38
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	8,83	8,66
Total anual:	1.684,90	654,89	182,58	179,63
Inversió neta (Total del pressupost general) [€]:				178.804,06 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				48,72
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				1,66 %

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **179,6 MWh/any**, que permetria cobrir un **1,75 % de la demanda elèctrica** anual del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada una reducció de **51,6 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **178.804,06 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,58 €/W_p**, (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada.

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,58 €/W_p**, hi ha **0,26 €/W_p** (**16,67 %**) que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.

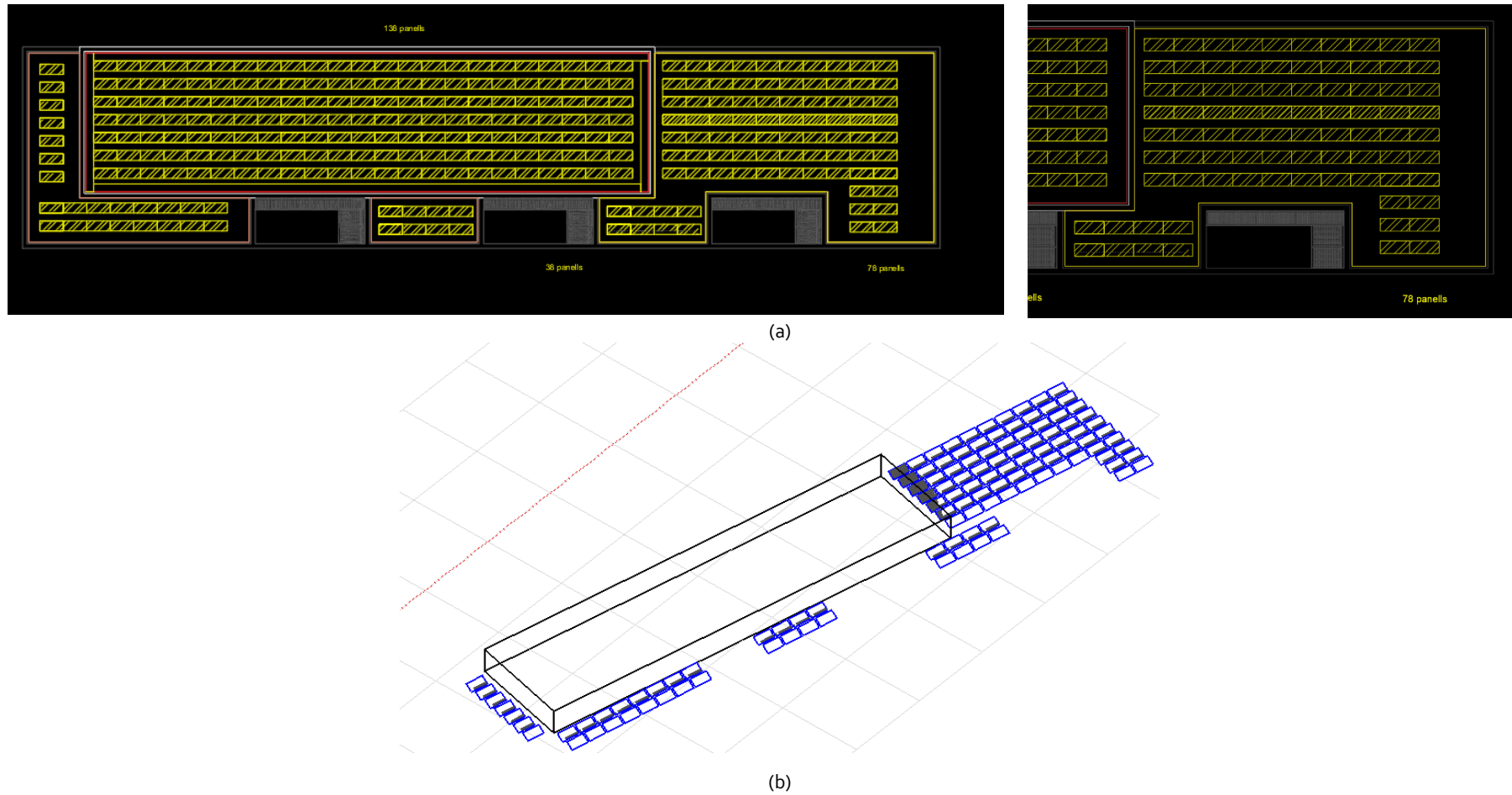


Figura 64. (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda. (b) Estudi d'ombres de la instal·lació fotovoltaica que es proposa instal·lar a la coberta del Antoni Maria Alcover i Sureda.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les principals característiques tècniques dels equips seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 83**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 83. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

Estructures de suport

La coberta de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda es troba composta per cobertes planes transitables, de manera que la instal·lació de panells fotovoltaics requerirà de l'ús d'una estructures de suport adequada per una superfície d'aquest tipus:

- *Coberta plana transitable:* a les cobertes planes transitables s'ha decidit utilitzar unes estructures de suport de formigó prefabricat denominades SOLARBLOC. La geometria i la massa d'aquets elements permeten fixar els panells fotovoltaics directament a sobre seu, sense requerir d'una estructura metàl·lica o haver d'ancorar l'estructura de suport a la coberta.



Figura 65: SOLARBLOC

A l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*) s'indica que la distància de separació entre files de mòduls de panells ha de ser tal que garanteixi almanco quatre hores de sol al voltant del mig dia del solstici d'hivern. Si es calcula aquesta distancia tenint en compte que la latitud de la posició de l'edifici Antoni maria Alcover i Sureda es de 39.38° N, que la longitud del panell fotovoltaic es de 1,038 m, i que l'angle del panell sobre l'horitzontal es de

30°, s'obté que la separació entre files ha de ser de 0,997 m. Tenint en compte que l'espai disponible a les cobertes es limitat, en aquest estudi s'ha decidit reduir lleugerament aquesta distància per tal de poder instal·lar un major nombre de panells, de manera que **la separació entre files ha estat fixada en 0,7 m**. En conseqüència, les diferents estructures es faran ombra entre elles, el que implicarà unes **pèrdues anuals d'energia**, que d'acord a la simulació duta a terme amb el PVsyst es **del 5,85 %**. Ara bé, les pèrdues són compensades amb l'augment de la generació al col·locar més estructures per unitat d'àrea.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el més proper possible dels strings de continu que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat dos models d'inversors trifàsics amb diferents potències de sortida en AC. Concretament, s'ha seleccionat el model **Sunny Boy 5000TL** de 5 kW del fabricant alemany SMA, i el model **Ingecon Sun 160TL** de 87 kW del fabricant espanyol Ingeteam.

Taula 84. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 5000TL

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Boy 5000TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	5,3
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	550
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	5
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	97
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	25

Taula 85. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 160TL

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 160TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	85,9
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1250
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	9
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,7
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	78

A la **Taula 86**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 86. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Antoni Maria Alcover i Sureda

Element	Model	Fabricant	Unitats	Potència unitària	Potència total	Superfície unitària [m²]	Inclinació	Angle azimut / orientació	Superfície Ocupada [m²]
Suports prefabricats de formigó	Solarblock	Pretensados DURAN	257	-	-	-	-	-	-
Panells fotovoltaics	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	248	455 W _p	113 kW _p	2,17	30°	12° S	467,47
Inversors	Sunny Boy 5000 TL Ingecon Sun 160 TL	SMA Ingeteam	101	5 kW _{ac} 87 kW _{ac}	137 kW _{ac}	--	--		--
Quadre de baixa tensió (BT)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									467,47
Superfície total òptima de la coberta [m²]:									1190,4
Percentatge d'ocupació:									39,2 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LA COBERTA DE L'EDIFICI ANTONI MARIA ALCOVER I SUREDA

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, en la coberta de l'edifici Anselm Turmeda ascendeix a **178.804,1 €**. En la **Taula 87** es presenta de forma detallada el cost d'inversió que s'hauria de realitzar per poder implementar la instal·lació presentada en el present estudi:

Taula 87: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Antoni Maria Alcover i Sureda.

	Partida	Model	Unitats	Cost unitari [€]	Cost Total [€]:	Percentatge del cost %
Capítol 1	Instal·lació a coberta plana transitable	Solar block, palangana de suport del cablejat, accessoris, material elèctric, caixa de strings, mà d'obra de la instal·lació, etc.	1	25.254,51 €	25.254,51 €	21,70%
Total obres civils i estructures:					25.254,51 €	21,70%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat de connexió amb els centres de transformació + quadres de proteccions elèctriques, mà d'obra de la instal·lació, etc.	1	16.392,11	16.392,11 €	14,09%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					16.392,11 €	14,09%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					41.646,61 €	35,79%
Capítol 3	Inversor	Ingecon Sun 160TL	1	11.457,85 €	11.457,85 €	9,85%
	Inversor	Sunny Boy 5000TL	10	1.421,51 €	14.215,10 €	12,22%
	Panell fotovoltaic	LR4-72-HPH 455-M	248	144,63 €	35.868,24 €	30,83%
	Comptador elèctric	-	1	2.700€	2.700 €	2,32%
Capítol 4	Centre de transformació	Un quadre de baixa tensió	1	1468,06	1.468,06 €	1,26%

Capítol 5	Seguretat i Salut	Seguretat i Salut	1	3.000,00 €	3.000,00 €	2,58%
Capítol 6	Imprevistos d'obra	---	8	6.000,00 €	6.000,00 €	5,16%
Pressupost d'execució material (PEM):					116.355,86 €	100,00%
Despeses Generals (DG):				13,00%	15.126,26 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	6.981,35 €	
				Total DG+BI [€]:	22.107,61 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	9.308,47 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					147.771,95 €	
IVA:				21,00%	31.032,11 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					178.804,06 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,58 €	

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LA COBERTA DE L'EDIFICI ANTONI MARIA ALCOVER I SUREDA

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en la de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda generaria anualment de mitja **179,63 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **178.804,1 €**. La vida útil de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 88. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	178.804,06 €	0,00 €	14,55	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-49.288,41 €	4,14
25 %	134.103,05 €	44.701,02 €	10,91	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-4.587,40 €	7,19
50 %	89.402,03 €	89.402,03 €	7,28	11,43	40.113,62 €	12,56
60 %	71.521,62 €	107.282,44 €	5,82	8,17	57.994,03 €	16,27
70 %	53.641,22 €	125.162,84 €	4,37	5,59	75.874,43 €	22,21
75 %	44.701,02 €	134.103,05 €	3,64	4,47	84.814,63 €	26,87
80 %	35.760,81 €	143.043,25 €	2,91	3,45	93.754,84 €	33,78

Taula 89. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica de l'edifici Antoni Maria Alcover i Sureda per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

<i>Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]</i>	<i>Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]</i>	<i>Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]</i>	<i>(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]</i>	<i>(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]</i>	<i>(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]</i>	<i>(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]</i>
0 %	178.804,06 €	0,00 €	9,15	17,42	27.227,18 €	9,35
25 %	134.103,05 €	44.701,02 €	6,86	10,41	71.928,19 €	13,47
50 %	89.402,03 €	89.402,03 €	4,57	5,92	116.629,21 €	21,14
60 %	71.521,62 €	107.282,44 €	3,66	4,51	134.509,61 €	26,71
70 %	53.641,22 €	125.162,84 €	2,74	3,22	152.390,02 €	35,87
75 %	44.701,02 €	134.103,05 €	2,29	2,63	161.330,22 €	43,17
80 %	35.760,81 €	143.043,25 €	1,83	2,05	170.270,42 €	54,11

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **70 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 70 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 5,59 anys**, i un **VAN de 75.874,43 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 22,21 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitja de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 66** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament sense cofinançament públic. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **50 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 50 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 5,92 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 116.629,21 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 21,14 %** superior a la $t_d=7,6 \%$. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

EDIFICI CAMPUS ESPORT UIB

En la present subsecció es detallen els principals aspectes relacionats amb el desplegament d'una potencial instal·lació fotovoltaica d'autoconsum a la coberta del Campus Esport de la UIB. A continuació es detallen aspectes tals com: una descripció de la potencial instal·lació fotovoltaica a desplegar-hi, i la generació elèctrica mensual que abocaria aquesta instal·lació a la xarxa, un detall dels equipaments seleccionats, una estimació dels costos d'inversió, i finalment una estimació del període d'amortització de la inversió en funció de diferents escenaris de cofinançament públic i del preu mig de l'electricitat prefixats per el període.

COBERTA DEL CAMPUS ESPORT

Analitzant la coberta de l'edifici del Campus Esport es pot veure que per una banda es disposa de la coberta de la piscina, i per altra banda la coberta del pavelló. La coberta de la piscina es pot separar en una zona de coberta de xapa lleugerament inclinada i amb presència d'ombres (color vermell) i una zona de coberta de xapa inclinada sense ombres (color blau). En quan a la coberta del pavelló es pot veure que disposa de cinc trams de coberta de xapa inclinada susceptibles a instal·lar-hi plaques (color verd). A la **Figura 66** es presenta la classificació de les cobertes, i a la **Taula 90** les seues principals característiques.

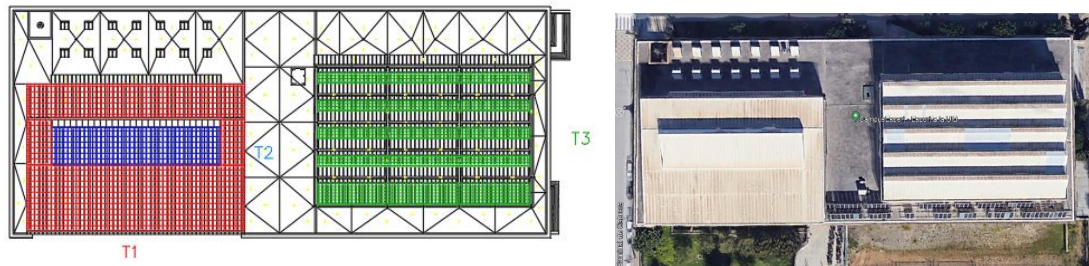


Figura 66. Zones de la coberta identificades al Campus Esport de la UIB.

Taula 90: Característiques de les cobertes identificades al Campus Esport de la UIB.

Zona de la Coberta	Categoria de coberta	Superfície de la coberta [m²]	Superfície PV útil de la coberta [m²]	Angle azimut / orientació	Inclinació de la coberta	Inclinació dels panells fotovoltaics
T1	B	1117,64	440,9	12° / S-E	7°	30°
T2	A	290	136,9	12° / S-E	20°	20°
T3	A	627,5	260,8	14° / S-E	32,96°	32,96°

DESCRIPCIÓ DEL POTENCIAL PARC FOTOVOLTAIC

Un cop analitzats diferents escenaris de generació fotovoltaica, es planteja que en la coberta del Campus Esport UIB es podria ubicar un parc fotovoltaic de **190 kW_p** de potencia de producció en corrent continua (DC) i **193 kW_{ac}** de potencia de producció en corrent alterna (AC), dels elements convertidors de DC/AC. Donat que l'energia generada per els panells fotovoltaics es transferida mitjançant corrent continua s'ha de transformar en corrent alterna, amb la mateixa qualitat (tensió, freqüència,...) que la de la xarxa elèctrica, mitjançant l'ús d'inversors fotovoltaics de xarxa. Per tant, es tractaria d'una instal·lació de generació trifàsica (400V) amb injecció directa d'energia a l'anell de mitja tensió, propi de la UIB, per l'autoconsum dels diferents edificis. En conseqüència, s'haurà d'eleva la tensió de l'energia produïda en baixa tensió per la instal·lació fotovoltaica a mitja tensió (MT) mitjançant un centre de transformació (BT/MT). D'aquesta manera es permetria la injecció de l'energia a la pròpia xarxa de MT de la UIB, i l'evacuació dels excedents cap a la xarxa de distribució de ENDESA/ENEL a través del punt frontera del Campus.

Un cop analitzada la coberta s'ha determinat que es podria desplegar una potencial instal·lació fotovoltaica que permetria instal·lar fins a **417 panells fotovoltaics**, del model LR4-72HPH-455M del fabricant xinès Longi Solar, de **455 Wp** amb una eficiència del **20,9 %**, que ocuparien una superfície de **838,6 m²**, equivalent a un **41,2 %** de la superfície de coberta òptima de l'edifici, estimada en **2035,1 m²**. A la vegada les cadenes de strings dels panells fotovoltaics aniran connectats a **dos inversors model Ingecon Sun 100TL de 55 kWac del fabricant espanyol Ingeteam**, i a **5 inversors model Sunny Boy SB 11000TL de 11 kW** i a **5 inversors model Sunny Boy 7000 de 7 kW del fabricant alemany SMA**. El pre-disseny de la distribució de panells fotovoltaics sobre la coberta, i l'estudi d'ombres obtingut amb el programari PVsyst, es presenta a la **Figura 67**.

A partir de la simulació del disseny de la planta mitjançant el programari PVsyst s'ha obtingut l'energia que s'injectaria mensualment a l'anell de mitja tensió de la UIB:

Taula 91. Generació de la hipotètica planta fotovoltaica de la coberta de l'edifici Campus Esport.

	Irradiància Global horitzontal [kWh/m²]	Irradiància Difusa horitzontal [kWh/m²]	Energia efectiva a la sortida de la matriu de panells fotovoltaics [MWh]	Producció estimada [MWh]
<i>Gener</i>	67,70	26,84	17,37	16,98
<i>Febrer</i>	85,10	37,39	19,79	19,39
<i>Març</i>	137,40	50,84	28,67	28,09
<i>Abril</i>	168,00	65,67	30,05	29,45
<i>Maig</i>	205,80	81,80	33,4	32,72
<i>Juny</i>	220,60	82,30	33,75	33,08
<i>Juliol</i>	222,80	77,89	34,06	33,38
<i>Agost</i>	196,90	68,01	33,07	32,42
<i>Setembre</i>	145,30	59,45	27,58	27,04
<i>Octubre</i>	107,20	44,86	23,08	22,6
<i>Novembre</i>	68,80	33,24	16,48	16,11
<i>Desembre</i>	59,30	26,61	15,3	14,94
Total anual:	1.684,90	654,89	312,59	306,19
Inversió neta (Total del pressupost general) [€]:				279.249,49 €
Reducció de emissions CO₂ [tCO₂/any]:				87,88
Cobertura de la demanda anual de la UIB:				2,99 %

Concretament, la instal·lació fotovoltaica pre-dissenyada proporcionaria una generació mitja de **306,2 MWh/any**, que permetria cobrir un **2,99 % de la demanda elèctrica** anual del campus de la UIB. Addicionalment, cal mencionar que aquesta instal·lació portaria associada **una reducció de 51,6 tones d'emissions de CO₂/any**, requerint una inversió neta (incloent tots els impostos) de **279.249,5 €**. Aquesta inversió es correspon a un cost específic de **1,47 €/Wp**, (impostos inclosos), i totes les instal·lacions (Baixa tensió, Mitja tensió,...), l'adequació de l'anell de mitja tensió del campus i el conjunt de l'obra civil associada.

El cost específic per aquesta actuació s'ha avaluat en base a un estat d'amidaments detallat del pre-disseny d'instal·lació fotovoltaica proposada, ara bé en aquesta en resten diferents aspectes pràctics per definir que s'han hagut de pressuposar alhora d'incloure en el pressupost. A la vegada, per la confecció de l'estat d'amidaments s'han emprat els preus actualitzats dels equipaments, amb data posterior a juny de 2022, a fi d'incorporar els increments dels costos dels materials derivats de la inflació subjacent i l'alça de les matèries primes a nivell mundial.

Finalment, cal remarcar que en el cost específic determinat, de **1,47 €/Wp**, hi ha **0,18 €/Wp (11,95 %)** que es corresponen a actuacions destinades a l'adequació de la xarxa de distribució de MT de la UIB per a permetre una correcta evacuació de l'energia generada a la xarxa.

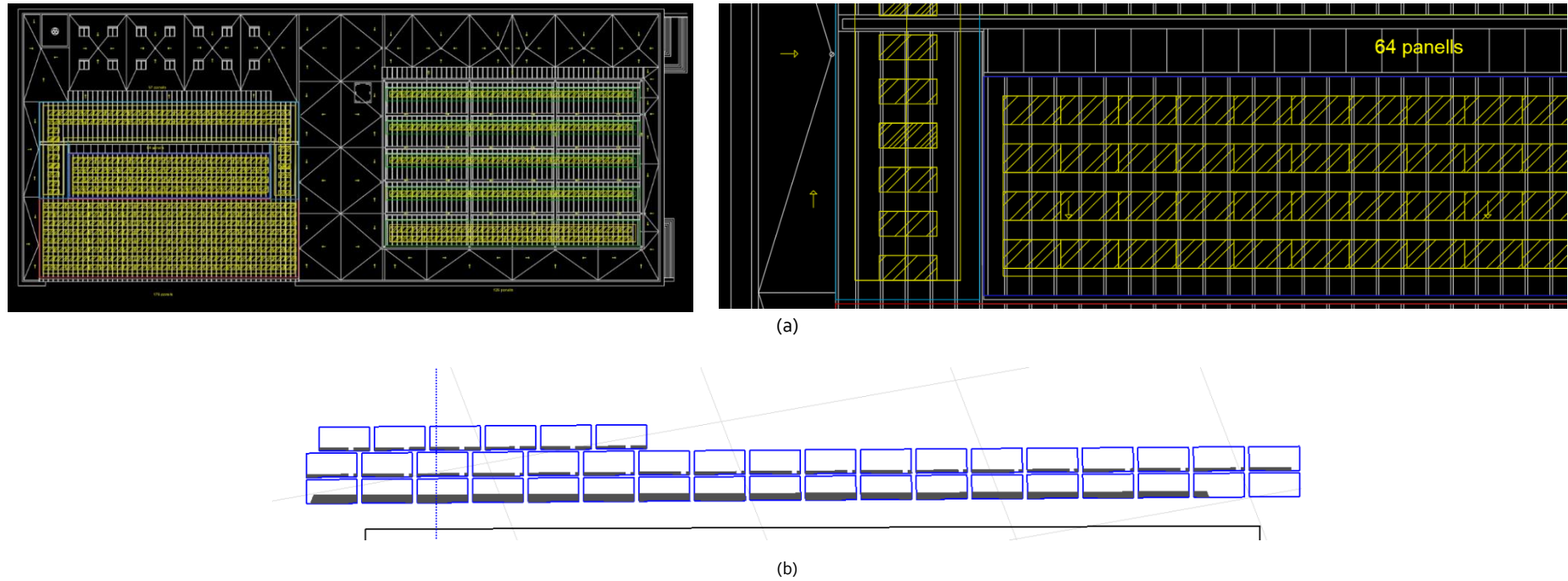


Figura 67. (a) Pre-disseny de la planta fotovoltaica de la coberta del Campus Esport. (b) Estudi d'ombres de la potencial instal·lació fotovoltaica.

CARACTERÍSTIQUES DELS EQUIPS

En aquesta subsecció es detallen les principals característiques tècniques dels equips seleccionats per a pre-dissenyar la planta fotovoltaica.

Panells fotovoltaics

Els panells fotovoltaics seran monocristal·lins i s'interconnectaran entre ells en sèrie. Donat que una de les premisses rebudes en la confecció del present estudi es la minimització de l'ocupació de territori per aconseguir la independència energètica del campus, serà d'especial rellevància que la eficiència del panell sigui la més alta possible.

Per el present estudi s'ha seleccionat el panell fotovoltaic **model LR4-72HPH-455M**, del fabricant xinès Longi Solar, que presenta una eficiència del **20,9 %** i les característiques tècniques que s'exposen a la **Taula 92**. Cal remarcar que al projecte real s'han de seleccionar panells amb una eficiència igual o superior a la del panell emprat en aquest estudi, si es vol obtenir una generació elèctrica equivalent o superior a la plantejada.

Taula 92. Principals característiques tècniques dels panells fotovoltaics LR4-72HPH-455M

Fabricant:	Longi Solar
Referència:	LR 4-72 HPH 455 M G2
Potència nominal [W _p]:	455
Tipus de cel·les en el panell:	Monocristal·lí
Numero de cel·les en el panell:	144
Eficiència [%]:	20,9
Dimensions [mm]:	2094x1038x35
Pes [kg]:	23,5

ESTRUCTURES DE SUPORT

La coberta del Campus Esport es troba composta per cobertes lleugerament inclinades de xapa i cobertes de xapa inclinades, de manera que la instal·lació de panells fotovoltaics requerirà de l'ús de dues estructures de suport diferents:

- *Coberta inclinada de xapa:* a les cobertes inclinades de xapa s'ha decidit utilitzar suports coplanars dels models SUNFER 04H3 i SUNFER 04H2 .



Figura 68: SUNFER 04H2

- *Coberta lleugerament inclinada de xapa:* a les cobertes planes de xapa s'ha decidit utilitzar suports inclinats dels models SUNFER 22H6, SUNFER 22H2, i SUNFER 22H1.



Figura 69: SUNFER 22H2

A l'IDAE (*Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético*) s'indica que la distància de separació entre files de mòduls de panells ha de ser tal que garanteixi almanco quatre hores de sol al voltant del mig dia del solstici d'hivern. Si es calcula aquesta distància tenint en compte que la latitud de la posició del Campus Esport es de 39.38° N, que la longitud del panell fotovoltaic es de 1,038 m, i que l'angle del panell sobre l'horitzontal es de 30°, s'obté que la separació entre files ha de ser de 0,997 m. Tenint en compte que l'espai disponible a les cobertes es limitat, en aquest estudi s'ha decidit reduir lleugerament aquesta distància per tal de poder instal·lar un major nombre de panells, de manera que **la separació entre files ha estat fixada en 0,7 m**. En conseqüència, les diferents estructures es faran ombra entre elles, el que implicarà unes **pèrdues anuals d'energia**, que d'acord a la simulació duta a terme amb el PVsyst **es del 3,55 %**. Ara bé, les pèrdues son compensades amb l'augment de la generació al col·locar més estructures per unitat d'àrea.

Inversors

Els inversors hauran de disposar d'un grau de protecció (IP65) i un aïllament elèctric suficient per tal de permetre la seva instal·lació en intempèrie, fixant-los a la pròpia estructura de suport dels panells, el mes proper possible dels strings de continua que agruparan. Tota això, a fi de minimitzar les pèrdues de distribució en DC. A la vegada, el rendiment en la conversió AC/DC dels inversors haurà de ser igual o major al 98 %, i hauran de disposar de sortida trifàsica (400V) i capacitats de monitorització i teleoperació (Ethernet, 4G,...) integrades en el propi equip. Cal remarcar que serà necessari desplegar el sistema de comunicacions (en el cas de desplegar una solució de comunicacions sense fils tindrà un cost inferior a les solucions cablejades) per tal de poder interaccionar amb l'inversor.

Al present estudi s'han seleccionat tres models d'inversors trifàsics amb diferents potències de sortida en AC. Concretament, s'han seleccionat els **models Sunny Boy SB 11000TL** de 11 kWac, i el model **Sunny Boy 7000TL** de 7 kWac del fabricant alemany SMA, i el **model Ingecon Sun 100TL** de 55 kWac del fabricant espanyol Ingeteam.

Taula 93. Principals característiques tècniques de l'inversor Ingecon Sun 100TL

Fabricant:	Ingeteam
Referència:	Ingecon Sun 100TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	80,2
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	1100
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	55,3
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98,5
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	78

Taula 94. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy SB 11000TL

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Boy SB 11000TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	11,4
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	700
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	11
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	35

Taula 95. Principals característiques tècniques de l'inversor Sunny Boy 7000TL

Fabricant:	SMA
Referència:	Sunny Boy 7000TL
Potència màxima en entrada en CC [kW _p]:	7,2
Tensió màxima de entrada en CC [V]:	700
Numero d'entrades en CC:	1
Potència màxima de sortida en CA [kW]:	7
Fases de sortida:	3 / 3 - PE
Eficiència en la conversió DC/AC:	98
Grau de protecció:	IP65
Comunicacions integrades:	Ethernet, SMA Modbus,
Pes [kg]:	33

A la **Taula 96**, es presenten els models i les característiques principals dels equipaments considerats a l'hora de dur a terme el pre-dimensionat de la planta fotovoltaica:

Taula 96. Superfícies i característiques dels equipaments emprats en la planta fotovoltaica del Campus Esport.

<i>Element</i>	<i>Model</i>	<i>Fabricant</i>	<i>Unitats</i>	<i>Potència unitària</i>	<i>Potència total</i>	<i>Superfície unitària [m²]</i>	<i>Inclinació</i>	<i>Angle azimut / orientació</i>	<i>Superfície Ocupada [m²]</i>
Estructura de suport per a coberta plana de xapa	SUNFER 22H6	SUNFER	36	-	-	11,3	30	14	-
Estructura de suport per a coberta plana de xapa	SUNFER 22H2	SUNFER	18	-	-	3,7	30	14	-
Estructura de suport per a coberta plana de xapa	SUNFER 22H1	SUNFER	20	-	-	1,8	30	14	-
Estructura de suport per a coberta inclinada de xapa	SUNFER 04H3	SUNFER	62	-	-	6,5	32,96°	14	-
Estructura de suport per a coberta inclinada de xapa	SUNFER 04H2	SUNFER	4	-	-	4,3	32,96°	14	-
Panells fotovoltaics	LR4-72HPH-455M	Longi Solar	417	455 W _p	190 kW _p	2,17	30°/32,96°	14° S	838,6
Inversors	Ingecon Sun 100 TL Sunny Boy SB 11000TL Sunny Boy SB 7000TL	Ingeteam SMA SMA	2 5 4	55 kW _{ac} 11 kW _{ac} 7 kW _{ac}	193 kW _{ac}	--	--	--	--
Quadre de baixa tensió (BT)	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Superfície total ocupada amb la projecció dels elements de la instal·lació [m²]:									838,6
Superfície total òptima de la coberta [m²]:									2.035,1
Percentatge d'ocupació:									41,2 %

ESTIMACIÓ DEL COST DE LA INVERSIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LA COBERTA DEL CAMPUS ESPORT UIB

El cost de la inversió necessària per el desplegament de la planta fotovoltaica proposada, amb les característiques i equips descrits en els subapartats anteriors, en la coberta del Campus Esport UIB ascendeix a **279.249,5 €**. En la **Taula 97** es presenta de forma detallada l'estimació del cost de la inversió que s'hauria de realitzar per implementar la instal·lació proposada en el present estudi:

Taula 97: Estimació del cost de la inversió de la planta fotovoltaica del Campus Esport.

	<i>Partida</i>	<i>Model</i>	<i>Unitats</i>	<i>Cost unitari [€]</i>	<i>Cost Total [€]:</i>	<i>Percentatge del cost %</i>
	Instal·lació a coberta plana de xapa i instal·lació a coberta inclinada de xapa	Suports coplanars i la seva instal·lació, elements de fixació coplanars, elements d'unió dels perfils d'alumini, palanganes de suport del cablejat, material elèctric, caixa de strings, mà d'obra... Estructura de suport inclinada i la seva instal·lació, elements de fixació a xapa, elements d'unió dels perfils, palanganes de suport del cablejat, material elèctric, caixes de strings, mà d'obra...	1	57.827,82 €	57.827,82 €	31,82%
Total obres civils i estructures:					57.827,82 €	31,82%
Capítol 2	Instal·lació elèctrica	Cablejat de connexió amb els centres de transformació + quadres de proteccions elèctriques, mà d'obra.	1	18.786,09 €	18.786,09 €	10,34%
Total cablejat instal·lació elèctrica:					18.786,09 €	10,34%
Pressupost infraestructura d'instal·lació:					76.613,91 €	42,16%
Capítol 3	Inversor	Ingecon Sun 100TL	2	6.187,50	12.375,00	6,81%
	Inversor	Sunny Boy SB 110000TL	5	1.512,50	7.562,50	4,16%
	Inversor	Sunny Boy 7000TL	4	2.555,50	10.222,00	5,63%
	Panell PV	LR 4-72 HPH 455 M G2	417	144,63	60.310,71	33,19%
	Comptador elèctric		1	2.700,00	2.700,00	1,49%
Capítol 4	Centre de transformació	Dos quadres de baixa tensió (BT)	2	1468,06	2.936,12	1,62%
Capítol 5	Seguretat i Salut	Seguretat i salut	1	3.000,00	3.000,00	1,65%
Capítol 6	Imprevistos d'obra	---	1	6.000,00	6.000,00	3,30%
Pressupost d'execució material (PEM):					211.493,90	100,00%
Despeses Generals (DG):				13,00%	23.623,63 €	
Benefici Industrial (BI):				6,00%	10.903,21 €	
				Total DG+BI [€]:	34.526,85 €	
Honoraris professionals [€]				8,00%	14.537,62 €	
Pressupost d'execució per contrata [€]:					230.784,70 €	
IVA:				21,00%	48.464,79 €	
Total del pressupost general (inclou IVA)					279.249,49 €	
Cost específic [€/Wp]:					1,47	

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LA COBERTA DEL CAMPUS ESPORT UIB

El pre-disseny de la planta fotovoltaica que es proposa instal·lar en la coberta del Campus Esport generaria anualment de mitja **306,19 MWh/any** i requeriria d'una inversió inicial (I_0) de **279.249,5 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 98. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Campus Esport per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	279.249,49 €	0,00 €	13,33	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-58.482,38 €	5,02
25 %	209.437,12 €	69.812,37 €	10,00	21,50	11.330,00 €	8,23
50 %	139.624,75 €	139.624,75 €	6,67	9,96	81.142,37 €	13,94
60 %	111.699,80 €	167.549,69 €	5,33	7,25	109.067,32 €	17,92
70 %	83.774,85 €	195.474,64 €	4,00	5,01	136.992,27 €	24,35
75 %	69.812,37 €	209.437,12 €	3,33	4,03	150.954,74 €	29,40
80 %	55.849,90 €	223.399,59 €	2,67	3,11	164.917,22 €	36,93

Taula 99. Resultats de l'amortització de la planta fotovoltaica del Campus Esport per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	279.249,49 €	0,00 €	8,38	14,61	71.942,98 €	10,51
25 %	209.437,12 €	69.812,37 €	6,29	9,12	141.755,36 €	14,92
50 %	139.624,75 €	139.624,75 €	4,19	5,31	211.567,73 €	23,19
60 %	111.699,80 €	167.549,69 €	3,35	4,05	239.492,68 €	29,23
70 %	83.774,85 €	195.474,64 €	2,51	2,91	267.417,63 €	39,21
75 %	69.812,37 €	209.437,12 €	2,10	2,39	281.380,10 €	47,17
80 %	55.849,90 €	223.399,59 €	1,68	1,87	295.342,58 €	59,10

Analizant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 25 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **70 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament

d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 70 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 5,01 anys**, i un **VAN de 136.992,27 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 24,35 %** superior a la $t_d=7,6$ %.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitja de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la **Taula 99** mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament sense cofinançament públic. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **50 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 50 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 5,31 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 211.567,73 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 23,19 %** superior a la $t_d=7,6$ %. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

CAPÍTOL 5

ESCENARIS DE MITIGACIÓ DELS COSTOS ENERGÈTICS DE LA UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

ESCENARI 1: DESPLEGAMENT DE PLAQUES FOTOVOLTAIQUES SOBRE LES COBERTES PRIORITÀRIES DELS EDIFICIS DE LA UIB

El primer escenari, contempla el desplegament de plaques fotovoltaïques a les cobertes dels edificis *Gaspar Melchor de Jovellanos, Guillem Cifre de Colonya, Anselm Turmeda, Beatriu de Pinós, Antoni Maria Alcover i Sureda, i a la Coberta del Campus Esport*, permetent generar en total **2044,6 MWh/any**, que cobriria el **19,9 %** de la demanda energètica anual del Campus. En conseqüència, en aquest primer escenari la UIB no disposaria de la capacitat de generació suficient per generar ningun tipus d'excedent net anual. A la **Taula 105** es presenta el balanç mensual de la instal·lació proposada:

Taula 100: Balanç energètic mensual de l'escenari 1.

Consum elèctric de la UIB a l'any 2021 (MT)			Gaspar Melchor de Jovellanos	Guillem Cifre	L'Anselm Turmeda	Beatriu de Pinós	Antoni Maria Alcover i Sureda	Campus Esport	MWh (Generació mensual PV)	MWh (Demanda neta)
Consum elèctric Mensual UIB	kWh	MWh	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes
Gener	942512	942,512	48,8	12,33	12,96	9,6	9,87	16,98	110,54	831,972
Febrer	833714	833,714	56,4	14,25	15,13	10,83	11,36	19,39	127,36	706,354
Març	955763	955,763	82,7	20,94	22,22	15,52	16,55	28,09	186,02	769,743
Abril	793889	793,889	88,5	22,25	23,97	16,15	17,29	29,45	197,61	596,279
Maig	728519	728,519	99,5	24,88	27,24	17,96	19,2	32,72	221,5	507,019
Juny	935298	935,298	101,3	25,25	27,84	18,2	19,41	33,08	225,08	710,218
Juliol	991626	991,626	101,9	25,46	27,96	18,38	19,6	33,38	226,68	764,946
Agost	791644	791,644	97,5	24,51	26,66	17,9	19,07	32,42	218,06	573,584
Setembre	815851	815,851	80,1	20,26	21,68	15	15,94	27,04	180,02	635,831
Octubre	811251	811,251	66	16,71	17,74	12,62	13,3	22,6	148,97	662,281
Novembre	772019	772,019	46,6	11,75	12,46	9,08	9,38	16,11	105,38	666,639
Desembre	873017	873,017	43,1	10,83	11,39	8,52	8,66	14,94	97,44	775,577
Total	10245103	10245,103	912,4	229,42	247,23	169,75	179,63	306,19	2044,62	8200,5
			Inversió neta	690.214,76 €	175.483,97 €	287.438,62 €	162.643,45 €	178.804,06 €	279.249,49 €	1.773.834,35 €
			Reducció d'emissions de CO2/any (tones)	261,86	65,84	70,96	48,72	51,55	87,88	586,81

Tal com es pot veure a la taula anterior, la instal·lació proposada en el present escenari, tindria associada una inversió neta (després d'imposts) de **1.773.834,4 €**, permetent **cobrir pràcticament el 20 % de la demanda energètica** anual de la universitat, i **reduir en 586,8 tones les emissions de**

CO₂/any. Aquesta reducció anual d'emissions de CO₂ dona lloc a que al final de la vida útil de la planta, s'hagi evitat l'emissió de **14.670,25 tones de CO₂**. Si es considera que de mitja un arbre absorbeix uns 20 kg de CO₂ cada any [12], la instal·lació fotovoltaica que es proposa en aquest primer escenari permetria evitar l'emissió de la mateixa quantitat de CO₂ que serien capaços de captar **29.340 arbres cada any**. Ara bé, si s'analitza la **Figura 70**, on es presenta de color blau la demanda energètica mensual de la UIB, en vermell l'energia generada per la instal·lació fotovoltaica, i en verd la demanda neta mensual de la UIB, es pot veure que durant molts de mesos a l'any s'hauria de recórrer a l'adquisició de pràcticament el 90 % de la demanda mensual al mercat elèctric, de manera que a pesar de que es reduiria considerablement la demanda energètica, no es solucionaria la situació d'emergència energètica que està patint la universitat.

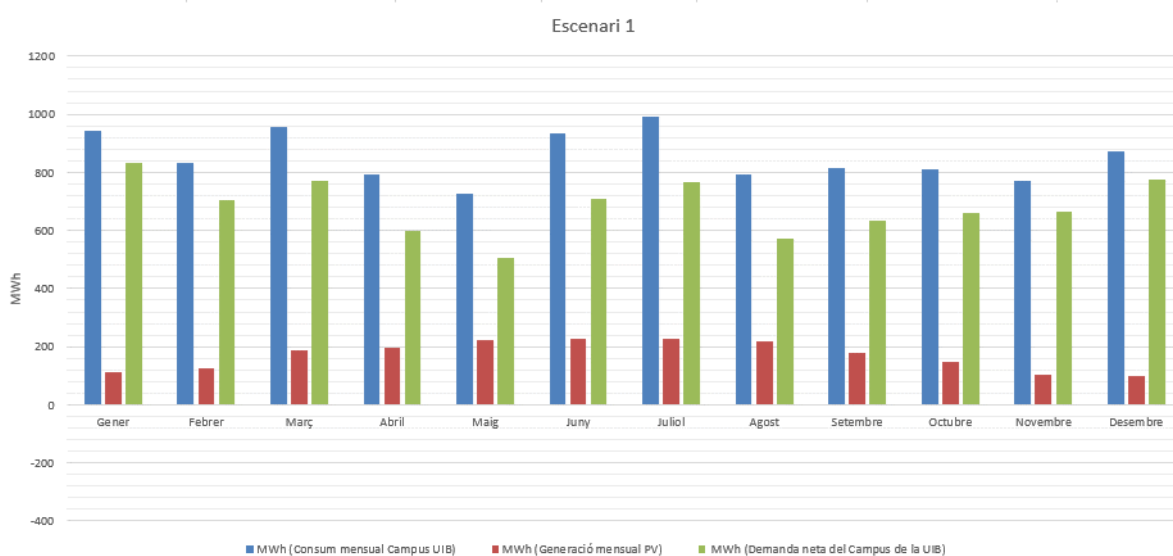


Figura 70: Binomi generació fotovoltaica i demanda del campus (2021), per l'escenari 1.

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE L'ESCENARI 1

El conjunt d'instal·lacions fotovoltaïques que s'han projectat a sobre dels edificis del Campus de la UIB generaran anualment de mitja **2044,6 MWh/any**, requerint una inversió inicial de **1.773.834,4 €**. La vida útil de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**. Per tal de poder determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de les plantes fotovoltaïques permet recuperar o no la inversió inicial, s'ha dut a terme un anàlisi de la rendibilitat, i s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenta l'estimació de dos escenaris d'amortització, associats a dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per els 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que se correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica del 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es vagui avançant en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 101. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaïques de l'escenari 1, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.773.834,35 €	0,00 €	12,68	No s'amortitza al llarg de la vida útil de la planta	-299.650,21 €	5,54
25 %	1.330.375,76 €	443.458,59 €	9,51	19,00	143.808,38 €	8,85
50 %	886.917,18 €	886.917,18 €	6,34	9,24	587.266,97 €	14,77
60 %	709.533,74 €	1.064.300,61 €	5,07	6,78	764.650,40 €	18,92
70 %	532.150,31 €	1.241.684,05 €	3,80	4,72	942.033,84 €	25,65
75 %	443.458,59 €	1.330.375,76 €	3,17	3,80	1.030.725,56 €	30,95
80 %	354.766,87 €	1.419.067,48 €	2,54	2,94	1.119.417,27 €	38,86

Taula 102. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaïques de l'escenari 1, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	1.773.834,35 €	0,00 €	7,97	13,34	571.272,07 €	11,21
25 %	1.330.375,76 €	443.458,59 €	5,98	8,49	1.014.730,65 €	15,79
50 %	886.917,18 €	886.917,18 €	3,99	4,99	1.458.189,24 €	24,43
60 %	709.533,74 €	1.064.300,61 €	3,19	3,83	1.635.572,68 €	30,76
70 %	532.150,31 €	1.241.684,05 €	2,39	2,76	1.812.956,11 €	41,25
75 %	443.458,59 €	1.330.375,76 €	1,99	2,26	1.901.647,83 €	49,61
80 %	354.766,87 €	1.419.067,48 €	1,59	1,77	1.990.339,55 €	62,16

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 25 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **60 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 60 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,78 anys**, i un **VAN de 764.650,40 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 18,92 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el cas del segon escenari, presentat a la **Taula 102**, amb un preu mitjà de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable sense cofinançament públic. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **50 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un cofinançament públic d'almenys el **50 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 4,99 anys**, menor a 7 anys, i un VAN de **1.458.189,24 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 24,43 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

ESCENARI 2: DESPLEGAMENT DE GRANS PLANTES FOTOVOLTAIQUES AL CAMPUS DE LA UIB

El segon escenari de mitigació dels costos energètics de la UIB, contempla el desplegament de 7 plantes fotovoltaïques de gran dimensió, sobre alguns dels grans aparcaments (sobre pèrgoles i marquesines) del Campus, i aprofitant alguns zones lliures i urbanitzables, en regim d'autoconsum. Concretament, es proposa la instal·lació d'una planta fotovoltaica als terrenys annexes a **Cas Jai, i al Pantaleu, sobre l'Aljub General i el terreny lliure que l'envolta, a l'aparcament de l'Anselm Turmeda, al Caminal d'Eivissa, al Caminal de Formentera, i al Caminal de Cabrera**, permetent generar en total **9.150,5 MWh/any** que cobririen el **89,3 %** de la demanda energètica anual del Campus. En conseqüència, en aquest primer escenari, la UIB no disposaria de la capacitat de generació suficient per generar un excedent net anual. A la **Taula 105** es presenta el resum mensual de la instal·lació.

Observant la **Taula 105** es pot veure que la instal·lació fotovoltaica que es presenta en aquest segon escenari tindria associada una inversió neta (després d'impostos) de **11.840.193,5 €**, i que permetria **cobrir el 89 % de la demanda energètica anual de la universitat**, i alhora reduir en **2626,2 tones les emissions de CO₂/any de la universitat**. Aquesta reducció anual d'emissions de CO₂ dona lloc a que al final de la vida útil de la planta, **s'hagi evitat l'emissió de 65.655,25 tones de CO₂**. Si es considera que de mitja un arbre absorbeix uns 20 kg de CO₂ cada any [12], **la instal·lació fotovoltaica que es proposa en aquest primer escenari permetria evitar l'emissió de la mateixa quantitat de CO₂ que serien capaços de captar 131.310 arbres cada any**. Ara bé, observant la **Figura 71** es pot veure que durant els mesos més freds de l'any (novembre, desembre, gener i febrer) s'hauria d'adquirir al voltant del 40-50 % de la demanda energètica, mentre que des d'abril fins a setembre es tindria un excedent de generació d'uns 200 MWh/mes que es podria vendre. Per tant, en conjunt la universitat no disposaria de la capacitat de generació suficient per obtenir un excedent net a final d'any.

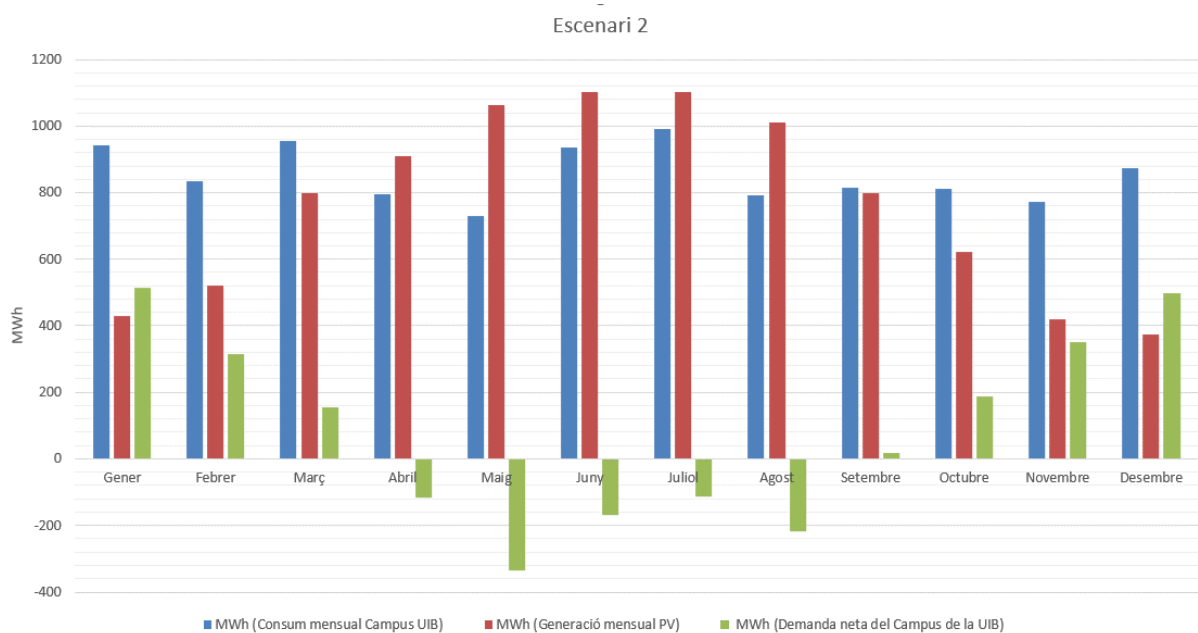


Figura 71: Binomi generació fotovoltaica i demanda del campus (2021), per l'escenari 2.

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE L'ESCENARI 2

El conjunt d'instal·lacions fotovoltaïques que s'han projectat a n'aquest segon escenari de mitigació dels costos energètics de la UIB, permetria generar en total **9.150,5 MWh/any**, requerint una inversió inicial de **11.840.193,5€**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 103. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaïques a desplegar a aparcaments i grans terrenys de la UIB, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	11.840.193,53 €	0,00 €	18,92	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-5.242.559,76 €	1,73
25 %	8.880.145,15 €	2.960.048,38 €	14,19	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-2.282.511,38 €	4,39
50 %	5.920.096,77 €	5.920.096,77 €	9,46	18,75	677.537,00 €	8,92
60 %	4.736.077,41 €	7.104.116,12 €	7,57	12,19	1.861.556,36 €	11,97
70 %	3.552.058,06 €	8.288.135,47 €	5,67	7,89	3.045.575,71 €	16,74
75 %	2.960.048,38 €	8.880.145,15 €	4,73	6,19	3.637.585,38 €	20,41
80 %	2.368.038,71 €	9.472.154,82 €	3,78	4,69	4.229.595,06 €	25,80

Taula 104. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaïques a desplegar a aparcaments i grans terrenys de la UIB, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	11.840.193,53 €	0,00 €	11,89	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-1.344.792,83 €	6,23
25 %	8.880.145,15 €	2.960.048,38 €	8,92	16,51	1.615.255,55 €	9,68
50 %	5.920.096,77 €	5.920.096,77 €	5,95	8,43	4.575.303,94 €	15,89
60 %	4.736.077,41 €	7.104.116,12 €	4,76	6,23	5.759.323,29 €	20,28
70 %	3.552.058,06 €	8.288.135,47 €	3,57	4,37	6.943.342,64 €	27,42
75 %	2.960.048,38 €	8.880.145,15 €	2,97	3,53	7.535.352,32 €	33,06
80 %	2.368.038,71 €	9.472.154,82 €	2,38	2,74	8.127.361,99 €	41,49

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament,

es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **75 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 75 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 6,19 anys**, i un **VAN de 3.637.585,38 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 20,41 %**, superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el segon escenari on s'ha fixat un preu mitja de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats presentats a la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable econòmicament a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** el períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys del 60 %** el que permetria aconseguir un **període de amortització descomptada de 6,23 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN 5.759.323,29 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 20,28 %** superior a la $t_d=7,6 \%$. A primera instància sembla que la rendibilitat obtinguda es molt elevada però si es considera la inflació actual, del 10,4 %, i l'increment dels costos dels materials i dels equipaments aquest valor no es tan elevat.

Taula 105: Balanç energètic mensual de l'escenari 2.

Consum elèctric de la UIB a l'any 2021 (MT)			Cas Jai	Pantaleu	Aljub General	Aparcament de l'Anselm Turmeda	Caminal d'Eivissa	Caminal de Formentera	Caminal de Cabrera	MWh (Generació mensual PV)	MWh (Demanda neta)
Consum elèctric Mensual UIB	kWh	MWh	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes
Gener	942512	942,512	59,3	94,76	28,707	104,911	15,85	37,14	87,5	428,1	514,4
Febrer	833714	833,714	67,7	107,877	32,981	129,12	20,464	48,201	112,9	519,2	314,5
Març	955763	955,763	98	155,643	48,343	201,863	33,376	78,208	183,7	799,2	156,6
Abril	793889	793,889	101,6	161,849	50,809	236,995	40,681	94,838	223,9	910,7	-116,8
Maig	728519	728,519	111,8	178,342	56,11	281,727	49,398	114,879	271,5	1063,7	-335,2
Juny	935298	935,298	112,9	180,196	56,713	294,024	52,011	120,982	285,4	1102,2	-166,9
Juliol	991626	991,626	114,3	182,609	57,276	292,741	51,849	120,514	284,4	1103,7	-112,1
Agost	791644	791,644	111,1	177,169	55,45	264,427	45,647	106,855	249,9	1010,5	-218,9
Setembre	815851	815,851	94	149,56	46,667	203,351	34,297	80,041	189,0	796,9	18,9
Octubre	811251	811,251	78,9	125,721	38,809	155,449	25,214	59,088	139,2	622,4	188,8
Novembre	772019	772,019	56,2	89,789	27,297	103,789	16,073	37,68	88,9	419,7	352,3
Desembre	873017	873,017	52	83,335	25,182	91,463	13,757	31,916	76,5	374,1	498,9
Total	10245103	10245,103	1057,8	1686,85	524,344	2359,861	398,617	930,343	2192,7	9150,5	3287,288
			Inversió neta	1.206.679,09 €	1.948.938,80 €	627.003,26 €	3.147.666,59 €	600.091,82 €	1.295.808,57 €	3.014.005,40 €	11.840.193,53 €
			Reducció d'emissions de CO ₂ /any (tones)	303,59	484,13	150,49	677,28	114,40	267,01	629,31	2626,21

ESCENARI 3: DESPLEGAMENT DE PLAQUES FOTOVOLTAIQUES A LES COBERTES DELS EDIFICIS DE LA UIB, A APARCAMENTS, I A ZONES DE TERRENY URBANITZABLE LLIURES

El tercer escenari, contempla el desplegament d'instal·lacions fotovoltaïques a les cobertes dels edificis *Gaspar Melchor de Jovellanos, Guillem Cifre de Colonya, Anselm Turmeda, Beatriu de Pinós, Antoni Maria Alcover i Sureda, i el Coberta del Campus Esport*, i el desplegament de 7 plantes fotovoltaïques de gran dimensió, en grans aparcaments (sobre pèrgoles i marquesines) i sobre superfícies lliures corresponents a terreny urbanitzable, en regim d'autoconsum a *Cas Jai, al Pantaleu, a l'Aljub General, a l'aparcament de l'Anselm Turmeda, al Caminal d'Eivissa, al Caminal de Formentera, i al Caminal de Cabrera*, permetent generar en total **11.195,17 MWh/any** que cobririen el **109 %** de la demanda energètica anual del Campus. Per tant, es cobriria la totalitat de la demanda energètica de la UIB, i es tindria un **excedent de generació d'uns 950 MWh/any** que es podria vendre.

Taula 106: Balanç mensual energètic i econòmic de l'escenari 3

Consum elèctric de la UIB a l'any 2021 (MT)			PV a les Cobertes	PV als aparcaments i terrenys grans	Generació mensual del conjunt	MWh (Demanda neta)
Consum elèctric Mensual UIB	kWh	MWh	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes	MWh/mes
Gener	942512	942,512	110,5	428,1	538,7	403,8
Febrer	833714	833,714	127,4	519,2	646,6	187,1
Març	955763	955,763	186,0	799,2	985,2	-29,4
Abril	793889	793,889	197,6	910,7	1108,3	-314,4
Maig	728519	728,519	221,5	1063,7	1285,2	-556,7
Juny	935298	935,298	225,1	1102,2	1327,3	-392,0
Juliol	991626	991,626	226,7	1103,7	1330,4	-338,8
Agost	791644	791,644	218,1	1010,5	1228,6	-436,9
Setembre	815851	815,851	180,0	796,9	977,0	-161,1
Octubre	811251	811,251	149,0	622,4	771,4	39,9
Novembre	772019	772,019	105,4	419,7	525,1	247,0
Desembre	873017	873,017	97,4	374,1	471,6	401,4
Total	10245103	10245,103	2044,6	9150,5	11195,2	-950,1
			Inversió neta	1.773.834,3 €	11.840.193,5 €	13.614.027,8 €
			Reducció d'emissions de CO ₂ (tones/any)	586,8	2626,2	3213

La instal·lació de plaques fotovoltaïques a les zones exposades al present escenari tindria associada una inversió neta (després d'imposts) de **13.806.703,01 €**, permetria **cobrir el 109 % de la demanda energètica anual de la universitat**, i alhora reduir en **3.213 tones les emissions de CO₂/any**. Aquesta reducció anual d'emissions de CO₂ dona lloc a que al final de la vida útil de la planta, **s'hagi evitat l'emissió de 80.325 tones de CO₂**. Si es considera que de mitja un arbre absorbeix uns 20 kg de CO₂ cada any [12], la instal·lació fotovoltaica que es proposa en aquest primer escenari permetria evitar l'emissió de la mateixa quantitat de CO₂ que serien capaços de captar 160.650 arbres cada any. Ara bé, observant la **Figura 72** es pot veure que durant els mesos més freds de l'any (novembre, desembre, gener i febrer) s'hauria d'adquirir al voltant del 30-40 % de la demanda energètica, mentre que des d'abril fins a setembre es tindria un excedent de generació de entre 200- 600 MWh/mes que es podria vendre. Per tant, a pesar de que s'obtingria un excedent net d'energia elèctrica a final d'any, la universitat no seria totalment independent energèticament.

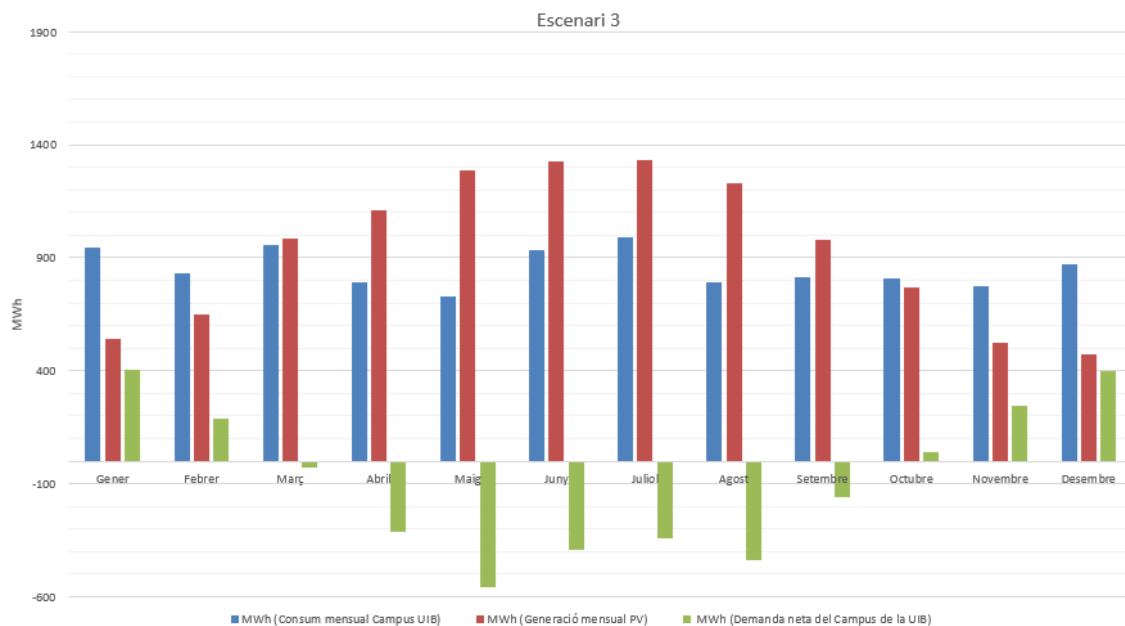


Figura 72: Binomi generació fotovoltaica i demanda del campus (2021), per l'escenari 3.

ESTIMACIÓ DE L'AMORTITZACIÓ DE L'ESCENARI 3

El conjunt d'instal·lacions fotovoltaïques projectades en aquest escenari permetrien generar **11.195,2 MWh/any**, requerint una inversió inicial de **13.614.027,8 €**. La **vida útil** de la planta s'ha prefixat en **25 anys** i la taxa de descompte (t_d) en un **7,6 %**, d'acord a l'indicat al Capítol 3 del present estudi. A fi de determinar si la generació elèctrica obtinguda a partir de la proposta de pre-disseny de planta fotovoltaica permet recuperar o no la inversió inicial s'ha portat a terme un anàlisi de la rendibilitat de la planta, on s'ha determinat el període d'amortització. A continuació, es presenten dos escenaris d'amortització de la planta fotovoltaica, associats amb dos preus mitjos horaris de l'electricitat (P_{mitja} [€/kWh]) per als 6 períodes de la tarifa 6.1TD. El primer preu considerat es de 0,09699 €/kWh, que es correspon al preu mitjà de l'electricitat previ a la crisi energètica iniciada en 2021, mentre que el segon valor considerat es de 0,15429 €/kWh (preu mitjà de l'electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021). Aquest darrer escenari es correspon amb un escenari a mig i llarg termini on s'espera que els preus mitjos de electricitat s'estabilitzin un cop es superi l'actual crisi energètica i es progressi en la transició energètica de la Unió Europea (UE).

Taula 107. Resultats de l'amortització de les instal·lacions fotovoltaïques a desplegar a l'escenari 3, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,09699 €/kWh.

Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]	Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]	Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]	(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]	(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]	(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]	(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]
0 %	13.614.027,80 €	0,00 €	17,78	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-5.542.137,79 €	2,28
25 %	10.210.520,85 €	3.403.506,95 €	13,33	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-2.138.630,84 €	5,02
50 %	6.807.013,90 €	6.807.013,90 €	8,89	16,40	1.264.876,11 €	9,72
60 %	5.445.611,12 €	8.168.416,68 €	7,11	11,01	2.626.278,89 €	12,91
70 %	4.084.208,34 €	9.529.819,46 €	5,33	7,25	3.987.681,67 €	17,92
75 %	3.403.506,95 €	10.210.520,85 €	4,44	5,72	4.668.383,06 €	21,80
80 %	2.722.805,56 €	10.891.222,24 €	3,56	4,35	5.349.084,45 €	27,51

Taula 108. Resultats de l'amortització de les instal·lacions a desplegar a l'escenari 3, per un preu mig horari de l'electricitat de 0,15429 €/kWh.

<i>Percentatge de cofinançament públic (s_p) de la Inversió inicial (I_0) [%]</i>	<i>Inversió inicial UIB (I_{0_UIB}) [€]</i>	<i>Inversió inicial GOIB (I_{0_GOIB}) [€]</i>	<i>(PRI) Període de retorn de la inversió simple [Anys]</i>	<i>(PRID) Període de retorn de la inversió descomptat [Anys]</i>	<i>(VAN) Valor Actual Net de la inversió als 25 anys [€]</i>	<i>(TIR) Taxa Interna de Rendiment als 25 anys. [%]</i>
0 %	13.614.027,80 €	0,00 €	11,17	No s'amortitza en la vida útil de la planta	-773.405,98 €	6,92
25 %	10.210.520,85 €	3.403.506,95 €	8,38	14,62	2.630.100,97 €	10,51
50 %	6.807.013,90 €	6.807.013,90 €	5,59	7,72	6.033.607,92 €	17,03
60 %	5.445.611,12 €	8.168.416,68 €	4,47	5,76	7.395.010,70 €	21,66
70 %	4.084.208,34 €	9.529.819,46 €	3,35	4,05	8.756.413,48 €	29,23
75 %	3.403.506,95 €	10.210.520,85 €	2,79	3,29	9.437.114,87 €	35,22
80 %	2.722.805,56 €	10.891.222,24 €	2,23	2,56	10.117.816,26 €	44,18

Analitzant el primer escenari on es considera un preu mitjà de l'electricitat de 0,09699 €/kWh, un valor semblant al que hi havia abans de la crisi energètica del 2021, es pot veure que la inversió en aquesta planta no es viable econòmicament per part de la UIB sense un cofinançament públic. Concretament, es requereix com a mínim d'un 50 % de cofinançament per tal de que la inversió sigui viable econòmicament. Ara bé, s'ha de dir que amb un cofinançament inferior al **75 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys, fet que converteix la tasca d'aconseguir finançament d'entitats bancàries, per poder assumir la part d'inversió inicial per part de la UIB, en inviable o molt complicada. En aquest primer escenari es requeriria d'un **cofinançament públic del 75 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 5,72 anys**, i un **VAN de 4.668.383,06 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 21,8 %**, superior a la $t_d=7,6 \%$.

En el cas del segon escenari, presentat a la [\[Error! No se encuentra el origen de la referencia.\]](#), amb un preu mitjà de l'electricitat de 0,15429 €/kWh, que correspon amb una estimació del preu de electricitat un 59 % superior al previ a la crisi energètica de 2021, els resultats mostren com la inversió en aquesta planta per part de la UIB podria ser viable a partir d'un cofinançament públic del 25 %. Ara bé, sense un cofinançament públic d'almenys el **60 %** els períodes d'amortització son superiors als 7 anys el que fa inviable o molt difícil que la UIB pugui aconseguir finançament d'entitats bancàries per afrontar la seva part de la inversió inicial. En aquest segon escenari es requeriria d'un **cofinançament públic d'almenys el 60 %**, el que permetria aconseguir un **període d'amortització descomptat de 5,76 anys**, menor a 7 anys, i un **VAN de 7.395.010,70 €** al final de la vida útil de la planta amb una **rendibilitat del 21,66 %** superior a la $t_d=7,6 \%$.

PETJADA DE CARBONI DE LA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

L'energia solar fotovoltaica és una font d'energia renovable que te l'avantatge que una vegada instal·lada no genera emissions d'efecte hivernacle. Ara bé, cal tenir en compte que el desplegament material dels projectes fotovoltaics té embegut un impacte ambiental negatiu inicial important. A més, el propi manteniment de la instal·lació, al transcurs de la vida útil, també implica un impacte ambiental que cal considerar.

En aquest apartat s'analitzarà de forma simplificada la petjada de carboni de la tecnologia de generació elèctrica proposada al present estudi, valorant tant els impactes positius com els negatius, a fi d'obtenir un balanç global que permeti valorar objectivament els principals beneficis que comporta la seva utilització.

El primer aspecte a considerar és la petjada de carboni de la pròpia instal·lació de producció de cada un dels components de la instal·lació fotovoltaica, com serien els panells, les estructures de suport, els inversors, etc... Així doncs, per cada un d'aquests elements s'ha de considerar el "subministrament de matèries primeres", el "transport" i la "fabricació", analitzat totes les etapes del seu cicle de vida des de l'origen fins al punt de producció. Segons dades del parlament britànic [13] es pot estimar que les emissions de la tecnologia solar fotovoltaica -avaluant tot el seu cicle de vida- es troben al voltant del rang de 100-50 [gCO₂ eq. / kWh].

Pel que fa a les emissions associades amb el consum elèctric, segons dades publicades a l'informe del sistema elèctric de l'any 2021 publicat per Red Eléctrica de España [3], les emissions de gasos d'efecte hivernacle del sistema elèctric espanyol l'any 2021 varen ser de ~0,14 [kg CO₂ eq. / kWh], un valor pràcticament igual que el de l'any 2020, i lleugerament inferior als 0,19 [kg CO₂ eq. / kWh] de l'any 2019. A més, es va aconseguir cobrir el 48,4 % de la demanda amb tecnologies eficients i lliures d'emissions de CO₂.

Pel que fa a l'anàlisi d'aquestes dades, cal destacar que el programari PVsyst integra aquestes variables, aportant les dades concretes de cada una de les instal·lacions de forma individual. Així doncs, el present informe exposa, de forma detallada, la petjada de carboni de cada una de les instal·lacions, a més de les dades concretes d'estalvi d'emissions de CO₂.

CONCLUSIONS

Tal com s'ha mencionat al començament del present estudi la Universitat de les Illes Balears fa temps que ve treballant en un pla per la instal·lació de generació fotovoltaica als diferents edificis del campus, en el marc del seu compromís per assolir la neutralitat climàtica a l'any 2030.

Ara bé, una cop analitzat el potencial real de generació fotovoltaica de les teulades dels diferents edificis del campus de la UIB, s'ha constatat com no es factible garantir l'acompliment de l'objectiu de descarbonització del campus només amb aquesta actuació; donat que la solarització de les teulades dels 6 edificis analitzats només reduiria en **586,8 tones de CO₂/any** les emissions del campus. En termes energètics, la solarització de les teulades dels 6 edificis analitzats només permetria generar **2044,6 MWh/any**, que servien per cobrir un **19,9 %** de la demanda anual del campus.

A la vegada, l'increment desmesurat de la factura energètica que ve fent front la UIB, des de mitjans de l'any 2021, varen conduir al Consell de Direcció de la UIB a aprovar un "pla per fer front a la situació d'emergència energètica" per a poder garantir l'activitat pròpia de la universitat, que va entrar en vigor el 14/03/2022, i que va permetre reduir la demanda del campus al voltant d'un **30 %**. Ara bé, inclús amb aquesta reducció de la demanda energètica el cost de la factura elèctrica s'ha

pràcticament triplicat per el mateix període respecte a l'any 2019. Per tant, la reducció de la demanda energètica que s'aconseguiria gràcies a les instal·lacions fotovoltaiques de les cobertes, es insuficient per poder garantir que els costos energètics no acabin impactant, amb el temps, sobre el correcte desenvolupament de l'activitat pròpia de la Universitat, com és la docència, la investigació i la transferència de coneixement. En conseqüència, es requerirà de la instal·lació de panells fotovoltaics addicionals en altres zones del campus.

Cal mencionar que les set propostes d'actuació que s'han analitzat al present estudi s'han alineat amb el que s'estableix als articles 52 "Autoconsum" i 53 "Aprofitament dels grans aparcaments en superfície i de les cobertes dels edificis" de la Llei 10/2019, de 22 de febrer, de "canvi climàtic i transició energètica" (BOIB núm. 27, de 2 de març de 2019). En concret, en el primer punt de l'article 52 "Autoconsum", s'estableix que les administracions públiques han de fomentar l'autoconsum d'energies renovables. Per altra banda, en el tercer punt de l'article 53 "Aprofitament dels grans aparcaments en superfície i de les cobertes dels edificis", s'estableix que s'han de cobrir amb plaques solars de generació fotovoltaica els espais destinats a les places d'estacionament de tots els aparcaments de titularitat pública en sòl urbà ubicats en superfície que ocupin una àrea total superior a 1.000 m². Aquest es el cas dels espais analitzats corresponents a l'aparcament de l'edifici Anselm Turmeda, i de les zones d'estacionament del Caminal de Formentera i del Caminal d'Eivissa abordades en el present estudi, **Figura 73**.

Els resultats del present estudi mostren que amb el desplegament de set grans instal·lacions fotovoltaiques en zones lliures i urbanitzables del campus, en regim d'autoconsum, es podria generar un total de **9.150,5 MWh/any**, una quantitat d'energia que permetria cobrir el **89,3 %** de la demanda energètica anual. Concretament, s'ha analitzat la instal·lació d'un conjunt de plantes fotovoltaiques als terrenys annexes a l'edifici de **Cas Jai, al Pantaleu, l'Aljub General, a l'aparcament de l'Anselm Turmeda, al Caminal d'Eivissa, al Caminal de Formentera, i al Caminal de Cabrera**.

Si s'analitza la combinació d'aquets dos escenaris, es a dir la implementació conjunta d'instal·lacions fotovoltaiques sobre les cobertes dels edificis, i la implementació de les set grans plantes, es pot veure que es podria generar uns **11.195,2 MWh/any**. Aquesta energia permetria cobrir el **109 %** de la demanda energètica anual de la universitat, i alhora reduir en **3.213 tones les emissions de CO₂/any** del campus. En conseqüència, es duria a terme un pas que permetria avançar significativament a la UIB en el seu compromís per assolir la neutralitat climàtica a l'any 2030.

Cal remarcar que la UIB ha encomanat a una consultora externa el anàlisi de la petjada de carboni de la universitat, a fi de complir amb l'establert en la Llei 7/2021, del 20 de maig, de canvi climàtic i transició energètica, i el decret 48/2021, de 13 de desembre, reguladora del registre balear d'empremta de carboni, que estableix que la inscripció de la petjada de carboni serà obligatòria per a les grans i mitjanes empreses que desenvolupin totalment o parcialment la seva activitat a la comunitat, l'administració autonòmica de les Illes Balears i el sector públic instrumental.

El desplegament dels diferents escenaris d'autoconsum analitzats impliquen la mobilització d'una gran quantitat de recursos financers, que requeriran d'un suport decidit i de la complicitat del Govern de les Illes Balears, com s'ha detallat al llarg del present estudi. Si bé és cert que a l'actualitat hi ha múltiples vies de finançament mitjançant subvencions públiques. També, cal mencionar que es considera necessari realitzar un estudi d'impacte ambiental del conjunt d'actuacions proposades. A la vegada, l'únic escenari que permetria assolir un reducció significativa de les seves emissions, i una certa sobirania energètica, és el que contempla el desplegament d'instal·lacions fotovoltaiques a les cobertes dels edificis, als diferents aparcaments i caminals, i a tres zones urbanitzables del campus altament antropitzades. Evidentment, aquest és l'escenari més costos i que requerirà un suport públic més gran, però dotaria a la UIB d'una relativa independència energètica que li permetria revertir la

situació d'emergència energètica, i aprofitar els potencials beneficis en impulsar altres mesures com podrien ser: la millora de l'eficiència energètica dels edificis de la UIB, el desplegament de mesures de mitigació i reducció de les emissions, etc.. Tot aquest conjunt de mesures encaminarien la tasca d'assolir la neutralitat climàtica de la UIB a l'any 2030, i convertirien a la UIB en una referència a nivell nacional i internacional en aquest àmbit.

Finalment, cal considerar que el present document és un estudi tècnic preliminar, de manera que el desplegament de qualsevol de les intervencions proposades requerirà de la redacció del necessari projecte tècnic, realitzat per tècnics competents, essent aquest el document requerit per les posteriors licitacions. A la vegada, donat l'elevat cost del conjunt de les actuacions, resultarà d'interès realitzar un estudi d'implantació i de planificació de les inversions.

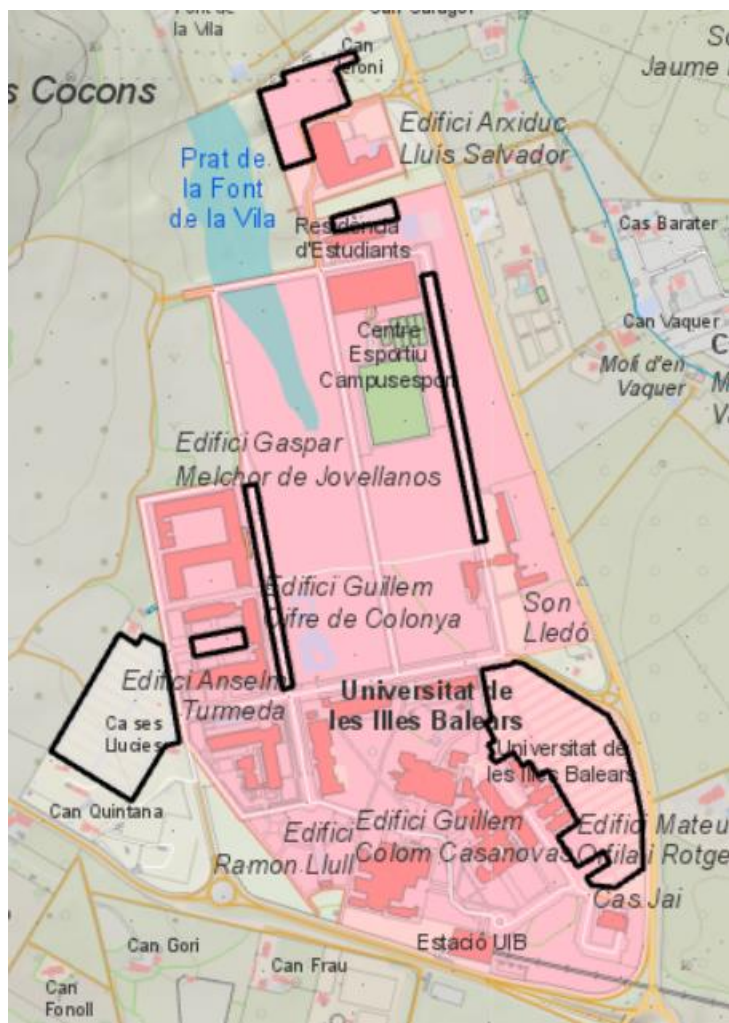


Figura 73. Zones d'aparcament de més de 1000 m² susceptibles ser cobertes amb plaques fotovoltaïques al campus de la UIB d'acord a la Llei 10/2019, de 22 de febrer, de "canvi climàtic i transició energètica". Font: IDEIB [14].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, "La Energía en España 2019," Madrid, 2019. Accessed: Dec. 01, 2022. [Online]. Available: <https://energia.gob.es/balances/Balances/LibrosEnergia/libro-energia-espana-2019.pdf>
- [2] Red eléctrica de España, "esios - Sistema de información del operador del sistema," *Red eléctrica de España*, 2022. <https://www.esios.ree.es/es?locale=es> (accessed Dec. 11, 2022).
- [3] Red Eléctrica, "Informe del Sistema Eléctrico Español 2021," Madrid, España, 2022. Accessed: Aug. 22, 2022. [Online]. Available: https://www.sistemaelectrico-ree.es/sites/default/files/2022-08/InformeSistemaElectrico_2021.pdf
- [4] "Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Comercio de derechos de emisión." <https://energia.gob.es/desarrollo/Medioambiente/CambioClimatico/Paginas/Comerciodederechosdeemision.aspx> (accessed Dec. 01, 2022).
- [5] "La Moncloa. 09/06/2020. Derechos de emisión de CO₂ para el periodo 2021-2030 [Consejo de Ministros]." <https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/Paginas/enlaces/090620-enlace-co2.aspx> (accessed Dec. 01, 2022).
- [6] *Energy crisis: How a Dutch market sets gas prices for the whole of Europe*. Euronews, 2022. Accessed: Dec. 01, 2022. [Online]. Available: <https://www.euronews.com/my-europe/2022/08/30/energy-crisis-how-a-dutch-virtual-market-sets-gas-prices-for-the-whole-of-europe>
- [7] "Liquefied natural gas infrastructure in the EU - Consilium." <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/lng-infrastructure-in-the-eu/> (accessed Dec. 01, 2022).
- [8] "Las reservas de gas en Europa alcanzan el 81%." <https://www.newtral.es/reservas-gas-europa-alcanzan-81/20220907/> (accessed Dec. 01, 2022).
- [9] "Crisis energética: ¿Por qué se disparan los precios del gas natural y cómo afectará a los europeos? | Euronews." <https://es.euronews.com/2021/10/21/crisis-energetica-por-que-se-disparan-los-precios-del-gas-natural-y-como-afectara-a-los-eu> (accessed Dec. 01, 2022).
- [10] D. C. Jordan and S. R. Kurtz, "Photovoltaic Degradation Rates-an Analytical Review," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 21, no. 1, pp. 12–29, Jan. 2013, doi: 10.1002/pip.1182.
- [11] Tim Sylvia, "Three year commercial solar project payback period expected through roof mount cost reductions," *PV Magazine*, 2022. <https://pv-magazine-usa.com/2022/04/15/three-year-commercial-solar-project-payback-period-expected-through-roof-mount-cost-reductions/> (accessed Aug. 29, 2022).
- [12] "Los árboles son los pulmones del mundo - Fundación Aquae." <https://www.fundacionaquae.org/los-arboles-los-pulmones-del-planeta/> (accessed Dec. 22, 2022).
- [13] UK Parliament, "Carbon footprint of electricity generation, June 2011," London, 2011. Accessed: Dec. 22, 2022. [Online]. Available: <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-383/POST-PN-383.pdf>

- [14] Conselleria Medi Ambient i Territori, "IDEIB Infraestructura de Datos Espaciales de las Islas Baleares," 2022. <https://ideib.caib.es/visor/> (accessed Dec. 19, 2022).

ANNEX
