

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Elèctrica

Títol: Instal·lació solar fotovoltaica d'un centre docent.

Document: 1. Memòria

Alumne: Adán Milla Morales

Tutor: Sergio Herraiz Jaramillo

Departament: Enginyeria elèctrica, electrònica i automàtica

Àrea: Enginyeria elèctrica

Convocatòria (mes/any): juny/2021

Índex

1.	Introducció	3
1.1.	Antecedents.....	3
1.2.	Objecte	3
1.3.	Abast	4
2.	Descripció de l'edifici	5
3.	Previsió de càrregues	6
3.1.	Enllumenat.....	6
3.2.	Força	7
3.3.	Resum de previsió de càrregues	7
4.	Instal·lació fotovoltaica.....	9
4.1.	Panells fotovoltaics	9
4.2.	Camp solar fotovoltaic	10
4.3.	Suports	10
4.4.	Inversor	11
4.5.	Proteccions.....	11
4.5.1.	Proteccions de CC.....	12
4.5.2.	Proteccions de CA.....	12
4.6.	Cablejat	12
4.7.	Canalitzacions	13
4.8.	Connexió a terra	14
4.9.	Equip de mesura.....	14
5.	Instal·lació elèctrica interior.....	15
5.1.	Interruptor de Control de Potència i General Automàtic	15
5.2.	Quadre general de protecció i comandament	15
5.3.	Distribució general	16
5.4.	Enllumenat interior.....	17
5.5.	Enllumenat d'emergència	18
5.6.	Posada a terra	18

6. Estalvi econòmic.....	19
7. Resum pressupost.....	28
8. Conclusions	29
9. Relació documents	30
10. Bibliografia.....	31
11. Glossari.....	32
A. Càlcul instal·lació fotovoltaica	33
A.1 Dimensionament camp solar	33
A.2 Dimensionament inversor	35
A.3 Dimensionament de conductors	37
A.4 Pèrdues per orientació i inclinació	39
A.5 Estalvi econòmic	40
B. Càlcul instal·lació interior	41

1. Introducció

Durant dècades tota l'energia del planeta es produïa amb l'explotació de combustibles fòssils com ara el petroli i el carbó o també, l'energia nuclear. Aquests tipus d'energies es consideren energies no renovables perquè la principal font d'energia que es consumeix no es recupera i per tant arriba a un punt que s'esgota. També presenta un impacte en la contaminació ambiental, ja que es genera diòxid de carboni produint el conegut efecte d'hivernacle.

L'aparició d'energies renovables com ara la solar fotovoltaica suposa un canvi en la forma de generar energia a través d'una font d'energia inesgotable, renovable, com és l'energia solar. A no generar cap mena d'emissions contaminants, fa que sigui un sistema molt utilitzat i que cada vegada s'està implementant més.

1.1. Antecedents

En els últims anys, la potència instal·lada d'energia solar fotovoltaica en Espanya a crescut fins a arribar a ser una de les fonts d'energies més utilitzades per produir electricitat actualment. Va ser en el 2019 quan es va arribar a una xifra rècord de 4.752 megawatts (MW) d'energia solar fotovoltaica. Això va generar un gran impacte econòmic i social, convertir-se en uns dels països líders quant a contribució en el sector fotovoltaic.

D'aquests 4.752 MW de potència instal·lada, 551 MW va ser utilitzada per autoconsum, duplicant la potència de l'any anterior. En definitiva, és un sector que va creixent a causa de la millora de la tecnologia i la regularització de noves legislacions fa que una instal·lació fotovoltaica resulta ser rendible econòmicament i ecològicament.

1.2. Objecte

El present projecte pretén especificar i justificar les característiques tècniques que ha de complir segons normativa una instal·lació de panells solars fotovoltaics amb la finalitat de generar i subministrar energia elèctrica a un centre docent situat a la localitat de Blanes. Els excedents d'energia que no es consumeixin es retornaran a la xarxa elèctrica per tal de rebre una compensació econòmica. Per altra banda, es pretén fer un estudi econòmic per veure l'estalvi i la viabilitat d'instal·lar plaques solars i poder determinar els anys d'amortització de la instal·lació.

1.3. Abast

L'abast del projecte serà el disseny i càlcul de la instal·lació solar fotovoltaica i la instal·lació elèctrica interior del centre. Quedarà fora del projecte la instal·lació d'enllaç perquè serà la companyia subministradora que es responsabilitza de la seva instal·lació.

2. Descripció de l'edifici

L'edifici on es pretén fer la instal·lació és un institut destinat al l'ensenyament obligatori i estudis posteriors, que segons la ITC-BT 28 es considera un local de pública concurrència. L'edifici està distribuït en tres plantes més un pàrquing subterrani amb una superfície total útil de 3.266 m², aproximadament. La seva localització és la indicada en la Taula 1, en els plànols adjunts es mostra la localització més exacte de la instal·lació.

Població	Blanes
Direcció	Carrer Joan Benjamí, 1, 17300
Latitud (graus decimals)	41,68
Longitud (graus decimals)	2,79

Taula 1. Localització del edifici

La coberta on es té previst la instal·lació dels mòduls fotovoltaics tindrà una petita desviació respecte al Sud (orientació òptima) de 25 graus cap a l'Est. La superfície total de la coberta és de 1.065 m² aproximadament. Superfície més que suficient per instal·lar tots els mòduls necessaris per cobrir gran part de la demanda de l'edifici.

De manera general, es descriurà la distribució de cada planta. Per veure amb més detall es pot consultar els plànols 3,4,5 i 6. El pàrquing serà exclusiu per professors i es podrà accedir des de l'exterior o pel interior per unes escales o ascensor. La planta baixa serà on estarà la secretaria, sales de professors, despatx de direcció, algunes aules, una biblioteca i un magatzem. També hi haurà un menjador i cuina per donar serveis de menjar a professorat i alumnes. Les següents plantes serà bàsicament on estaran les aules pel l'ensenyament a part de lavabos i diferents departaments.

3. Previsió de càrregues

La previsió de càrregues determinarà la potència, el nombre de mòduls a instal·lar i dóna una idea de la potència a contractar. Es divideixen en càrregues conegudes d'enllumenat i força.

3.1. Enllumenat

Serà tota la càrrega relacionada amb la il·luminació de l'edifici excloent les llums d'emergència perquè no funcionen de manera autònoma i no permanent.

Zona	Tipus de llum	Quantitat	Potència unitat (W)	Potència total (W)
Entrada	Lluminària LED Downlight	9	36,00	324,00
Sala quadres	Lluminària LED Downlight	1	36,00	36,00
Secretaria	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Direcció	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Administració	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Dept Psico	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Dept Cat/Cat	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Dept Mates	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Dept Ciències	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Sala professors	Lluminària LED Downlight	9	36,00	324,00
Magatzem	Lluminària LED Downlight	4	36,00	144,00
Biblioteca	Lluminària LED Downlight	15	36,00	540,00
Lavabo dones	Foc LED Downlight	5	8,00	40,00
Lavabo homes	Foc LED Downlight	6	8,00	48,00
Lavabo professors	Foc LED Downlight	16	8,00	128,00
Lavabo minusvàlid	Foc LED Downlight	6	8,00	48,00
Aula informàtica 1	Lluminària LED Downlight	9	36,00	324,00
Aula informàtica 2	Lluminària LED Downlight	9	36,00	324,00
Aules	Lluminària LED Downlight	198	36,00	7.128,00
Cuina	Lluminària LED Downlight	8	36,00	288,00
Menjador	Lluminària LED Downlight	27	36,00	972,00
Passadís i escales	Lluminària LED Downlight	77	36,00	2.772,00
Subterrani	Lluminària LED Downlight	25	36,00	900,00
Terrassa	Projector LED Premium	3	200,00	600,00
			TOTAL	15.948,00

Taula 2. Potència enllumenat

3.2. Força

Aquesta càrrega serà tots els receptors corresponents a ordinadors, projectors, electrodomèstics de cuina, aire condicionat i ascensor. La potència de cada màquina es coneix i per tant es pot representar en la següent taula.

Maquinària	N/U	Any	Quantitat	Potència Unitat (W)	Potència total (W)
Ordinador	N	2021	40	150,00	6.000,00
Impressora	N	2021	10	600,00	6.000,00
Projector	N	2021	26	50,00	1.300,00
Forn elèctric	N	2021	2	950,00	1.900,00
Microones	N	2021	1	900,00	900,00
Nevera	N	2021	2	350,00	700,00
Rentaplats	N	2021	2	2.200,00	4.400,00
Campana Extractor de cuina	N	2021	2	100,00	200,00
Ascensor	N	2021	1	4.500,00	4.500,00
Aire condicionat	N	2021	1	1.100,00	1.100,00
Assecador de mans	N	2021	9	1.500,00	13.500,00
				TOTAL	40.500,00

Taula 3. Potència de receptors de força

3.3. Resum de previsió de càrregues

La potència total a instal·lar serà la suma de les dues potències prèviament vistes. En la taula 4 es fa un resum d'ambdues i la potència final a instal·lar.

Descripció	Potència (W)
Enllumenat	15.948,00
Força	40.500,00
TOTAL	56.448,00

Taula 4. Resum de previsió de càrregues

Pel fet que no tots els receptors estaran connectades a la vegada i funcionant de manera permanent, s'ha d'estimar un coeficient de simultaneïtat. A tractar-se d'un institut on totes les aules, despatxos i zones comuns estarà totalment il·luminat, es considera que tots els llums estarà pràcticament encesos. Pel que fa a la càrrega de força, les hores de funcionament dependrà del horari lectiu de l'institut. La cuina estarà activa durant 4 hores mentre que les aules funcionarà pràcticament durant tota la jornada. En resum, es pot fer una estimació que la instal·lació estarà funcionant al 90%, establin així un coeficient de simultaneïtat de 0,9.

Aplicant aquest coeficient sobre la potència total instal·lada, queda una potència de 50.803 W aproximadament. Consultant l'annex 2 de la Guia de Vademècum, per subministraments superiors a 15 kW, la potencia a contractar serà de 55 kW.

4. Instal·lació fotovoltaica

En aquest capítol es descriu els diferents elements que compren la instal·lació solar fotovoltaica, complint amb els requisits establerts per les diferents legislacions aplicables.

4.1. Panells fotovoltaics

Els mòduls fotovoltaics tindran la capacitat de transformar l'energia d'irradiació del Sol en energia elèctrica gràcies a l'efecte fotovoltaic. Per aquesta instal·lació s'ha escollit els mòduls JKM400M-72H-V de la casa JINKO, de 72 cèl·lules de silici monocristal·lines, a causa del bon rendiment que ofereixen així com una potència nominal elevada que permet optimitzar la superfície de la coberta disponible. Cada mòdul serà capaç de transformar 400 W de potència amb una eficiència de gairebé el 20% i una garantia de producció de potència lineal fins a 25 anys. En les taules següents es mostra les principals característiques dels mòduls que s'instal·laran en la coberta de l'edifici.

Característiques elèctriques	Valor	Unitats
Potència màxima (Pmax)	400,00	W
Eficiència del mòdul	19,88	%
Tensió màxima potencia (Vmpp)	41,70	V
Tensió en circuit obert (Voc)	49,80	V
Intensitat màxima potencia (Impp)	9,60	A
Intensitat de curtcircuit (Isc)	10,36	A
Coeficient de temperatura Voc (β)	0,28	%/°C
Coeficient de temperatura Isc (α)	0,40	%/°C

Taula 5. Característiques elèctriques del mòdul fotovoltaic en condicions STC(radiació de 1kW/m²)

Característiques mecàniques	
Tipus de celes	Monocristal·lina
Dimensions	2008x1002x40mm
Pes	22,5kg
Estructura	Aliatge d'alumini anoditzat
Caixa de connexions	Classificació IP67

Taula 6. Característiques mecàniques del mòdul fotovoltaic

4.2. Camp solar fotovoltaic

El camp solar estarà format per un total de 126 mòduls fotovoltaics distribuïts en 14 panells connectats en sèrie amb 9 rames en paral·lel obtenint així una potència instal·lada de 50,4 kW.

Per obtenir la màxima captació d'energia solar es buscarà una inclinació que obtingui la perpendicularitat més gran amb els rajos del Sol sobre la superfície del panell. Per determinar la inclinació òptima, a tractar-se d'una instal·lació connectada a la xarxa es busca la màxima captació anual. És per això que es restarà 10 graus d'inclinació a la Latitud de la ubicació de l'edifici, quedant una inclinació (β) dels panells de 31,68°. Per facilitar el muntatge s'inclinaran els panells a 32°.

En instal·lacions situades a l'hemisferi Nord l'orientació ideal és al Sud. Desafortunadament, l'orientació de la coberta de l'edifici té una desviació respecte al Sud de 25° cap a l'Est per tant l'angle azimut (α) de la instal·lació serà de 25° negatiu.

Per tal d'evitar que es facin ombres entre panells quan el Sol té la inclinació més baixa a les primeres i últimes hores dels dies, s'instal·larà una fila respecte a l'altre a una distància de 2,10 m.

Potència total (W)	50.400
Número de panells	126
N.º de rames	9
Panells en sèrie	14
Tipus de instal·lació	General
Capacitat de orientació	Estàtics
Posició del panell	Vertical
Azimut, α (°)	-25
Inclinació, β (°)	32

Taula 7 Característiques del camp fotovoltaic

4.3. Suports

La coberta de l'edifici és totalment plana, en conseqüència, es necessitarà la instal·lació de suports amb inclinació regulable (entre 30 i 50°) mitjançant braç telescòpic per aconseguir la inclinació desitjada. Tota l'estructura on anirà fixat els panells serà del mateix material que els perfils dels panells, aliatge d'alumini anoditzat, mentre que tots els cargols i elements de subjecció serà d'acer inoxidable.

4.4. Inversor

L'inversor és l'element de la instal·lació que transforma el corrent continu provinent dels mòduls fotovoltaics en corrent altern. Aquest corrent altern serà la que donarà l'energia elèctrica suficient a l'edifici i en cas que hi hagi excedents de producció serà injectada a la xarxa.

Segons els requeriments de la instal·lació s'ha decidit seleccionar el model STT-50K/60KTL de la marca Sunways. Aquest inversor disposa de 6 entrades de punt de màxima potència (MPPT) amb 2 entrades cada una d'elles, fent un total de 12 entrades en corrent continu. Les 9 cadenes del camp fotovoltaic es distribuïran en 6 entrades MPPT no superant la intensitat màxima d'entrada. En la següent taula es mostra les característiques elèctriques necessàries pel seu dimensionament.

Inversor STT-50K/60KTL	
Entrada al inversor	
Potència màxima entrada(kW)	65,00
Rang de tensió MPPT (V)	200 -950
Tensió màxima (V)	1.100
Corrent màxima MPPT (A)	30
Numero d'entrades MPPT	6
Numero d'entrades CC	12 (2x6)
Sortida inversor	
Potència Nominal (kW)	50,00
Tensió (V)	3x400/230
Freqüència (Hz)	50/60
Intensitat màxima(A)	83,60
Factor de potència	0,80
Eficiència (%)	98,80
Distorsió harmònica (%)	<3%
Característiques mecàniques	
Dimensions(mm)	850x520x290
Pes(kg)	58
Índex de protecció	IP65

Taula 8. Característiques del inversor

4.5. Proteccions

Per tal de protegir la instal·lació de sobreintensitats i sobretensions es col·locaran dispositius de proteccions. Es dividirà la instal·lació en dos trams, el tram de corrent continu CC i el tram de corrent altern CA (sortida de l'inversor).

4.5.1. Proteccions de CC

A cada fila de mòduls (14 connectats en sèrie) es col·locarà una caixa portafusibles seccionables que protegirà individualment davant de sobreintensitats. Dita caixa estarà situat al primer panell de cada fila i protegirà el positiu i negatiu amb fusibles de 20A (10x85) tipus gPV i 1500 V.

A més dels fusibles mencionats es col·locarà 5 seccionadors manuals de 4 pols que permeti la desconexió en cas d'avaría o manteniment de cada fila. S'ubicarà en el quadre de l'inversor.

La protecció contra sobretensions es farà a través del inversor, ja que porta integrat descarregadors del tipus 2.

4.5.2. Proteccions de CA

La sortida de l'inversor serà un sistema trifàsic a 400 V amb intensitat marcada per la potència d'aquest. Aplicant els factors de correcció, la intensitat corregida de sortida és de 117,27 A. És per aquest motiu que es decideix posar un interruptor diferencial trifàsic (4 pols) de 30 mA de sensibilitat de 125 A i un interruptor automàtic de 125 A, 4 pols amb corba B.

La protecció contra sobretensions també quedarà protegida pel mateix inversor en tenir integrada descarregadors.

4.6. Cablejat

Per la connexió dels diferents elements de la instal·lació s'utilitzaran conductors de coure flexibles, amb aïllament i coberta de materials termoestables no propagadors d'incendi que es dimensionarà segons les ITC-BT 40 i 19. El cablejat de la instal·lació es dividirà en quatre trams segons el tipus de muntatge que haurà de complir amb la norma UNE 20460-5-523.

El tram 1 serà la connexió de mòduls connectats en sèrie de cada cadena a la caixa de connexions que es troba al final de cada fila. El cable tindrà, per cada cadena, una llargada de 16 m. Anirà per sota dels mòduls fixats directament en superfície (mètode instal·lació E) i haurà de ser resistent a la intempèrie, ja que estarà exposat a la radiació directa del Sol i a

temperatures extremes. S'utilitzarà cable unipolar de 6 mm² preparat per treballar en aquestes condicions amb rangs de temperatura entre -40 i 125 °C i una garantia de 25 anys. S'utilitzarà colors per identificar els conductors, vermell pel pol positiu i negre pel pol negatiu.

El tram 2 serà la connexió de la caixa de connexions de cada cadena de mòduls amb la caixa de distribució que servirà de baixant per connectar l'inversor. Aquesta caixa farà la funció de canviar el tipus de cable, ja que els conductors de l'interior de l'edifici tindrà altres condicions de treball i normativa aplicables. Tindrà una secció de 6 mm² i la llargada màxima que pot arribar és de 16 m. Les característiques d'aquest cable seran les mateixes que en el tram 1 ja que es troba a la intempèrie.

El tram 3 serà la baixant que connecta la caixa distribuïdora amb l'inversor i anirà en interior de tub fixat a la paret (mètode instal·lació B1). El cable serà unipolar de coure de 6 mm² amb aïllament de polietilè reticulat (XLPE) amb una longitud total de 12 m.

El tram 4 serà el que finalment connecta l'inversor amb el QGCP, passant pels elements de protecció i el comptador de mesura fotovoltaic. Com és la sortida de l'inversor, serà un sistema trifàsic amb tres fases i neutre amb tensió de 400/230 V. S'utilitzarà cables unipolars de 35 mm² amb les mateixes característiques que el tram 3 amb una longitud de 3 m.

Tram	Secció (mm ²)	Tipus
1 (Panells - Porta fusibles de fila)	2x6	Unipolar PV ZZ-F
2 (Porta fusibles - Caixa de distribució)	2x6	Unipolar PV ZZ-F
3 (Caixa de distribució - Inversor)	2x6	Unipolar RZ1-K
4 (Inversor – Quadre General)	3x35+35	Unipolar RZ1-K

Taula 9. Seccions de cada tram

4.7. Canalitzacions

Per cada tram el muntatge dels tubs serà diferent. Pel tram 1, com s'ha comentat en l'apartat anterior, els cables aniran fixats per sota els panells agafats per brides als suports d'aquests.

El tram 2, els cables anirà sota tub de 25 mm de diàmetre des de la caixa de connexions i portafusibles de cada fila de panells fins a la caixa de distribució.

El tram 3 anirà des de la caixa de distribució fins a l'inversor que es troba a la planta baixa. Per això, aquest tram es farà amb dos tubs fixats a la paret de 63 mm de diàmetre exterior cadascú que baixaran verticalment fins a arribar a la planta baixa on es troba l'inversor.

El tram 4 serà el que va de l'inversor al quadre general. Aquest tram es farà amb tub de 110 mm de diàmetre en superfície agafat per abraçadores collades a la paret.

4.8. Connexió a terra

Es connectarà a massa tota l'estructura metàl·lica dels panells garantint en tot moment la continuïtat amb el marc d'alumini de cada mòdul. La connexió es farà amb terminal rodó, de panell a panell amb cable de secció 6 mm² fins a la caixa de connexió de cada fila de panells, i aquesta anirà a la caixa de terra del quadre on es troba l'inversor. De l'inversor es connectarà al born principal de terra, junt amb la instal·lació interior, amb cable de 16 mm².

4.9. Equip de mesura

Per poder controlar en cada moment l'energia total cedida a la xarxa elèctrica i a la vegada la consumida per la instal·lació s'instal·larà un comptador bidireccional trifàsic. Aquest comptador s'ubicarà en la planta baixa a prop del quadre general. L'accés al recinte és a través d'una porta que estarà tancada amb clau i només tindrà accés personal autoritzat.

Per les característiques que reuneix la instal·lació i segons el Reial decret 900/2015, pel fet de ser una instal·lació d'autoconsum tipus 2, s'haurà de registrar la instal·lació en el RAIPRE (Registro Autonómico de Instalaciones de Producción en Régimen Especial).

5. Instal·lació elèctrica interior

En aquest capítol es descriurà les característiques tècniques que ha de tenir la instal·lació interior fent complir en tot moment les especificacions del reglament de baixa tensió així com altres normatives d'aplicació.

5.1. Interruptor de Control de Potència i General Automàtic

En aquest cas, l'interruptor de control de potència (ICP) s'ubicarà dins del quadre del quadre general de comandament i protecció (QGCP). La seva funcionalitat és limitar la potència que es té contractada, que és de 55 kW. La intensitat nominal serà de 160 A amb un poder de tall de 10 kA. El corrent assignat per la part tèrmica és de 80 A i per la part magnètica la seva intensitat serà 5 vegades a la regulació tèrmica, és a dir, 400 A.

Per la protecció en casos de sobrecàrregues i curtcircuits es té previst instal·lar un interruptor general automàtic (IGA) de 160 A d'intensitat nominal, de 4 pols amb tall unipolar. S'instal·larà en la capçalera del quadre general de protecció i comandament.

5.2. Quadre general de protecció i comandament

El quadre general de comandament i protecció (QGCP) és la part de la instal·lació d'enllaç que connecta la derivació individual amb els circuits interiors de la instal·lació. S'ubicarà el més prop a possible de l'entrada de la derivació individual a una alçada del terra d'1,5 m tal com estableix la ITC- BT-17. Dins d'aquest quadre es col·locaran, a part de l'ICP i l'IGA explicat en el subcapítol anterior, tots els dispositius de comandament i protecció d'on partiran els circuits interiors.

Els circuits interiors es protegiran contra sobreintensitats i curtcircuits amb petits interruptors automàtics (PIA) amb tall unipolar. S'instal·laran un per cada línia. També es preveu la instal·lació d'un dispositiu per protegir la instal·lació de sobretensions a causa de descàrregues atmosfèriques.

Per protegir a les persones de contactes indirectes s'instal·larà interruptors diferencials per desviar el corrent de fuga a terra. S'instal·laran un interruptor diferencial per cada grup de línies.

En taula 10 es presenta els diferencials instal·lats per cada conjunt de línies.

Dispositiu	Línies	Calibre (A)	Sensibilitat (mA)	Pols
Diferencial 1	L1,L2,L3,L4 i L5	63	30	2
Diferencial 2	L6,L9,L10, L11 i L12	63	30	2
Diferencial 3	L7 i L8	63	300	4
Diferencial 4	L13,L14 ,L15, L16 i L17	63	30	2
Diferencial 5	L18, L19, L20, L21 i L22	63	30	2

Taula 10. Interruptors diferencials segons grup de línies

La sensibilitat dels interruptors diferencials que protegeixen càrregues trifàsiques, com l'ascensor i l'aire condicionat, són de 300 mA.

5.3. Distribució general

Els circuits interiors que alimenta els diferents receptors de l'edifici, sortiran del quadre general en un total de 22 línies. Estaran repartides de la següent manera: 2 línies trifàsiques per alimentar ascensor i equip de fred, 9 línies pels endolls d'ús general i 10 línies per l'enllumenat general amb alimentació monofàsica. Es reserva una línia per l'enllumenat d'emergència també monofàsica.

En la Taula 11 es detalla les característiques de cada línia amb el seu magnetotèrmic corresponent. Tots tenen un poder de tall de 6 kA, complint així el mínim exigint per la ITC-BT-17.

Nom Línia	Potència (W)	Secció (mm ²)	PIA (A)	Pols
L1 Llum planta baixa	1.840	2x2,5+2,5	10	2
L2 Llum cuina i menjador	1.860	2x2,5+2,5	10	2
L3 Llum passadís i escales 1	1.332	2x2,5+2,5	10	2
L4 Ordinadors i impressores	3.900	2x4+4	16	2
L5 Ordinadors i impressores 2	3.900	2x4+4	16	2
L6 Lavabos 1	4.500	2x4+4	16	2
L7 Ascensor	4.500	2x2,5+2,5	20	4
L8 Aire condicionat	1.100	2x2,5+2,5	20	4
L9 Forn, nevera, microones	3.700	2x2,5+2,5	16	2

Taula 11. Repartiment de línies i assignació de magnetotèrmics

Nom Línia	Potència (W)	Secció fase (mm ²)	PIA (A)	Pols
L10 Rentaplats	4.400	2x2,5+2,5	16	2
L11 Llum subterrani	900	2x2,5+2,5	10	2
L12 Llum primera planta 1	1.584	2x2,5+2,5	10	2
L13Llum primera planta 2	1.656	2x2,5+2,5	10	2
L14 Llum passadís i escales 2	1.152	2x2,5+2,5	10	2
L15 Aules 1	3.100	2x4+4	16	2
L16 Lavabos 2	4.500	2x4+4	16	2
L17 Llum segona planta 1	2.056	2x2,5+2,5	10	2
L18 Llum segona planta 2	2.088	2x2,5+2,5	10	2
L19 Llum passadís i escales 3	1.152	2x2,5+2,5	10	2
L20 Aules 2	2.800	2x4+4	16	2
L21 Lavabos 3	4.500	2x4+4	16	2
L22 Llum d'emergència	564	2X1,5+1,5	10	2

Taula 12. Repartiment de línies i assignació de magnetotèrmics

5.4. Enllumenat interior

Per la il·luminació interior de l'edifici s'utilitzarà receptors altament eficients amb tecnologia LED. El nombre de lluminàries i receptors serà definida pel compliment del nivell mínim d'il·luminació exigida pel Codi Tècnic de l'Edificació. El càlcul per saber el nombre de lluminàries s'ha realitzat en l'annex B.

Per l'enllumenat d'aules, passadís, menjador i despatxos s'ha utilitzat lluminària LED de 36 W, 3.000 lúmens amb llum blanca freda 6.000 K. Pels lavabos es té previst utilitzar foc LED de 8 W, 690 lúmens i llum blanca freda 6.000 K. Tots els receptors s'instal·larà en sostre fals i compliran amb les especificacions de la ITC-BT 44.

L'enllumenat del pàrquing es farà lluminària LED amb les mateixes característiques elèctriques que s'utilitza per a les aules. Aquestes lluminàries anirà sobre superfície amb grau de protecció IP 65, protegits contra humitat i pols. Finalment, la zona exterior s'utilitzarà tres projectors LED de 200 W de potència i 26.000 lúmens amb grau de protecció IP65.

El nombre i situació dels receptors de cada estança s'indicarà en els plànols adjunts.

5.5. Enllumenat d'emergència

Segons l'ITC-BT 28, l'edifici està classificat com a local de pública concurrència i en conseqüència, es tindrà previst instal·lar enllumenat d'emergència. L'enllumenat d'emergència té per objectiu assegurar, en cas d'una falta d'alimentació de l'enllumenat normal, la il·luminació del local i accessos fins a la sortida per garantir l'evacuació de l'edifici de forma segura en casos d'emergència. Dins d'aquest tipus d'enllumenat es troba l'enllumenat de seguretat.

S'ubicaran lluminàries d'emergència en totes les estances de l'edifici per tal de conduir les persones a la sortida més pròxima per la ruta d'evacuació. La ruta d'evacuació ha de tenir una il·luminació d'1 lux, com a mínim. També s'ubicaran llums d'emergència amb una il·luminació de 5 luxs com a mínim, en equips de protecció contra incendi i en el quadre general.

Les lluminàries que s'utilitzaran seran del LED amb 400 lúmens de la casa Legrand fabricades segons norma UNE-EN 60598-2-22.

5.6. Posada a terra

La posada a terra és la unió elèctrica, sense fusible ni protecció, d'una part del circuit elèctric mitjançant una toma de terra amb un elèctrode o grups d'elèctrodes amb els objectius d'assegurar que els dispositius de protecció actuïn correctament.

La posada a terra estarà formada per un conjunt de piquetes d'un metre de llargada unides per un cable de coure nu de 35 mm² enterrat com a mínim a 0,5 m de profunditat en un terreny fèrtil amb resistivitat de 50 $\Omega \cdot m$ segons ITC-BT-18. S'unirà elèctricament la posta a terra de la instal·lació fotovoltaica amb la instal·lació interior en el born principal de terra de l'edifici.

El valor de la resistència del terra és 20 Ω mesurada el dia 25 d'abril de 2021

6. Estalvi econòmic

Amb el software PVsyst s'ha realitzat la simulació de la instal·lació fotovoltaica introduint manualment els equips i materials necessaris. A l'executar la simulació ens genera un informe detallat de capacitat de producció de les plaques amb les seves pèrdues. En la figura 1 es mostra els resultats obtinguts.

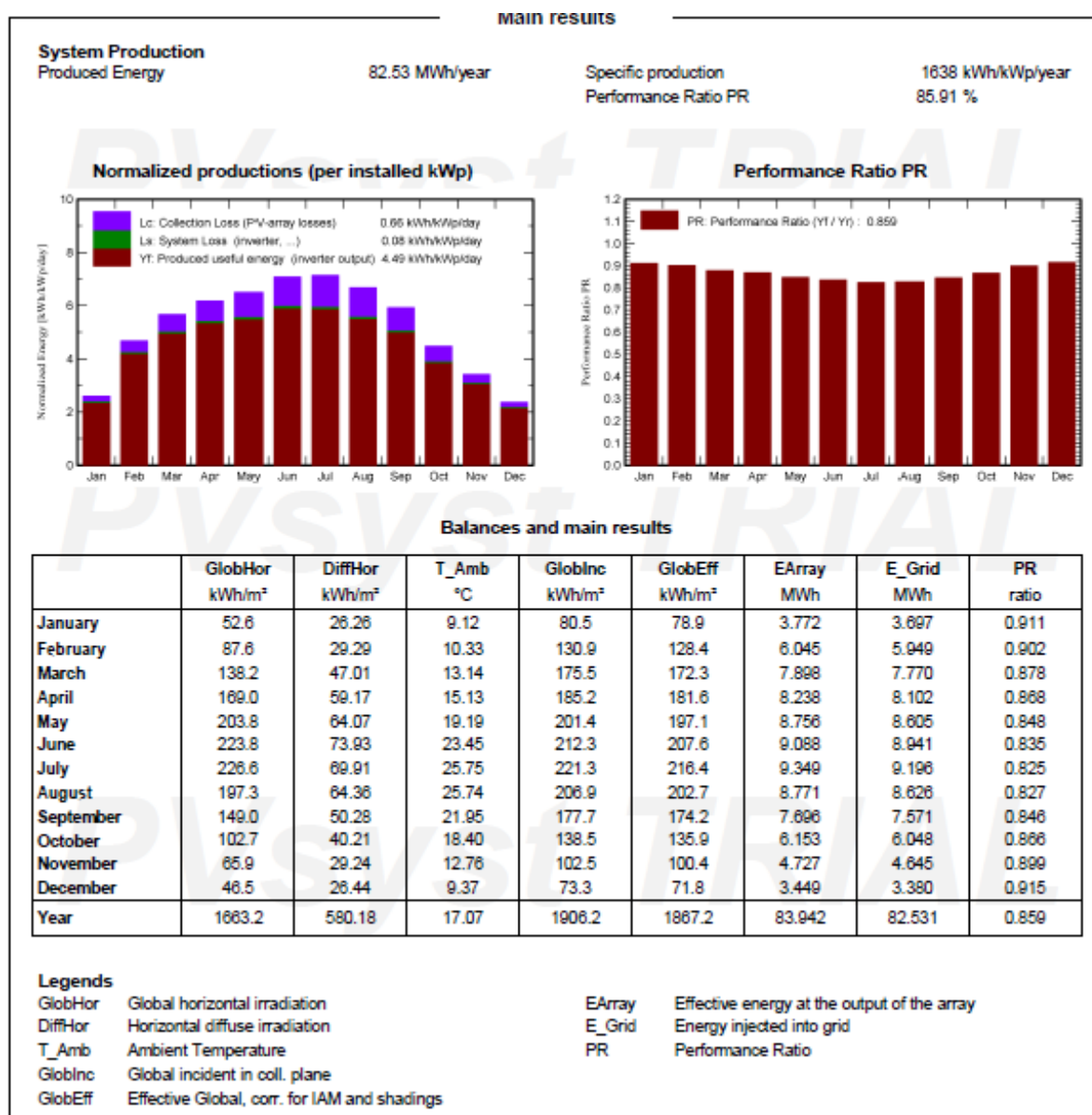


Figura 1. Resultats de simulació PVsyst (Simulació PVsyst, 2021)

Segons la simulació, PVsyst estima que la instal·lació fotovoltaica és capaç de produir 82,531 MWh d'energia al sistema amb un rendiment de pèrdues PR (Performance Ratio) de 85,91%.

Segons l'IDAE s'ha de realitzar el càlcul de la producció anual esperada en la instal·lació en funció de la potència instal·lada, la irradiància i el rendiment de la instal·lació (PR) i comparar-la amb la simulació. El PR varia en funció de la temperatura, del rendiment de l'inversor i les pèrdues en els conductors. Per això l'IDAE estima per instal·lacions sense bateries un valor de 0,7. Com es disposa d'un inversor amb entrades MPPT s'estima un PR de 0,8 per l'estiu i 0,85 per l'hivern.

Mes	Gdm(0,0) (kWh/m2)	Gdm(-25,32) (kWh/m2)	PR	Ep (kWh/mes)
Gener	52,60	80,50	0,85	3.448,62
Febrer	87,60	130,90	0,85	5.607,76
Març	138,20	175,50	0,85	7.518,42
Abril	169,00	185,20	0,85	7.933,97
Maig	203,80	201,40	0,85	8.627,98
Juny	223,80	212,30	0,80	8.559,94
Juliol	226,60	221,30	0,80	8.922,82
Agost	197,30	206,90	0,80	8.342,21
Setembre	149,00	177,70	0,85	7.612,67
Octubre	102,70	138,50	0,85	5.933,34
Novembre	65,90	102,50	0,85	4.391,10
Desembre	46,50	73,30	0,85	3.140,17
Total	1.663,00	1.906,00	0,84	80.038,98

Taula 13. Estimació de producció d'energia mensual i anual.

Segons aquesta estimació, la instal·lació genera uns 80 MWh a l'any, valor una mica inferior a la simulació del programa, 82,53 MWh. Això és a causa del paràmetre PR, el programa va variant el PR segons les dades meteorològiques d'irradiació i la temperatura ambient que es troba la instal·lació per cada època de l'any.

Una vegada s'obté l'energia produïda per la instal·lació fotovoltaica, serà necessari conèixer el consum de l'edifici. A partir de la previsió de càrregues s'ha estimat el consum en funció les hores i els mesos de més activitat. A tractar-se d'un edifici destinat a l'educació, les hores de més consum seran durant les hores de més Sol i en els mesos de calendari lectiu (setembre a juny). Segons aquestes estimacions es realitza una gràfica en un full de càlcul per obtenir la gràfica de la figura 2.

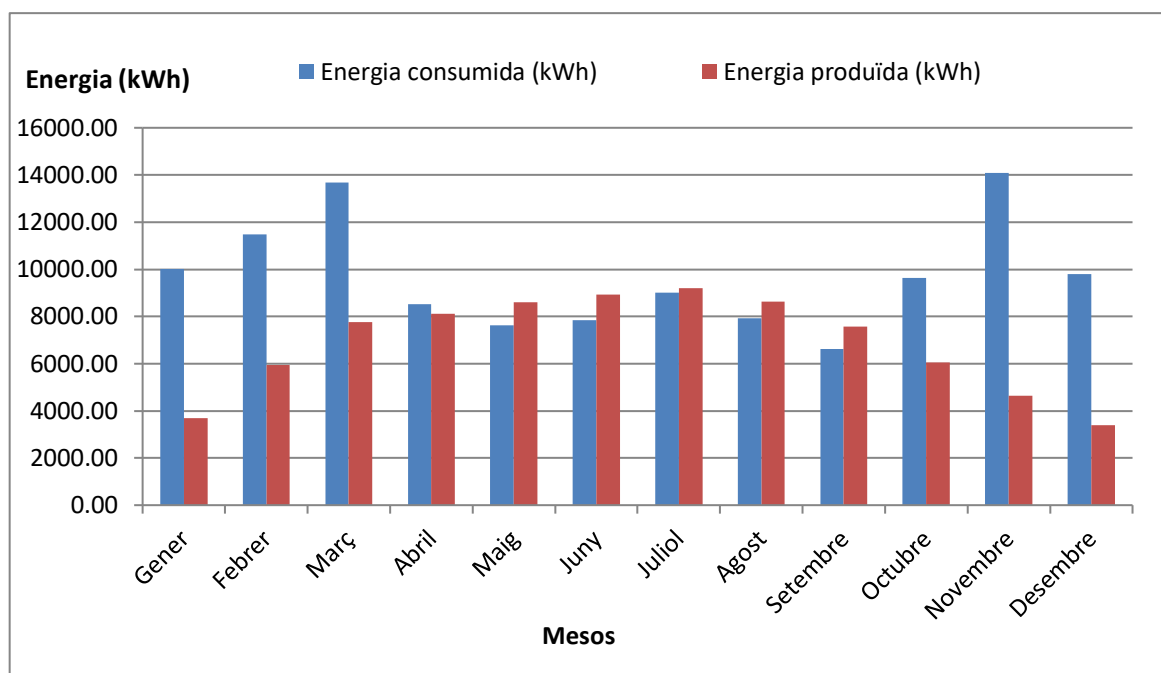


Figura 2. Energia consumida i produïda de la instal·lació (Font pròpia).

D'aquesta gràfica es pot observar que en els mesos de menys consum, tota la demanda queda coberta per la producció de les plaques. En els mesos lectius, on hi ha més demanda, coincideix amb els mesos on hi ha menys irradiació del Sol. Per tant la instal·lació fotovoltaica aportarà, en alguns mesos (març i octubre), fins al 50% de la demanda de l'edifici. Des del punt de vista de rendibilitat, és interessant que no hi hagi molts d'excedents d'energia, ja que el preu de venda és molt més baix que el preu que compra l'electricitat. Surt més a compte pagar l'energia consumida compensada que vendre els excedents.

Conegut els consum dels edificis, que se suposaran que no hi haurà variacions al llarg del temps d'aquest estudi, és hora de saber el preu de l'electricitat actualment en Espanya. Es té previst que l'institut contractarà una tarifa per potències superior a 15 kW trifàsica amb discriminació horària de tres períodes: punta, vall i supervall. La tarifa amb discriminació horària té un gran benefici per instal·lacions amb autoconsum perquè les hores on és més cara l'electricitat (hores punta) és quan els panells genera més energia. Això permetrà que la instal·lació agafi menys energia de la xarxa elèctrica quan és més cara. En el cas de l'institut surt més beneficiós aquest tipus de tarifa perquè les hores amb més activitat és quan els panells generen energia i per tant tindrà una compensació econòmica millor.

Actualment, el preu d'energia per aquesta tarifa segons la web d'ENDESA és de: 0,1629 €/kWh en hores punta, 0,0985 €/kWh en hores vall i 0,0862 €/kWh en hores supervall.

A continuació es mostren les taules amb el consum en cada període de facturació i cost mensual que hauria de pagar l'institut pel consum d'energia sense instal·lació fotovoltaica. El consum total de l'edifici seria de 116,25 MWh amb un cost anual de 12.521,10 euros sense IVA ni costos fixos. Si apliquem els costos fixos: potencia contractada (0,1245 €/kW), lloguer comptador(9,69 €/any), peatge d'accés (0,044 €/kWh) i IVA, el cost total anual ascendeix a 16.742,50 euros.

Mes	Punta (kWh)	Vall (kWh)	Supervall (kWh)	TOTAL(kWh)
Gener	1.656,00	5.920,00	2.425,60	10.001,60
Febrer	1.712,00	7.644,80	2.132,80	11.489,60
Març	2.100,80	8.883,20	2.689,60	13.673,60
Abril	1.737,60	4.750,40	2.028,80	8.516,80
Maig	1.699,20	4.020,80	1.918,40	7.638,40
Juny	1.862,40	4.104,00	1.873,60	7.840,00
Juliol	2.076,80	4.894,40	2.046,40	9.017,60
Agost	1.848,00	4.185,60	1.897,60	7.931,20
Setembre	1.601,60	3.296,00	1.723,20	6.620,80
Octubre	2.571,20	4.936,00	2.134,40	9.641,60
Novembre	1.808,00	5.680,00	6.585,60	14.073,60
Desembre	1.552,00	6.352,00	1.904,00	9.808,00
Anual				116.252,80

Taula 14. Consums mensuals i anuals sense instal·lació fotovoltaica.

Mes	Punta (€)	Vall (€)	Supervall (€)	TOTAL(€)
Gener	269,76	583,12	209,09	1.061,97
Febrer	278,88	753,01	183,85	1.215,74
Març	342,22	875,00	231,84	1.449,06
Abril	283,06	467,91	174,88	925,85
Maig	276,80	396,05	165,37	838,21
Juny	303,38	404,24	161,50	869,13
Juliol	338,31	482,10	176,40	996,81
Agost	301,04	412,28	163,57	876,89
Setembre	260,90	324,66	148,54	734,10
Octubre	418,85	486,20	183,99	1.089,03
Novembre	294,52	559,48	567,68	1.421,68
Desembre	252,82	625,67	164,12	1.042,62
Anual				12.521,10

Taula 15. Cost mensual i anual sense instal·lació fotovoltaica.

De la producció d'energia de les plaques obtingudes en la simulació, es procedeix a repartir aquesta energia en diferents períodes de la tarifa. La producció d'energia quedarà repartida en les hores puntes i vall, quedant un 70% per hores punta i el 30% en hores vall. En el període supervall no hi haurà producció solar perquè són hores on no hi ha Sol. En la taula 16 es mostra com queda la producció solar en cada mes.

Mes	Punta (kWh)	Vall (kWh)	Supervall (kWh)	TOTAL(kWh)
Gener	2.587,90	1.109,10	0,00	3.697,00
Febrer	4.164,30	1.784,70	0,00	5.949,00
Març	5.439,00	2.331,00	0,00	7.770,00
Abril	5.671,40	2.430,60	0,00	8.102,00
Maig	6.023,50	2.581,50	0,00	8.605,00
Juny	6.258,70	2.682,30	0,00	8.941,00
Juliol	6.437,20	2.758,80	0,00	9.196,00
Agost	6.038,20	2.587,80	0,00	8.626,00
Setembre	5.299,70	2.271,30	0,00	7.571,00
Octubre	4.233,60	1.814,40	0,00	6.048,00
Novembre	3.251,50	1.393,50	0,00	4.645,00
Desembre	2.366,00	1.014,00	0,00	3.380,00
Anual				82.530,00

Taula 16. Producció d'energia per cada període

Si comparem la taula 14 amb la 16 es pot veure com, per exemple, el període d'hores punta es produeix més energia de la que es consumeix. Per tant en les hores que l'electricitat és més cara no s'està consumint res de la xarxa i els excedents d'energia es ven a la xarxa. Per la resta de períodes es compensarà la potència consumida amb les plaques de manera que s'obtindrà un estalvi econòmic.

Si de l'energia consumida (taula 14) restem l'energia produïda pels panells solars s'obté els resultats de la taula 17. Els valors negatius representen els excedents d'energia que es retorna a la xarxa. Gràcies a la implementació de les plaques l'energia que es consumeix anualment de la xarxa ha baixat del 116,25 als 34,38 MWh, és a dir, el 70% de la demanda es cobreix amb la instal·lació fotovoltaica. Si per cada període apliquem el preu d'electricitat corresponent i en el cas d'excedents el preu de venda, s'obtindrà el cost final que haurà de pagar l'institut a l'any. En la taula 18 es mostra quins són aquests costos, els nombres negatius representa l'estalvi, o millor dit, el preu que s'ha de compensar per energia

excedent a la xarxa. El preu per energia injectada a la xarxa és de 0,06481 €/kWh segons la web de REE (Red Elèctrica Espanyola).

Mes	Punta (kWh)	Vall (kWh)	Supervall (kWh)	TOTAL(kWh)
Gener	-911,20	4.819,77	2.425,60	6.334,18
Febrer	-2.418,99	5.874,38	2.132,80	5.588,19
Març	-3.294,69	6.570,85	2.689,60	5.965,76
Abril	-3.888,43	2.339,24	2.028,80	479,62
Maig	-4.276,11	1.459,95	1.918,40	-897,76
Juny	-4.346,23	1.443,16	1.873,60	-1.029,47
Juliol	-4.308,90	2.157,67	2.046,40	-104,83
Agost	-4.141,89	1.618,50	1.897,60	-625,79
Setembre	-3.655,70	1.042,87	1.723,20	-889,63
Octubre	-1.628,53	3.136,12	2.134,40	3.641,98
Novembre	-1.417,49	4.297,65	6.585,60	9.465,76
Desembre	-795,07	5.346,11	1.904,00	6.455,04
Anual				34.383,04

Taula 17. Consum mensual i anual amb panells solars.

Mes	Punta (€)	Vall (€)	Supervall (€)	TOTAL(€)
Gener	-59,05	479,50	211,18	631,62
Febrer	-156,77	584,41	185,69	613,32
Març	-213,53	653,70	234,16	674,33
Abril	-252,01	232,72	176,63	157,34
Maig	-277,13	145,24	167,02	35,13
Juny	-281,68	143,57	163,12	25,01
Juliol	-279,26	214,66	178,16	113,56
Agost	-268,44	161,02	165,21	57,79
Setembre	-236,93	103,75	150,03	16,85
Octubre	-105,55	312,00	185,83	392,28
Novembre	-91,87	427,55	573,36	909,04
Desembre	-51,53	531,86	165,77	646,10
Anual				4.272,37

Taula 18. Costos mensual i anuals amb panells solars.

El cost que finalment hauria de pagar l'institut és de 4.272,37 euros anuals més els impostos fixos, quedant així un total de 5.785,22 euros anuals. A partir d'aquí podem dir que amb la

instal·lació fotovoltaica l'edifici s'estalvia més d'un 30% en la factura de la llum anualment, passant dels 16.742,50 euros que pagava inicialment als 5.785,22 euros actuals.

Suposant que el consum es mantindrà constant durant el període d'estudi es preveu que l'estalvi serà de 10.957,28 euros a l'any. Ara es pretén veure quan recuperarem la inversió inicial amb aquest estalvi anual. Per això, s'ha de tenir en compte que el rendiment de les plaques baixa un 20% en 25 anys tal com diu el fabricant, doncs aquest estalvi anirà baixant al llarg del temps. El mateix fabricant dóna una pèrdua de potència lineal, considerant un quart de segle la pèrdua de potència serà de 0,8% anuals. En la figura 3 es mostra el rendiment lineal que ens marca el fabricant.

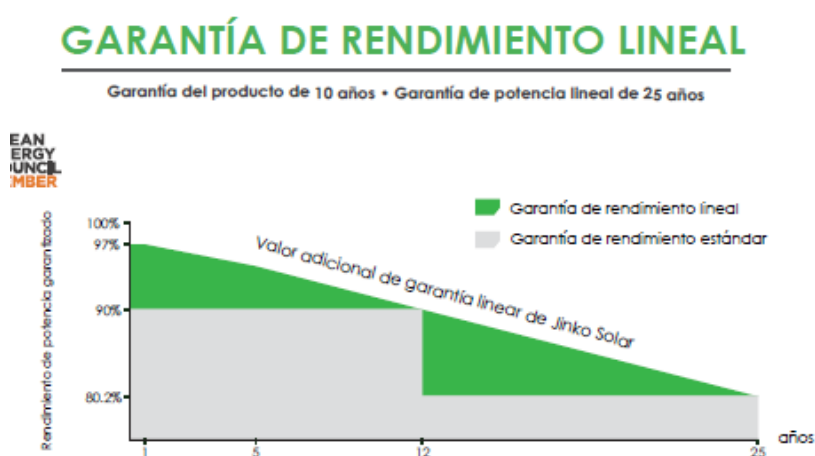


Figura 3. Garantía de rendimiento del módulo JKM400M-72H-V (Font: Jinko Solar)

A partir d'aquí es pot fer una estimació dels beneficis que obtindríem anualment i en quant de temps es recupera la inversió inicial per la instal·lació dels mòduls solars. La inversió inicial serà la indicada en el punt 2.1 del document pressupost, 45.846,12 euros. Per l'anàlisi de rendibilitat de la instal·lació, s'ha de reflectir totes les despeses al llarg de 25 anys. La primera despesa seria la inversió inicial indicada anteriorment. La segona despesa serà un fons de reserva de manera que passats els 25 anys s'hagi arraconat uns diners per poder canviar els panells solars, inversor o altre component. Aquest fons de reserva s'ha estimat que sigui de 25.000 euros perquè aquest seria el cost per canviar els panells solars i inversor. Això vol dir que cada any es reserva 1.000 euros perquè al final es pugui fer la reparació. Un altra despesa a considerar serà el cost de manteniment perquè la instal·lació funcioni correctament durant l'explotació. Aquest valor s'ha agafat un 4% de la inversió inicial, implicant que cada any s'ha de guardar 1.847,94 euros per tasques de manteniment.

Finalment, es calcula el flux de caixa anual i el valor actualitzat net (VAN). A partir del VAN es pot determinar si la inversió inicial del projecte surt rendible i en quin moment la instal·lació queda amortitzada. Si el VAN és positiu significa que estem guanyant diners i si és negatiu no és rendible. Es calcula a partir del flux de caixa, que s'obté dels ingressos anuals menys el cost de manteniment (1.847,94 €) i el fons de reserva(1.000 €). En els annexos de la memòria s'exposa la fórmula utilitzada.

En la taula 19 es fa un recull de totes les despeses i consideracions a tenir en compte. Amb l'ajuda d'un full de càlcul s'entra ells paràmetres i s'obté els resultats de la taula 20 i 21.

Paràmetres		Unitats
Producció Anual	82.530	kWh
Descens Producció	0,80	%
Cost Total	45.846,12	Euros
Preu kWh	0,1629	Euros
Preu Excedent kWh	0,06481	Euros
Fons de reserva	25.000	Euros
Cost Manteniment.	4,00	%
Interès	6,00	%

Taula 19. Costos mensual i anuals amb panells solars.

Any	Producció (kW-h)	Ingressos (€)	Fluix Caixa (€)	Benefici (€)	Valor Actualitzat Net (€)
1	82.530,00	10.957,28	-37.722,68	-37.722,68	-37.722,68
2	81.870,75	10.894,28	8.060,44	-29.662,24	-30.118,49
3	81.210,50	10.831,28	7.997,44	-21.664,80	-22.573,74
4	80.550,26	10.768,28	7.934,44	-13.730,36	-15.088,42
5	79.890,01	10.705,28	7.871,44	-5.858,92	-7.662,53
6	79.229,76	10.642,28	7.808,44	1.949,52	-296,08
7	78.569,51	10.579,28	7.745,44	9.694,96	7.010,94
8	77.909,26	10.516,28	7.682,44	17.377,39	14.258,52
9	77.249,02	10.453,28	7.619,44	24.996,83	21.446,67
10	76.588,77	10.390,28	7.556,44	32.553,27	28.575,39
11	75.928,52	10.327,28	7.493,44	40.046,71	35.644,67
12	75.268,27	10.264,28	7.430,44	47.477,15	42.654,52
13	74.608,02	10.201,28	7.367,44	54.844,59	49.604,93
14	73.947,78	10.138,28	7.304,44	62.149,03	56.495,92
15	73.287,53	10.075,28	7.241,44	69.390,47	63.327,46
16	72.627,28	10.012,28	7.178,44	76.568,91	70.099,57
17	71.967,03	9.949,28	7.115,44	83.684,35	76.812,25
18	71.306,78	9.886,28	7.052,44	90.736,79	83.465,50
19	70.646,54	9.823,28	6.989,44	97.726,23	90.059,31

Taula 20. Costos mensual i anuals amb instal·lació fotovoltaica.

Any	Producció (kW·h)	Ingressos (€)	Fluix Caixa (€)	Benefici (€)	Valor Actualitzat Net (€)
20	69.986,29	9.760,28	6.926,44	104.652,67	96.593,69
21	69.326,04	9.697,28	6.863,44	111.516,11	103.068,63
22	68.665,79	9.634,28	6.800,44	118.316,55	109.484,14
23	68.005,54	9.571,28	6.737,44	125.053,99	115.840,21
24	67.345,30	9.508,28	6.674,44	131.728,42	122.136,85
25	66.685,05	9.445,28	6.611,44	138.339,86	128.374,06

Taula 21. Costos mensual i anuals amb instal·lació fotovoltaica.

De les taules 20 i 21 es pot veure com a partir de l'any 7 el VAN és positiu. Això vol dir que a partir del setè any la inversió inicial de la instal·lació queda amortitzada per l'estalvi obtingut dels panells solars, donant com a conclusió que l'execució d'aquest projecte surt rendible. En la figura 4 es representa gràficament el comportament de la inversió i com es recupera aquesta ràpidament al setè any. Partint de la inversió inicial es va sumant per cada any el flux de caixa, obtenint així un benefici acumulat cada vegada més gran. Al final dels 25 anys s'obté un benefici de gairebé de 140.000 euros.

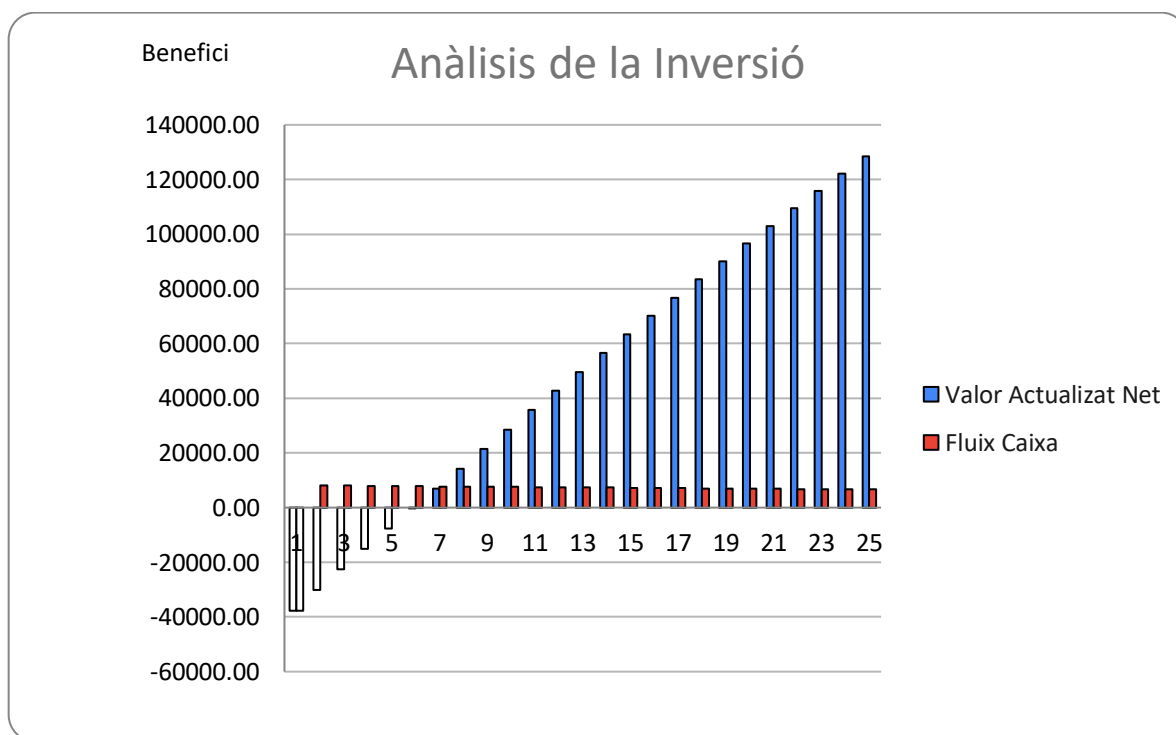


Figura 4. Anàlisi de la inversió inicial (Font pròpia).

7. Resum pressupost

L'import per la realització del present projecte és degut a l'adquisició d'equips i materials i mà d'obra pel muntatge de la instal·lació fotovoltaica i elèctrica. La suma total del projecte és setanta-tres mil dos-cents setanta euros amb vuit cèntims, sense IVA

8. Conclusions

Aquest projecte s'ha realitzat amb la finalitat d'aprofitar l'energia de Sol per produir electricitat i donar subministrament a un institut de manera que surti més econòmic.

La instal·lació fotovoltaica aporta anualment un 70% de la demanda total de l'edifici generant uns beneficis de 10.957,28 euros anuals al llarg de la seva vida útil, que són de 25 anys segons el fabricant. La producció d'energia anual és de 82,53 MWh, segons el PVsyst, aquesta xifra anirà disminuint a mesura que envelleixi la instal·lació. Tot i això, encara pot genera estalvis a causa que es compra menys energia a la companyia distribuïdora.

Pel muntatge de la instal·lació fotovoltaica calen 45.846,12 euros. En el moment que la instal·lació comença a funcionar el primer any ja obtenim beneficis. De tal manera que considerant una pèrdua de rendiment lineal, les taxes fixes per contracte d'energia i els manteniments necessari perquè funcioni correctament, la inversió inicial es recupera a partir del setè any de vida de la instal·lació. Uns dels objectius que es marcava aquest projecte era veure la rendibilitat de la instal·lació de plaques solars. Com s'ha vist en el capítol anterior aquesta discussió queda firmament garantida.

La instal·lació elèctrica s'ha elaborat tenint en compte les instruccions tècniques complementàries que recull el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió i les corresponents Normes UNE. En cap cas les caigudes de tensió supera els límits establerts pel reglament.

Adán Milla Morales
Graduat en Enginyeria Elèctrica

Girona, 07 de juny de 2021

9. Relació documents

Aquest projecte està constituït pels cinc documents següents: memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

10. Bibliografia

Agustín Castejón- Germán Santamaría Herranz, Instalaciones solares fotovoltaicas. Editex. Madrid.

Albert Figueres. Apunts de l'assignatura de Instal·lacions de Energies Renovables. Enginyeria elèctrica. Escola Politècnica superior. Universitat de Girona. Curso 2016 / 2017.

Crady, Fabricant de fusibles per fotovoltaica. (<https://tarifasgasluz.com/pymes/tarifas-luz/30> , 1 de maig de 2021).

CTE. Codi tècnic de l'edificació. Madrid. 2019.

Departament Solar del IDAE. Guia Professional de Tramitació del Autoconsum. Madrid. 2020.

IDAE. Plec de Condicions Tècniques de Instal·lacions Connectades a Xarxa. Juliol de 2011. Madrid.

JinkoSolar. Fabricant d'equips fotovoltaics. (<https://autosolar.es/paneles-solares/Jinko> , 10 d'abril de 2021).

José Moreno Gil. Reglamento Electrotècnic para Baja Tensió i Instruccions Tècnica Complementaries. Madrid. 2017.

Lorena Farràs Pérez. La Vanguardia. La energía solar brilla más que nunca en España <https://www.lavanguardia.com/natural/energia/20200726/482461474433/energia-solar-fotovoltaica-2019-renovables.html> , 2 d'abril de 2021).

REE. Red Elèctrica Espanyola. (<https://www.esios.ree.es/es/pvpc> , 10 de maig de 2021)

Sunways, Fabricant del inversor. (<https://www.sunways-tech.com/uploads/file1/20200810/STT-50~60KTL%20User%20Manual%20EN.pdf> pdf , 10 d'abril de 2021).

Tupersa, fabricant de canalitzacions. (<https://tupersa.com> , 7 de maig de 2021).

11. Glossari

CTE: Codi tècnic de l'edificació.

ICP: Interruptor de Control de Potencia.

IDAE: Instituto para la Diversificació y el Ahorro de la Energia.

IGA: Interruptor General d'Alimentació.

ITC: Instrucció tècnica complementaria.

MPPT: Seguidor del punto de màxima potencia.

PR: coeficient de rendiment, usat al estimar la producció de la instal·lació fotovoltaica.

PVGIS: sistema de informació geogràfica fotovoltaica que pertany al IET.

QGCP: Quadre General de Comandament i Protecció.

RAIPRE: Registro Administrativo de Instal·lacions de Producció en Règim Especial.

REE: Red Elèctrica Espanyola.

STC: Condiciones estàndard de mesura, amb que s'avaluen los panells fotovoltaics.

UNE: Una Norma Espanyola.

VAN: Valor Actualitzat Net.

A. Càlcul instal·lació fotovoltaica

En el següent annex es detalla els càlculs realitzats pel dimensionament de la instal·lació fotovoltaica.

A.1 Dimensionament camp solar

A continuació es determina la potència a instal·lar dels panells solars. Segons el Codi Tècnic de l'Edificació la potència mínima a instal·lar s'obté a partir de l'equació 1, sense superar una potència màxima amb l'equació 2.

$$P_{\min}=0,01 \cdot S \quad (\text{Eq.1})$$

$$P_{\lim}=0,05 \cdot S_C \quad (\text{Eq.2})$$

On:

S : superfície construïda del edifici: 3266,39 m²

S_C : superfície construïda de la coberta del edifici: 1065,3 m²

P_{min} : potència mínima a instal·lar, en kW.

P_{lim} : potència màxima a instal·lar, en kW.

Fent aquestes senzilles operacions, de seguida se sap quina és la potència que com a mínim s'ha d'instal·lar: 32,66 kW sense superar una potència màxima de 53,27 kW. Com que la potència a contractar de l'edifici és de 55 kW i tampoc es pot superar aquesta potència es decideix que la potència de la instal·lació fotovoltaica serà de 50 kW. Partint que els mòduls tenen una potència de pic de 400 W cadascú és fàcil saber el nombre de mòduls que necessitem per produir aquesta potència: 126 mòduls generant una potència de 50,4 kW.

Per determinar el nombre de cadenes i mòduls connectats en sèrie s'ha de tenir en compte que la intensitat i tensions del camp fotovoltaic estiguin dins del rang de treball de l'inversor. Dit això, és necessari calcular aquests paràmetres estimant uns valors de temperatures mínims i màximes, ja que la temperatura afecta les condicions de treball. Per això, s'ha

estimat unes temperatures extremes de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les tensions i intensitats de cada mòdul es calcula amb les equacions 3, 4, 5 i 6.

$$U_{OC(-10^{\circ}\text{C})}=U_{OC}+ \beta \cdot (-10-25) \quad (\text{Eq.3})$$

$$U_{mpp(-10^{\circ}\text{C})}=U_{mpp}+ \beta \cdot (-10-25) \quad (\text{Eq.4})$$

$$U_{mpp(70^{\circ}\text{C})}=U_{mpp}+ \beta \cdot (70-25) \quad (\text{Eq.5})$$

$$I_{SC(70^{\circ}\text{C})}=I_{SC}+ \alpha \cdot (70-25) \quad (\text{Eq.6})$$

On:

U_{OC} : tensió en circuit obert del mòdul: 49,8 V

U_{mpp} : tensió en el punt de màxima potència del mòdul: 41,7 V

I_{SC} : intensitat de curtcircuit del mòdul: 10,36 A.

β : coeficient de temperatura per tensió: 0,13944 V/ $^{\circ}\text{C}$

α : coeficient de temperatura per intensitat: 0,04144 A/ $^{\circ}\text{C}$

$U_{OC(-10^{\circ}\text{C})}$: tensió en circuit obert per una temperatura de -10°C : 54,68 V

$U_{mpp(-10^{\circ}\text{C})}$: : tensió en el punt de màxima potencia per una temperatura de -10°C : 46,58 V

$U_{mpp(70^{\circ}\text{C})}$: : tensió en el punt de màxima potencia per una temperatura de 70°C : 35,42V

$I_{SC(70^{\circ}\text{C})}$: : intensitat de curtcircuit per una temperatura de 70°C : 12,22 A.

Segons la informació que dona el fabricant, l'inversor té un rang de tensions de 200 i 950 V. A partir d'aquí es pot saber el nombre de cadenes en paral·lel i mòduls contactades en sèrie amb l'equació 7, 8 i 9.

$$N_{s.min} = \frac{U_{Inv.min}}{U_{mpp(70^{\circ}C)}} \quad (\text{Eq.7})$$

$$N_{s.max} = \frac{U_{Inv.max}}{U_{mpp(-10^{\circ}C)}} \quad (\text{Eq.8})$$

$$N_{p.max} = \frac{I_{Inv.max}}{I_{SC(70^{\circ}C)}} \quad (\text{Eq.9})$$

On:

$N_{s.min}$: numero mínim de mòduls en sèrie: 6 mòduls

$N_{s.max}$: numero màxim de mòduls en sèrie: 20 mòduls

$N_{p.max}$: numero màxim de cadenes en paral·lel: 10 cadenes.

$U_{Inv.min}$: tensió mínima de treball inversor: 200 V.

$U_{Inv.max}$: tensió màxima de treball inversor: 950 V.

$I_{Inv.max}$: intensitat màxima de treball inversor: 132 A.

Després d'aquests càlculs es decideix per un sistema de 9 cadenes de 14 mòduls connectats en sèrie fent un total de 126 panells amb una potència total de pic de 50,4 kW.

A.2 Dimensionament inversor

Primer s'ha comprovat que la potència màxima del generador fotovoltaic (50,4 kW) està dins del rang de treball de l'inversor. Segons la informació que dona el fabricant la potència màxima d'entrada és de 65 kW amb un rang de potència de sortida de 50 a 55 kW. Seguidament amb l'equació 10 es comprova que la tensió en buit d'una fila de 14 panells amb una temperatura de $-10^{\circ}C$ és de 765,52 V, no superant els 1.100 V màxims que suporta l'inversor.

$$U_{G,OC(-10^{\circ}C)} = U_{OC(-10^{\circ}C)} \cdot N_S \quad (\text{Eq.10})$$

On:

$U_{G,OC(-10^{\circ}C)}$: tensió en buit del generador fotovoltaic, en V

$U_{OC(-10^{\circ}C)}$: tensió en circuit obert del mòdul: 49,8 V.

N_S : numero de mòduls connectats en sèrie.

Amb el número de cadenes en paral·lel i mòduls connectats en sèrie es comprova amb l'equació 11 que els valors de tensions es troba dins els marges de MPPT de l'inversor (200-950 V), amb 495,95 V a 70 °C i 652,12 V a -10 °C.

$$U_{G,mp(T)} = (U_{mpp} + \beta \cdot (T - 25)) \cdot N_S \quad (\text{Eq.11})$$

On:

$U_{G,mp(T)}$: tensió màxima que arriba per una temperatura de -10°C i 70°C, en V.

U_{mpp} : tensió en el punt de màxima potencia, en V.

β : coeficient de temperatura per tensió: 0,13944 V/°C

T: temperatura extrema de 70°C i -10°C

N_S : numero de mòduls connectats en sèrie: 14 panells.

Per últim es comprova que les cadenes que van connectada a l'inversor les pugui suportar. L'inversor té 6 entrades MPPT amb dues entrades per cada una d'elles. Cada seguidor pot aguantar 30 A. Els tres primers seguidors aniran connectats a cada un d'ells dues rames de 14 panells, amb una intensitat total de 24,45 A. Mentre que els altres tres es connectarà una rama de 14 panells a cadascú, la màxima intensitat que circularà per aquesta rama serà de 12,22 A. En cap cas superem la intensitat d'entrada del seguidor de màxima potència. Es demostra amb l'equació 12.

$$I_{G,SC(70^{\circ}C)} = I_{SC(70^{\circ}C)} \cdot N_P \quad (\text{Eq.12})$$

On:

$I_{G,SC(70^{\circ}C)}$: intensitat de curtcircuit per una temperatura de $70^{\circ}C$ per cadenes en paral·lel, en A

$I_{SC(70^{\circ}C)}$: intensitat de curtcircuit per una temperatura de $70^{\circ}C$: 12,22 A.

N_p : numero de cadenes en paral·lel.

A.3 Dimensionament de conductors

Pel dimensionament dels conductors es realitzarà segons estableix la ITC-BT 40, es dimensionarà per una intensitat no inferior a 125% de la màxima del generador i la caiguda de tensió entre l'últim panell i la interconnexió amb la instal·lació interior no ha de ser superior a 1,5%. Es dimensiona per criteri de caiguda de tensió i intensitat màxima admissible. S'utilitzarà l'equació 13 per sistemes monofàsic (trams 1, 2 i 3) i l'equació 14 pel tram 4 per ser trifàsic.

$$S = \frac{200 \cdot I \cdot L \cdot \cos\varphi}{V \cdot \gamma \cdot \Delta U} \quad (\text{Eq.13})$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I \cdot L \cdot \cos\varphi}{V \cdot \gamma \cdot \Delta U} \quad (\text{Eq.14})$$

On:

I : intensitat màxima que hi circula pel conductor, en A.

L : longitud del tram, en m.

V : tensió de línia per trifàsic o tensió entre fase i neutre per monofàsic, en V.

$\cos\varphi$: factor de potència, adimensional.

γ : conductivitat del coure a la temperatura de servei: 45 s·m/mm².

ΔU : caiguda de tensió de la línia, en tant per cent.

Per cada tram s'ha repartit la caiguda de tensió proporcionalment a les longituds de cada tram. En la taula 22 es mostra com queda repartida la caiguda de tensió i la secció per cada tram de la instal·lació fotovoltaica.

Tram	Longitud(m)	Intensitat (A)	Tensió (V)	ΔU (%)	Secció (mm ²)	Secció normalitzada (mm ²)
1	16,00	15,28	495,95	0,51	4,29	6,00
2	16,00	15,28	495,95	0,51	4,29	6,00
3	12,00	15,28	495,95	0,38	4,29	6,00
4	3,00	117,27	400,00	0,10	28,29	35,00
TOTAL	47,00			1,50		

Taula 22. Càlcul de la caiguda de tensió de cada tram.

Ara, es comprova que la secció escollida del cable suporta la intensitat, considerant els factors de correcció d'1,25, el factor per agrupament i per estar exposada al Sol. Pels trams 1 i 2, a l'estar exposada al Sol i considerar una temperatura ambient de 50 °C s'aplicarà els factors de 0,9 i 0,89 respectivament. Pel tram 3 només s'aplicarà el factor d'agrupament de 0,7. I el tram 4 no s'aplica cap correcció, únicament l'1,25 que exigeix el reglament. Aplicant aquests factors queda la intensitat corregida que representa en la taula 23.

Tram	Tipus muntatge	Intensitat corregida (A)	Secció escollida (mm ²)	Intensitat del cable (A)
1	E	19,07	6,00	57,00
2	E	19,07	6,00	57,00
3	B1	21,82	6,00	46,00
4	B1	117,27	35,00	119,00

Taula 23. Comprovació d'intensitat.

Consultant la ITC-BT 19 es veu que efectivament la intensitat que aguanta el cable és superior a la que circula per la línia. Com a conclusió s'agafen les seccions per criteri de caiguda de tensió.

A.4 Pèrdues per orientació i inclinació

Les plaques tindran una inclinació de 32° i una orientació respecte al Sud de 25° cap a l'Est. Degut això la instal·lació presenta unes pèrdues per no estar orientat totalment al Sud. És per això, que cal estimar uns percentatges de pèrdues i veure que no superem uns límits establerts pel plec de condicions del IDAE.

Segons IDAE exigeix que les pèrdues entre orientació i inclinació i per ombres no siguin superiors a 15% a tractar-se d'una instal·lació del tipus general. Com que no hi ha cap edifici que origini ombres als panells solars es considerarà una pèrdua del 0%. Únicament hi haurà pèrdues per orientació i inclinació i no podran ser majors del 10%. Pel càlcul s'efectuarà el procediment que diu l'IDAE. L'edifici es troba a una latitud de 41,68°, es tomarà una latitud de 41 per facilitar els càlculs. Per aquesta latitud IDAE estima que per no superar el 10% de les pèrdues per orientació i inclinació els panells haurien de tenir una inclinació entre 7 i 54°. En la figura 5 es representa amb una ratlla quin seria aquests límits d'inclinació per una pèrdua de 10%. Amb una inclinació de 32° estaria dins dels límits i per tant s'espera que les pèrdues siguin inferiors al 10%.

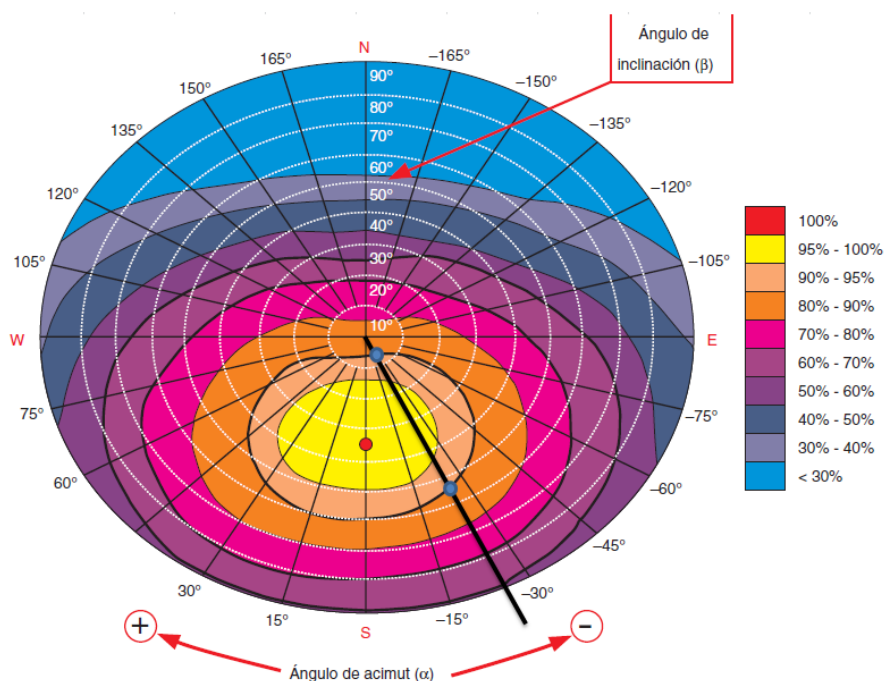


Figura 5. Pèrdues per inclinació i orientació respecte a la inclinació i orientació òptima. (Font: Llibre Instalaciones Solares y fotovoltaicas)

Ara es passa a calcular si les pèrdues de la instal·lació fotovoltaica estan per sota del que marca IDAE.

L'equació 15 permet obtenir les pèrdues en tant per cent per una inclinació dels panells entre 15° i 90°.

$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 \cdot (1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \varnothing) + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2) \quad (\text{Eq.15})$$

On:

β : inclinació del generador fotovoltaic, en °.

\varnothing : latitud del lloc, en °.

α : azimuth del generador fotovoltaic, en °.

Finalment s'obté unes pèrdues per inclinació i orientació del 2,19%.

A.5 Estalvi econòmic

Per la realització del balanç econòmic de la instal·lació s'ha utilitzat l'equació 16 pel càlcul del VAN (Valor Actualitzat Net).

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (\text{Eq.16})$$

On:

F_t : flux de caixa en cada instant, en €.

I_0 : inversió inicial, en €.

k : tipus d'interès esperat, en tant per u.

t : període, en any.

VAN: Valor Actualitzat Net, en €.

B. Càlcul instal·lació interior

Pel càlcul de les seccions dels conductors s'ha realitzat per intensitat màxima admissible i caiguda de tensió màxima de la línia. Pel cas de les línies que alimenta motors es té en compte el factor d'arrencada d'1,25 d'acord amb l'ITC-BT-47. Les equacions utilitzades són les que a continuació es mostra.

Càlcul d'intensitat màxima admissible per receptors monofàsics.

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} \quad (\text{Eq.17})$$

Càlcul d'intensitat màxima admissible per receptors trifàsics.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} \quad (\text{Eq.18})$$

On:

I : intensitat màxima que hi circula pel conductor, en A.

P: potència total prevista, en W.

V: tensió de línia per trifàsic o tensió entre fase i neutre per monofàsic, en V.

$\cos\phi$: factor de potència, adimensional.

Càlcul de la caiguda de tensió per receptors monofàsics

$$e(\%) = \frac{2 \cdot P \cdot L}{V \cdot K \cdot S} \cdot \frac{100}{V} \quad (\text{Eq.19})$$

Càlcul de la caiguda de tensió per receptors trifàsics

$$e(\%) = \frac{P \cdot L}{V \cdot K \cdot S} \cdot \frac{100}{V} \quad (\text{Eq.20})$$

On:

e(%): caiguda de tensió a la línia , en tant per cent.

L: longitud del receptor més llunyà de la línia, en m.

K: conductivitat elèctrica, en m/mm². Pel coure val 56 m/mm².

S: secció normalitzada, en mm²

La secció dels conductors de cada línia així com les seves característiques es representa en la Taula 24. Es pot veure que la caiguda de tensió no supera mai els límits establerts pel REBT.

Tram	Potencia (W)	Cosfi	Tensió nominal (V)	Intensitat (A)	Secció fase (mm ²)	Longitud (m)	Parcial (%)	Total (%)
D.I	56.520	0,80	400	101,97	35,00	10	0,18	0,18
L1	1.840	0,98	230	4,71	2,50	50	2,48	2,66
L2	1.860	0,98	230	4,76	2,50	26	1,31	1,49
L3	1.332	0,98	230	3,41	2,50	46	1,65	1,83
L4	3.900	0,90	230	10,88	4,00	26	1,71	1,89
L5	3.900	0,90	230	10,88	4,00	30	1,97	2,15
L6	4.500	0,90	230	12,55	4,00	32	2,43	2,61
L7	4.500	0,89	400	15,69	2,50	5	0,10	0,28
L8	1.100	0,90	400	9,12	2,50	58	0,28	0,46
L9	3.700	0,90	230	10,32	2,50	14	0,70	0,88
L10	4.400	0,90	230	12,27	2,50	14	1,66	1,84
L11	900	0,98	230	2,31	2,50	13	0,32	0,50
L12	1.584	0,98	230	4,06	2,50	30	1,28	1,46
L13	1.656	0,98	230	4,24	2,50	45	2,01	2,19
L14	1.152	0,90	230	3,21	2,50	48	1,49	1,67
L15	3.100	0,90	230	8,65	4,00	35	1,83	2,01
L16	4.500	0,90	230	12,55	4,00	25	1,90	2,08
L17	2.056	0,98	230	5,27	2,50	33	1,83	2,01
L18	2.088	0,98	230	5,35	2,50	48	2,71	2,89
L19	1.152	0,99	230	2,92	2,50	52	1,62	1,80
L20	2.800	0,99	230	7,10	4,00	40	1,89	2,07
L21	4.500	0,90	230	12,55	4,00	30	2,28	2,46
L22	564	0,99	230	1,43	1,50	55	1,40	1,53

Taula 24. Característiques elèctriques de les línies

En la Taula 25 es representa la secció del conductor neutre i el de protecció així com el tipus d'aïllament que ha de tenir segons REBT.

Tram	Tensió aïllament	Secció neutre (mm ²)	Secció protecció (mm ²)
D.I	0,6/1kV	35,00	16,00
Línia 1	450/750V	2,50	2,50
Línia 2	450/750V	2,50	2,50
Línia 3	450/750V	2,50	2,50
Línia 4	450/750V	4,00	4,00
Línia 5	450/750V	4,00	4,00
Línia 6	450/750V	4,00	4,00
Línia 7	450/750V	2,50	2,50
Línia 8	450/750V	2,50	2,50
Línia 9	450/750V	2,50	2,50
Línia 10	450/750V	2,50	2,50
Línia 11	450/750V	2,50	2,50
Línia 12	450/750V	2,50	2,50
Línia 13	450/750V	2,50	2,50
Línia 14	450/750V	2,50	2,50
Línia 15	450/750V	4,00	4,00
Línia 16	450/750V	4,00	4,00
Línia 17	450/750V	2,50	2,50
Línia 18	450/750V	2,50	2,50
Línia 19	450/750V	2,50	2,50
Línia 20	450/750V	4,00	4,00
Línia 21	450/750V	4,00	4,00
Línia 22	450/750V	1,50	1,50

Taula 25. Característiques elèctriques de les línies

Per l'elecció dels magnetotèrmics s'ha tingut en compte que compleixi la següent condició.

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (\text{Eq.21})$$

On:

I_B : intensitat que circula pel conductor, en A

I_N : intensitat nominal del magnetotèrmics, en A.

I_Z : intensitat màxima que pot aguantar el cable, en A

En la Taula 26 es mostra les proteccions escollides i es comprova que compleix la condició de l'equació 5.

Tram	I_B (A)	I_N (A)	I_Z (A)
Línia 1	4,71	10	23
Línia 2	4,76	10	23
Línia 3	3,41	10	23
Línia 4	10,88	16	31
Línia 5	10,88	16	31
Línia 6	12,55	16	31
Línia 7	15,69	20	22
Línia 8	9,12	20	22
Línia 9	10,32	16	23
Línia 10	12,27	16	23
Línia 11	2,31	10	23
Línia 12	4,06	10	23
Línia 13	4,24	10	23
Línia 14	3,21	10	23
Línia 15	8,65	16	31
Línia 16	12,55	16	31
Línia 17	5,27	10	23
Línia 18	5,35	10	23
Línia 19	2,92	10	23
Línia 20	7,10	16	31
Línia 21	12,55	16	31
Línia 22	1,43	10	15

Taula 26. Característiques elèctriques de les línies

El nombre de lluminàries és definida pels mínims de luminància mitjana exigits pel CTE sense superar el valor d'eficiència energètica de la instal·lació (VEEI) i la potència total instal·lada per superfície. Aquests límits són 3,5 (VEE_{lim}) i 25 W/m² respectivament.

Les equacions utilitzades són les que a continuació es mostra i el resultat d'aplicar aquestes equacions es representa amb les Taules 27 i 29. En la taula 27 representa el nombre de lluminàries a instal·lar en cada estança segons els mínims d'il·luminació i la taula 29 es comprova que no es supera els límits comentats anteriorment.

$$NI = \frac{S \cdot E_m}{F_L} \quad (\text{Eq.22})$$

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad (\text{Eq.23})$$

$$P_{T.\text{lim}} = \frac{P}{S} \quad (\text{Eq.24})$$

On:

NI: nombre mínim de Il·luminàries

S: superfície de la zona il·luminada, en m².

E_m:nivell de luminància mitja, en lux.

F_L:flux Il·luminós de cada Il·luminària, en lm.

VEEI: valor d'eficiència energètica de la instal·lació, adimensional.

P:potencia instal·lada, en W.

P_{T.lim}: potencia màxima per superfície il·luminada, en W/m².

Zona	Àrea (m ²)	Luminància mitja (lux)	Flux Il·luminària (lm)	Dispositiu teòrics	Punts de Ilum	Potència Total (W)
Entrada	83,50	300,00	3.000,00	8,35	9,00	324,00
Sala quadres	5,60	150,00	3.000,00	0,28	1,00	36,00
Secretaria	29,50	400,00	3.000,00	3,93	4,00	144,00
Direcció	29,50	400,00	3.000,00	3,93	4,00	144,00
Administració	29,50	400,00	3.000,00	3,93	4,00	144,00
Dept Psico	29,50	400,00	3.000,00	3,93	4,00	144,00
Dept Cat/Cat	29,50	400,00	3.000,00	3,93	4,00	144,00
Dept Mates	30,50	400,00	3.000,00	4,06	5,00	180,00
Dept Ciències	30,50	400,00	3.000,00	4,06	5,00	180,00
Sala professors	60,13	400,00	3.000,00	8,01	9,00	324,00

Taula 27. Determinació del numero de Il·luminàries

Zona	Àrea (m2)	Luminància mitja (lux)	Flux Il·luminària (lm)	Dispositiu teòrics	Punts de llum	Potència Total (W)
Magatzem	31,56	400,00	3.000,00	4,20	5,00	180,00
Biblioteca	90,11	500,00	3.000,00	15,01	15,00	540,00
Lavabo dones	9,80	250,00	690,00	3,55	4,00	32,00
Lavabo homes	9,80	250,00	690,00	3,55	4,00	32,00
Lavabo professors	10,00	250,00	690,00	3,62	4,00	32,00
Lavabo minusvàlid	16,60	250,00	690,00	6,01	6,00	48,00
Aula informàtica 1	55,50	500,00	3.000,00	9,25	9,00	324,00
Aula informàtica 2	55,50	500,00	3.000,00	9,25	9,00	324,00
Aules	51,00	500,00	3.000,00	8,50	9,00	324,00
Cuina	85,70	400,00	3.000,00	11,42	12,00	432,00
Menjador	169,36	400,00	3.000,00	22,58	27,00	972,00
Subterrani	276,00	250,00	3.000,00	23,00	25,00	900,00
Passadís i escales	185,00	500,00	3.000,00	30,83	32,00	1152,00
Terrassa	71,60	500,00	26.000,00	1,37	3,00	600,00

Taula 28. Determinació del numero de lluminàries

Zona	Potència màxima instal·lada (W/m2)	VEEI
Entrada	3,88	1,29
Sala quadres	6,43	3,29
Secretaria	4,88	1,22
Direcció	4,88	1,22
Administració	4,88	1,22
Dept Psico	4,88	1,22
Dept Cat/Cat	4,88	1,22
Dept Mates	5,90	1,48
Dept Ciències	5,90	1,48
Sala professors	5,39	1,35
Magatzem	5,70	1,43
Biblioteca	5,99	1,20
Lavabo dones	3,27	1,31
Lavabo homes	3,27	1,31
Lavabo professors	3,20	1,28
Lavabo minusvàlid	2,89	1,16
Aula informàtica 1	5,84	1,17
Aula informàtica 2	5,84	1,17

Taula 29. Comprovació dels valors límits del CTE.

Zona	Potència màxima instal·lada (W/m²)	VEEI
Aules	6,35	1,27
Cuina	5,04	1,26
Menjador	5,74	1,43
Subterrani	3,26	1,30
Passadís i escales	6,23	1,25
Terrassa	8,38	1,68

Taula 30. Comprovació dels valors límits del CTE.