



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA  
SUPERIOR ENGINYERIA  
INDUSTRIAL VALÈNCIA

**TREBALL FINAL DE GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS**

# **ESTUDI DE PROPOSTES D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA PER A L'INSTITUT PÚBLIC D'EDUCACIÓ SECUNDÀRIA DE PUÇOL**

AUTORA: MIREIA MARGAIX MARGAIX

TUTORA: SOFÍA CARLOS ALBEROLA

COTUTOR: ANTONI VIDAL FERRÀNDIZ

**Curs Acadèmic: 2020-21**

## **AGRAÏMENTS**

“Vull aprofitar aquesta ocasió per agrair l’ajuda que he rebut dels meus tutors durant la realització del projecte, així com a tota la direcció de l’institut públic de Puçol i a Carmina i Eugènia en especial.

També vull agrair a la meua família pels ànims i a les meues amigues la confiança que han posat en mi. Als meus companys per tots aquests anys, Lara, Ivan i les Irenes. A Àlvaro pel suport incondicional.

A Hebe i Mirai.”

## RESUM

En aquest Treball Fi Grau es realitza l'estudi de propostes per a la millora de l'eficiència energètica de l'Institut d'Educació Secundària de Puçol. La primer proposta consisteix en reduir el consum energètic en la il·luminació del centre. En la segona es proposa la instal·lació d'una planta fotovoltaica per tal de produir energia i reduir l'import en la factura elèctrica. Finalment es valora la possibilitat de combinar ambdues propostes.

L'estalvi energètic respecte a la il·luminació s'ha dut a terme amb la substitució de les lluminàries menys eficients o que no il·lumina correctament l'espai per tecnologia LED. Actualment, la gran majoria de lluminàries instal·lades al centre són tubs fluorescents, els quals presenten molts inconvenients respecte a la tecnologia LED. La instal·lació fotovoltaica s'ha situat al sostre de l'edifici principal i s'ha elegit l'equip més apropiat, com el tipus de mòdul fotovoltaic i l'inversor.

A partir d'aquestes propostes s'ha realitzat un estudi de viabilitat econòmica i el corresponent estalvi de consum energètic. Amb les dades obtingudes s'ha proposat la millor opció que garanteix el major estalvi econòmic i energètic possible. Per tant, aquest Treball Final de Grau està relacionat amb els Objectius de Desenvolupament Sostenible, en concret té relació directa amb l'objectiu 7: Energia assequible i no contaminant.

**Paraules clau:** Energia fotovoltaica, tecnologia LED, eficiència energètica, energia solar.

## **RESUMEN**

En este Trabajo Fin Grado se realiza el estudio de propuestas para la mejora de la eficiencia energética del Instituto de Educación Secundaria de Puçol. La primera propuesta consiste en reducir el consumo energético en la iluminación del centro. En la segunda se ha propuesto la instalación de paneles fotovoltaicos para cubrir para producir energía y reducir el importe en la factura eléctrica. Finalmente se ha valorado la posibilidad de combinar ambas propuestas.

El ahorro energético respecto a la iluminación se ha llevado a cabo con la sustitución de las luminarias menos eficientes o que no iluminan correctamente el espacio por tecnología LED. Actualmente, la gran mayoría de luminarias instaladas en el centro son tubos fluorescentes, los cuales presentan muchos inconvenientes respecto a la tecnología LED. La instalación fotovoltaica está situada en la cubierta del edificio principal, y se ha elegido el equipo más apropiado, como el tipo de módulo fotovoltaico y el inversor.

A partir de estas propuestas se ha realizado un estudio de viabilidad económica y el correspondiente ahorro de consumo eléctrico. Con los datos obtenidos se ha propuesto la mejor opción, que garantiza el mayor ahorro económico y energético posible. Por lo tanto, este Trabajo Final de Grado está relacionado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en concreto tiene relación directa con el objetivo 7: Energía asequible y no contaminante.

**Palabras clave:** Energía fotovoltaica, tecnología LED, eficiencia energética, energía solar.

## SUMMARY

In this Final Degree Project, the study of proposals for the improvement of energy efficiency of the Puçol High School is carried out. The first proposal is to reduce energy consumption in lighting. Secondly, the photovoltaic system is proposed to generate their own energy and reduce the annual invoice. Finally, the possibility of combining both proposals has been evaluated.

The energy saving regarding to lighting has been carried out with the replacement of all the luminaires with LED technology. Currently, most luminaires installed in the high school are fluorescent tubes, which have many drawbacks compared to LED technology. The photovoltaic installation has been located on the roof of the main building, and in this case the equipment and the most appropriate type of photovoltaic module has been studied.

Based on these proposals, an economic feasibility study has been carried out and a study about the energy saving. With the data obtained, the best option that guarantees the greatest possible economic and energy savings will be proposed. Therefore, this Final Degree Project is related to the Sustainable Development Goals, specifically it is directly related to Goal 7: Affordable and non-polluting energy.

**Key words:** Photovoltaic energy, LED technology, energy efficiency, solar energy.

# ÍNDEX GENERAL DEL TREBALL

DOCUMENT 1: MEMÒRIA .....	6
DOCUMENT 2: PRESSUPOST .....	70
DOCUMENT 3: PLÀNOLS.....	83

# **DOCUMENT 1: MEMÒRIA**

# ÍNDEX DE CONTINGUT

ÍNDEX DE TAULES .....	9
ÍNDEX DE FIGURES.....	11
ÍNDEX DE GRÀFICS.....	11
1 INTRODUCCIÓ.....	1
1.1 Objectius del projecte .....	1
1.2 Motivació i justificació.....	1
1.3 Marc Normatiu .....	2
2 Antecedents .....	4
2.1 La tecnologia LED .....	4
2.1.1 Sector de la il·luminació a Espanya i a la Comunitat Valenciana .....	4
2.1.2 Avantatges i inconvenients .....	5
2.2 Recurs solar .....	6
2.2.1 Energia solar .....	6
2.2.2 La cèl·lula fotovoltaica.....	7
2.2.3 El recurs solar a Europa i Espanya .....	7
3 Cas d'aplicació: IES Puçol.....	10
3.1 Ubicació i descripció de les instal·lacions.....	10
3.2 Consum i tarifa elèctrica contractada .....	11
4 Estudi de la il·luminació amb tecnologia LED.....	13
4.1 Il·luminació de centres educatius.....	13
4.2 Característiques de l'enllumenat del centre .....	14
4.3 Distribució de lluminàries a les aules del centre .....	16
4.4 Proposta de substitució a tecnologia LED .....	19
4.5 Estudi de viabilitat de la il·luminació amb LED.....	21
4.5.1 Resum del pressupost .....	21
4.5.2 Estalvi energètic amb il·luminació LED.....	22
4.5.3 Estudi de viabilitat econòmica .....	23
5 Instal·lació fotovoltaica .....	25
5.1 Parts de la instal·lació fotovoltaica.....	25
5.2 El mòdul fotovoltaic .....	27



5.2.1	Elecció del mòdul fotovoltaic .....	28
5.3	Disposició dels panells.....	31
5.3.1	Orientació dels mòduls.....	31
5.3.2	Inclinació dels mòduls .....	32
5.4	Estructura de suport.....	35
5.5	Dimensió de la instal·lació.....	36
5.5.1	Espai entre mòduls.....	36
5.5.2	Distribució dels panells.....	38
5.6	Inversor.....	40
5.6.1	Elecció de l'inversor.....	41
5.7	Associació dels mòduls: sèrie i paral·lel .....	44
5.8	Dimensionat elèctric de la instal·lació.....	48
5.8.1	Elecció dels conductors i aïllament .....	48
5.8.2	Criteris de dimensionat elèctric .....	49
5.8.3	Dimensionat dels diferents trams .....	52
5.8.4	Proteccions .....	55
5.8.5	Posada a terra (P.A.T.).....	58
5.9	Estudi de viabilitat de la instal·lació fotovoltaica.....	60
5.9.1	Resum del pressupost .....	60
5.9.2	Estalvi de l'energia consumida .....	61
5.9.3	Estudi de viabilitat econòmica .....	62
6	Estudi de viabilitat de la instal·lació LED i la instal·lació fotovoltaica .....	64
7	Conclusions.....	65
8	Bibliografia.....	67

## ÍNDIX DE TAULES

Taula 1: Potència contractada a l'IES Puçol. Font: Pròpia.....	11
Taula 3: Característiques tub LED. Font: Pròpia.....	14
Taula 4: Característiques tub fluorescent. Font: Pròpia.....	15
Taula 5: Distribució de tubs fluorescents per aules. Font: Pròpia .....	16
Taula 6: Característiques de les campanes LED. Font: Pròpia.....	20
Taula 7: Pressupost d'execució material per a la instal·lació LED. Font: Pròpia.....	21
Taula 8: Pressupost final de la instal·lació LED. Font: Pròpia.....	21
Taula 9: Estalvi energètic amb tecnologia LED. Font: Pròpia.....	22
Taula 10: Estalvi total anual. Font: Pròpia.....	23
Taula 11: TIR i VAN. Font: Pròpia .....	24
Taula 12: Models de mòduls fotovoltaics. Font: Pròpia.....	29
Taula 13: Dades elèctriques del mòdul. Font: Pròpia.....	29
Taula 14: Característiques tècniques de l'estructura de suport. Font: Pròpia.....	35
Taula 15: Valors de k en funció de la latitud. (IDAE, 2011). .....	37
Taula 16: Intensitats admissibles per a 30°C (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002). .....	50
Taula 17: Intensitats admissibles per a cables soterrats (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002). .	51
Taula 18: Criteri tèrmic tram 1. Font: Pròpia .....	52
Taula 19: Criteri de màxima caiguda de tensió tram 2. Font: Pròpia.....	53
Taula 20: Criteri tèrmic tram 2. Font: Pròpia .....	53
Taula 21: Criteri màxima caiguda de tensió tram 2. Font: Pròpia.....	53
Taula 22: Criteri tèrmic tram 3. Font: Pròpia.....	54
Taula 23: Criteri de màxima caiguda de tensió. Font: Pròpia.....	54
Taula 24: Criteri tèrmic tram 4. Font: Pròpia.....	54
Taula 25: Criteri de màxima caiguda de tensió. Font: Pròpia.....	54
Taula 26: Seccions resultats per a cada tram. Font: Pròpia.....	55
Taula 27: Model de cable i preus. Font: Pròpia.....	55
Taula 28: Diàmetres exteriors mínims dels tubs en funció del número i la secció dels conductors. (REBT, 2002). .....	56
Taula 29: Diàmetre dels tubs per a cada tram. Font: Pròpia.....	56
Taula 30: Secció mínima dels conductors de protecció. (REBT, 2002).....	58

Taula 31: Seccions P.A.T. per trams. Font: Pròpia.....	58
Taula 32: Pressupost d'execució material per a la instal·lació fotovoltaica. Font: Pròpia.....	60
Taula 33: Pressupost final de la instal·lació fotovoltaica. Font: Pròpia.....	61
Taula 34: Electricitat exportada a la xarxa en MWh. (RETScreen, 2021) .....	62
Taula 35: TIR i VAN (RETScreen, 2021).....	62
Taula P1: Unitat d'obra 1.1. Font: Pròpia .....	72
Taula P2: Unitat d'obra 1.2. Font: Pròpia .....	72
Taula P 3: Unitat d'obra 1.3. Font: Pròpia .....	73
Taula P4: Unitat d'obra 1.4. Font: Pròpia .....	73
Taula P5: Unitat d'obra 1.5. Font: Pròpia .....	74
Taula P6: Unitat d'obra 1.6. Font: Pròpia .....	74
Taula P7: Unitat d'obra 1.7. Font: Pròpia .....	75
Taula P8: Unitat d'obra 1.8. Font: Pròpia .....	75
Taula P9: Unitat d'obra 2.1. Font: Pròpia .....	76
Taula P10: Unitat d'obra 2.2. Font: Pròpia .....	76
Taula P11: Unitat d'obra 3.1. Font: Pròpia .....	77
Taula P12: Unitat d'obra 3.2. Font: Pròpia .....	77
Taula P13: Unitat d'obra 3.3. Font: Pròpia .....	78
Taula P14: Unitat d'obra 4.1. Font: Pròpia .....	78
Taula P15: Unitat d'obra 4.2. Font: Pròpia .....	79
Taula P 16: Pressupost parcial capítol 1. Font: Pròpia. ....	79
Taula P 17: Pressupost parcial capítol 2. Font: Pròpia. ....	80
Taula P 18: Pressupost parcial capítol 3. Font: Pròpia. ....	80
Taula P 19: Pressupost parcial capítol 4. Font: Pròpia. ....	80
Taula P 20: Pressupost d'execució material. Font: Pròpia. ....	81
Taula P 21: Pressupost recursos humans .....	81
Taula P 22: Pressupost ofimàtica. Font: Pròpia.....	82
Taula P 23: Pressupost final enginyeria. Font: Pròpia .....	82

## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1: Unión P-N (Hyperphysics, 2010).....	4
Figura 2: Radiació solar al llarg de l'any (Yubasolar, 2019).....	6
Figura 3: Irradiància horitzontal a Europa (Solargis, 2021).....	8
Figura 4: IES Puçol. (Google Maps, 2021).....	10
Figura 5 : Lluminares instal·lades a l'entrada del centre. Font: Pròpia.....	17
Figura 6: Gimnàs de l'IES Puçol. Font: Pròpia.....	18
Figura 7: Il·luminació pistes esportives exteriors. Font: Pròpia.....	19
Figura 8: Campana LED Industrial Konak. (Secom, 2021).....	20
Figura 9: Esquema d'una instal·lació fotovoltaica connectada a xarxa. Font: Pròpia.....	25
Figura 10: Corba I-V Font: Pròpia.....	27
Figura 11: Tipus de cèl·lules fotovoltaiques. Font: Pròpia.....	28
Figura 12: Corba I-V Vertex S DE09.08 (Trina Solar, 2020).....	30
Figura 13: Trajectòria del Sol a l'hemisferi nord. Font: Pròpia.....	31
Figura 14: Elevació i azimut (Global Solar Atlas, 2021). .....	32
Figura 15: Forces del vent sobre el mòdul. Font: Pròpia.....	35
Figura 16: Distància entre mòduls. Font: Pròpia.....	37
Figura 17: Distribució dels mòduls fotovoltaics. Font: Pròpia.....	38
Figura 18: Dades tècniques de Sunny Tripower CORE1 (SMA, 2021). .....	42
Figura 19: Corba de rendiment de l'inversor (SMA, 2021). .....	44
Figura 20: Esquema de distribució de mòduls per a un inversor. Font: Pròpia.....	47
Figura 21: Esquema general de la instal·lació fotovoltaica. Font: Pròpia. ....	48

## ÍNDIX DE GRÀFICS

Gràfic 1: Potència solar fotovoltaica instal·lada acumulada en España (UNEF, 2019).....	9
Gràfic 2: Consum per mesos IES Puçol. Font: Pròpia. ....	12
Gràfic 3: Angle de inclinació i azimut (IDAE, 2011) .....	33

# 1 INTRODUCCIÓ

## 1.1 Objectius del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és millorar l'eficiència energètica de l'institut públic d'educació secundària de Puçol i es presenten les següents propostes per a dur-ho a terme.

La primera consisteix a reduir el consum energètic de l'institut públic d'educació secundària de Puçol mitjançant canvis en la il·luminació. Actualment, l'institut està il·luminat, en la seua majoria, per mitjà de tubs fluorescents, i es pretén realitzar l'estudi del canvi de totes les lluminàries per tubs LED, amb tots els avantatges que suposaria aquesta tecnologia.

La segona proposta és el disseny d'una instal·lació fotovoltaica, ubicada a la coberta de l'edifici principal. S'estudiarà viabilitat econòmica del projecte amb l'objectiu de que resulte rendible per al centre a mig termini, amb una inversió econòmica inicial factible. D'aquesta forma es pretén abastir tot el centre a partir dels beneficis obtinguts de l'energia solar obtinguda, i a més, contribuir a la implantació d'energies renovables en centres d'ensenyament públics.

## 1.2 Motivació i justificació

La gran dependència que s'ha creat respecte les energies no renovables o exhauribles ha fet que s'arribe a una situació en que el model de producció d'energia estiga molt allunyat de ser un procés sostenible. Ens trobem davant de diversos problemes que afecten a la vida al planeta en tots els aspectes, entre els quals trobem les conseqüències de l'efecte hivernacle i els canvis que s'estan provocant en la composició de l'atmosfera degut a les emissions de gasos com el CO<sub>2</sub>. Per altra banda, les energies no renovables tenen un període d'esgotament i és per això que es fa necessari apostar per l'ús d'energies netes.

Tal i com s'explica a la presentació de l'Agenda 2030 i els Objectius de Desenvolupament Sostenible, *"Tenim un model de vida que no respecta els límits biofísics del planeta"* (Moran, 2020). Una de les motivacions principals d'aquest projecte és la de participar en aquest camí cap al desenvolupament sostenible i l'ús i producció d'energia neta. En aquest aspecte, està directament relacionat amb l'Objectiu de Desenvolupament Sostenible número 7, *"Garantir l'accés a una energia assequible, segura, sostenible i moderna per a totes les persones"* (ODS, 2020). Amb la instal·lació dels panells fotovoltaics i el canvi en el sistema de il·luminació es pretén donar exemple per a altres centres d'ensenyament públic, per tal de donar visibilitat a les energies renovables i conscienciar a l'alumnat sobre la importància d'aquestes per al futur. Una menor dependència dels combustibles fòssils i l'explotació de fonts d'energia renovables són, sense cap dubte, part indispensable de la solució a aquest gran problema de sostenibilitat global.

Cal destacar que el projecte també pretén aconseguir un estalvi econòmic per al centre, raó per la qual es durà a terme un estudi de viabilitat econòmica per tal d'esclarir els beneficis i els possibles inconvenients a tenir en compte amb la instal·lació de cada proposta.

### 1.3 Marc Normatiu

Per a aquest projecte s'aplicarà la legislació aplicable segons els documents oficials de l'Institut per la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE).

En primer lloc es descriurà la normativa respecte a instal·lacions elèctriques amb il·luminació LED:

- Reial Decret 842/2002, del 2 d'agost, pel que s'aprova el Reglamento Electrotècnic per a Baixa Tensió.
- Reglament 874/2012 de la comissió de 12 de juliol de 2012, pel que es complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlament Europeu i del Consell en lo relatiu a l'etiquetat energètic de les llums elèctriques i les lluminàries.
- Reglament Nº 1194/2012 de la Comissió, pel que s'aplica la Directiva d'Ecodiseny 2009/125/CE a les llums direccionals, llums LED i els seus equips.
- Normes UNE. UNE-EN 60598-1, UNE-EN 60598-2.1, UNE-EN 62493, UNE-EN 61547, UNE-EN 62031.
- Normes UNE respecte a equips auxiliars per a LED: UNE-EN 61347-2-13, UNE-EN 62384.
- CTE: DB HE3 "Eficiència energètica en les instal·lacions de il·luminació".

Per altra banda, la normativa que afecta a les instal·lacions fotovoltaïques és la següent:

- Llei 24/2013, de 26 de desembre, del Sector Elèctric.
- Norma UNE-EN 62466: Sistemes fotovoltaïcs connectats a xarxa. Requisits mínims de documentació, posada en marxa i inspecció d'un sistema.
- Reial Decret 1663/2000, de 29 de setembre, sobre connexió de instal·lacions fotovoltaïques a la xarxa de baixa tensió.
- Reial Decret 1578/2008, de 26 de setembre, de retribució de l'activitat de producció d'energia elèctrica mitjançant tecnologia solar fotovoltaïca per instal·lacions posteriors a la data límit de manteniment de la retribució del Reial Decret 661/2007, de 25 de maig, per a aquesta tecnologia.
- Reial Decret 1955/2000, de l'1 de desembre, pel que es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament y procediments d'autorització de instal·lacions d'energia elèctrica.
- Reial Decret 614/2001, de 8 de juny, sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat dels treballadors front al risc elèctric.
- Reial Decret 842/2002, del 2 d'agost, pel que s'aprova el Reglamento Electrotècnic per a Baixa Tensió.
- Reial Decret 413/2014, de 6 de juny, pel que es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.

- Reial Decret Llei 15/2018, de 5 d'octubre, de mesures urgents per la transició energètica i la protecció dels consumidors.
- Reial Decret 244/2019, de 5 d'abril, pel que es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de l'autoconsum a Espanya.

## 2 Antecedents

### 2.1 La tecnologia LED

Un díode és un dispositiu que permet el pas de la corrent només en un sentit. Per al cas concret dels díodes LED (de l'anglès *Light-Emitting Diode*), quant hi travessa la corrent, emeten llum. Açò és degut a l'efecte anomenat electroluminescència, que consisteix en l'alliberament d'energia en forma de fotons provocat per la unió de semiconductors tipus P-N, molt utilitzada per a aparells electrònics.

Com es veu a la Figura 1, la unió d'un semiconductor P (portador de càrrega positiva, menys electrons de valència), amb un semiconductor N (portador de càrrega negativa, més electrons de valència), dona com a resultat una part d'electrons lliures i altra part amb forats on no hi ha electrons. Així, es produeix una recombinació d'electrons que s'acompanya d'una emissió d'energia, al crear-se una diferència de potencial entre els semiconductors.

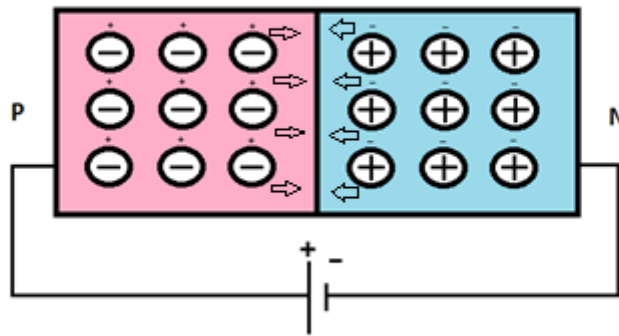


Figura 1: Unió P-N (Hyperphysics, 2010)

Segons el material amb què siga fabricat el díode LED, emetrà una llum de color diferent, el que ens permet elegir una llum més càlida o més blanca. A més, durant aquest procés no s'allibera energia en forma de calor i funcionen immediatament després d'afegir corrent.

Aquestes característiques, junt amb altres avantatges que es descriuran a l'apartat 2.2.1., situen el LED com la tecnologia més utilitzada en l'àmbit de la il·luminació d'espais interiors i exteriors.

#### 2.1.1 Sector de la il·luminació a Espanya i a la Comunitat Valenciana

El sector de la il·luminació es troba en constant desenvolupament, amb l'objectiu de conduir les seues tecnologies cap a una major eficiència. A Espanya, com a tota Europa, s'està avançant amb la tecnologia LED, substituint progressivament les tecnologies anteriors menys eficients.

La Comunitat Valenciana és un exemple de comunitat autònoma conscienciada amb el necessari canvi de les instal·lacions d'il·luminació. Cada any s'aprova un pla d'ajudes econòmiques per a la



rehabilitació energètica d'edificis públics, entre altres, i el canvi de les lluminàries sempre és un punt a tenir en compte. Tal i com es redacta a la Resolució de l'1 de març de 2021 de l'Institut Valencià de Competitivitat Empresarial, *“L'ajuda serà acceptada amb l'aplicació de una reforma de més del 25% al sistema de il·luminació, combinada amb una altra actuació que supose un estalvi d'energia a l'edifici”* (IVACE, 2021).

Una vegada acabada la instal·lació del projecte, la possibilitat de sol·licitar ajudes d'aquest tipus serà contemplada en cas que supose un canvi important en el cost final de la instal·lació.

### 2.1.2 Avantatges i inconvenients

La tecnologia LED, explicada anteriorment, presenta una gran quantitat d'avantatges que la converteixen en unes de les opcions més atractives per a la il·luminació d'espais interiors i exteriors. A continuació s'expliquen els més significatius i es fa una comparativa amb els tubs fluorescents, ja que el canvi d'aquesta tecnologia serà un dels objectes del projecte:

#### Avantatges:

- La vida útil del LED és d'aproximadament 50.000 hores, molt superior a la del fluorescent, que és de 30.000 hores.
- Es redueix l'impacte ambiental, ja que no conté cap gas ni residu que siga perillós per a la salut o per al medi ambient, al contrari que els tubs fluorescents, que contenen mercuri.
- Són més eficients.
- No necessiten dispositius addicionals, el que comporta un estalvi econòmic i de manteniment.
- L'arrancada és instantània i el rendiment no disminueix al llarg del temps.
- La llum és direccional, el que permet il·luminar exactament l'espai que desitgem. La llum proporcionada pels fluorescents és multidireccional, i açò comporta que part d'aquesta vaja dirigida a llocs de l'espai i es malgaste.
- El LED està fabricat amb policarbonat, un material molt resistent a ruptura, mentre que el tub fluorescent és de vidre, de forma que el converteix en un sistema molt més fràgil i perillós.

Per altra banda, l'únic inconvenient del LED és la inversió inicial que s'ha de realitzar per al canvi de lluminàries, tot i que s'amortitzaria en poc de temps.

## 2.2 Recurs solar

### 2.2.1 Energia solar

L'aprofitament de l'energia solar ha estat present en tota la història de la civilització. Des de l'antic Egipte, on s'utilitzaven espills còncaus per tal de concentrar els rajos solars o els estudis del cèlebre Leonardo Da Vinci sobre la llum i el calor del Sol, fins a l'actualitat.

La forma d'aprofitament d'aquesta energia ha anat evolucionant molt, fins al punt de fer d'ella un dels tipus de generació d'energia més atractiu per al mercat mundial.

L'energia solar ens arriba a l'atmosfera terrestre en forma de radiació electromagnètica. La intensitat a la que incideix a la superfície és el que anomenem "irradiància solar", que té un valor aproximat de  $1367 \text{ W/m}^2$ , com es pot veure a la Figura 2, encara que aquest valor depèn de l'activitat solar.

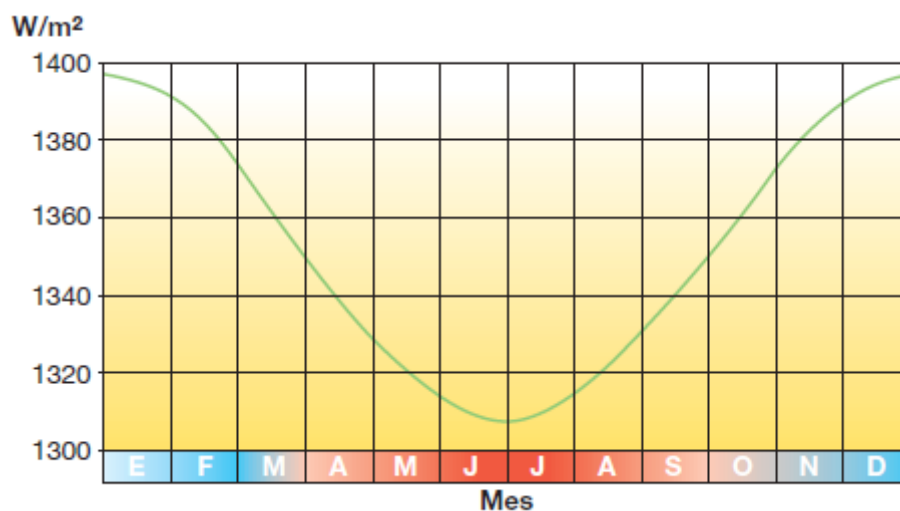


Figura 2: Radiació solar al llarg de l'any (Yubasolar, 2019).

Es distingeixen tres tipus dins de la radiació que ens arriba a la superfície:

- **Radiació directa:** relacionada amb la irradiància sobre una superfície determinada, a la que arriba directament i sense interrupcions.
- **Radiació difusa:** com a conseqüència dels fenòmens de reflexió i refracció de llum amb els components atmosfèrics.
- **Albedo:** radiació que arriba pel xoc amb diferents objectes o superfícies, com la neu.

Les formes en les que s'ha aconseguit aprofitar l'energia solar per tal de transformar-la en un recurs útil per a la vida quotidiana són diverses. Per una banda tenim l'energia solar, en la que trobem dispositius capaços captar l'energia tèrmica de la radiació solar i produir vapor d'aigua per fer funcionar turbines i generar electricitat, així com d'altres que aconsegueixen calfar aigua a elevades temperatures per a ser utilitzada en processos industrials. Per altra banda, tenim l'energia solar fotovoltaica, que és capaç de generar electricitat a partir de les cèl·lules fotovoltaïques.

### 2.2.2 La cèl·lula fotovoltaica

Per entendre bé el funcionament de la nostra instal·lació, primer s'explicarà breument en què es basa la tecnologia de què farem ús.

Tal i com es descriu al "Plec de condicions tècniques de instal·lacions connectades a xarxa", proporcionat per l'Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE), la cèl·lula solar o fotovoltaica és el "Dispositiu que transforma la radiació solar en energia elèctrica". En efecte, aquest és el component amb el qual estan formats els mòduls que componen qualsevol instal·lació solar fotovoltaica.

En apartats anteriors descrivíem el funcionament d'una unió p-n per al cas d'un díode LED, on es deixava passar la corrent elèctrica en un sentit per emetre llum, a partir de la diferència de potencial creada a les capes del semiconductor. Cal remarcar la similitud del funcionament d'aquest dispositiu i el d'una cèl·lula fotovoltaica, que fa servir també una unió p-n per a la producció d'electricitat.

En efecte, quan s'exposa una cèl·lula fotovoltaica a la llum solar per la seua capa N, l'energia dels fotons que s'absorbeixen trenca els enllaços covalents i deixa electrons lliures, de manera que augmenta la càrrega negativa, i per tant, la diferència de potencial entre les dues capes. D'aquesta manera, quanta més radiació arribe, major serà la intensitat de corrent elèctrica. En aquest cas, ens referim a l'*Efecte fotovoltaic*.

L'eficiència de la instal·lació fotovoltaica està directament relacionada amb el correcte funcionament de les cèl·lules i, per tant, dels mòduls. És per això que l'elecció d'un model de panell fotovoltaic que s'adapte a les condicions del nostre projecte serà un punt indispensable que es tractarà en apartats següents.

### 2.2.3 El recurs solar a Europa i Espanya

La Figura 3 representa el nivell de irradiància als països d'Europa. Tal i com s'observa, les regions amb major potencial per a la fotovoltaica són les situades a la zona meridional, com són Espanya, Portugal, Xipre o Malta.

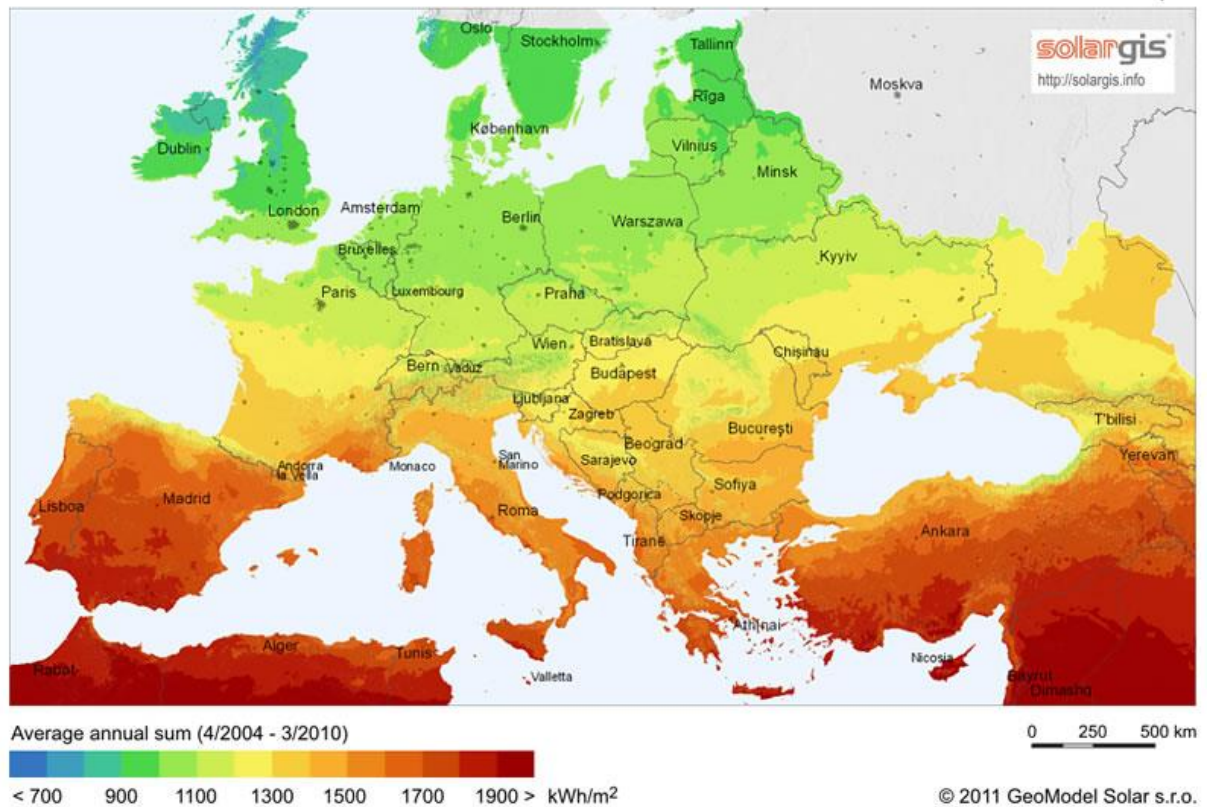
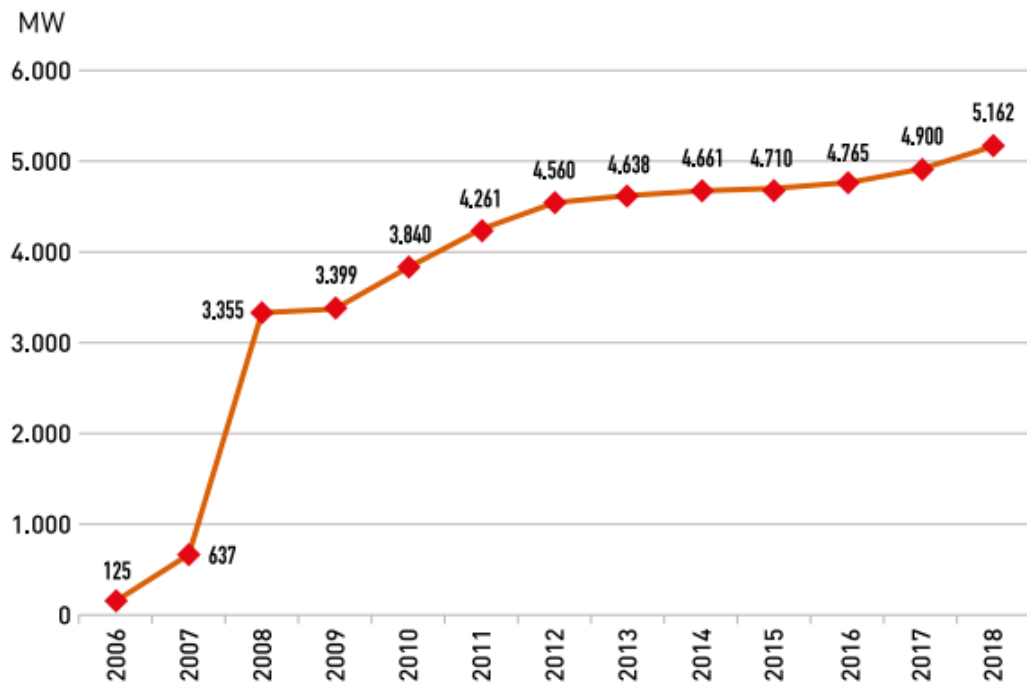


Figura 3: Irradiància horitzontal a Europa (Solargis, 2021).

És per això que Espanya es presenta com un dels països més atractius per al mercat de l'energia fotovoltaica. El potencial d'energia solar és el més elevat d'Europa, arribant en algunes regions d'Aragó a màximes de 2000 kW/m<sup>2</sup>, encara que la comunitat autònoma amb més potència instal·lada és Castella la Manxa.

En el Gràfic 1 següent es representa l'evolució de la potència de fotovoltaica instal·lada acumulada a Espanya durant els darrers anys. Es pot observar que es comença a apostar significativament per aquesta tecnologia a l'any 2007, durant el qual s'observa un creixement exponencial degut a la modificació de la llei del sector elèctric. No obstant això, amb l'arribada de la crisi del 2008, es mantindrà constant durant els anys següents, fins al 2017, quan es torna a invertir en fotovoltaica.



Gràfic 1: Potència solar fotovoltaica instal·lada acumulada en Espanya (UNEF, 2019).

Segons les últimes dades proporcionades per la UNEF (Unión Española Fotovoltaica) al seu informe anual sobre el sector fotovoltaic (UNEF, 2019) , “la potència instal·lada en 2018 va ascendir fins als 5.162 MW”, el que suposa un increment de quasi el 50 % respecte de l’any anterior, on es van obtenir dades que indicaven els 3.399 MW instal·lats. Així doncs, tal i com es mostra al gràfic, la potència solar instal·lada acumulada en Espanya ascendeix a 5.162 MW per al 2018. Açò demostra que el sector de l’energia fotovoltaica a Espanya està en continu creixement, tot i la complicada situació que s’està vivint degut a la pandèmia mundial actual.

### 3 Cas d'aplicació: IES Puçol

L'Institut públic d'educació secundària de Puçol és un dels centres públics més grans de l'Horta Nord, situat a les afores del municipi, amb més de 1000 alumnes matriculats. Actualment, a banda dels cursos d'ESO i Batxillerat, ofereix dos cursos de FP (Formació Professional). És un dels centres més grans de la zona, raó per la qual les places de matriculació són molt sol·licitades. Açò, junt amb els anys que porta en funcionament i l'eficaç pla d'estudis de què disposa el centre, l'han convertit en un dels instituts de referència de la zona de l'horta nord.

#### 3.1 Ubicació i descripció de les instal·lacions

L'institut està ubicat a la mateixa localitat de Puçol, municipi situat a uns 18 km de la ciutat de València, amb codi postal 46530.

Té un àrea i un perímetre d'aproximadament 16.840 m<sup>2</sup> i 529 m, respectivament. Les seues instal·lacions compten amb tres edificis en total: el gimnàs, l'edifici principal, on es troben la gran majoria d'aules, laboratoris i despatxos, i un edifici secundari més menut on s'imparteixen les classes de cicles formatius. A més, als voltants hi trobem dos camps de futbol a l'aire lliure i diverses zones dedicades al descans i temps lliure entre classes.



Figura 4: IES Puçol. (Google Maps, 2021)

## 3.2 Consum i tarifa elèctrica contractada

Per tal de tenir una idea sobre l'energia consumida durant els períodes d'activitat del centre al llarg del curs, es descriurà detalladament el consum durant el període comprès entre abril de 2020 i abril de 2021 i el tipus de tarifa contractada.

Explicarem, en primer lloc, les característiques de la tarifa contractada. Aquesta és del tipus 3.0A i es sol aplicar en xicotetes empreses o centres públics, on la potència contractada és major de 15 kW. Es troba dividida en tres períodes durant el dia, el període punta, vall i pla.

- Període punta (P1): entre les 11:00 h i les 15:00 h per a l'estiu i les 18:00 h i les 22:00 h per a l'hivern. És el període on el preu de l'electricitat és més car (0,0111 €/kWh).
- Període vall (P2): per a estiu és de les 08:00 h fins les 11:00 h i de les 15:00 h fins les 24:00 h, mentre que en hivern és des de les 08:00 h fins les 18:00 h i des de les 22:00 h fins les 24:00 h. Durant aquestes hores, el preu de l'electricitat és menor que en les hores punta (0,0878 €/kWh).
- Període pla (P3): durant tot l'any correspon amb el període entre les 00:00 h i les 08:00 h. Correspon a les hores on el preu de l'electricitat és el més econòmic (0,0682 €/kWh).

Cal mencionar també algunes consideracions sobre aquest tipus de tarifa:

- Si la potència consumida és menor al 85% de la potència contractada, només es facturarà aquest 85%.
- Si la potència consumida és igual a la contractada, es facturarà el valor exacte a la potència contractada.
- Si la potència consumida és superior al 105% de la contractada, se li afegirà el que s'anomena "període de facturació" a la suma total.

En el nostre cas, la potència contractada per a cada període està indicada en la Taula 1:

*Taula 1: Potència contractada a l'IES Puçol. Font: Pròpia.*

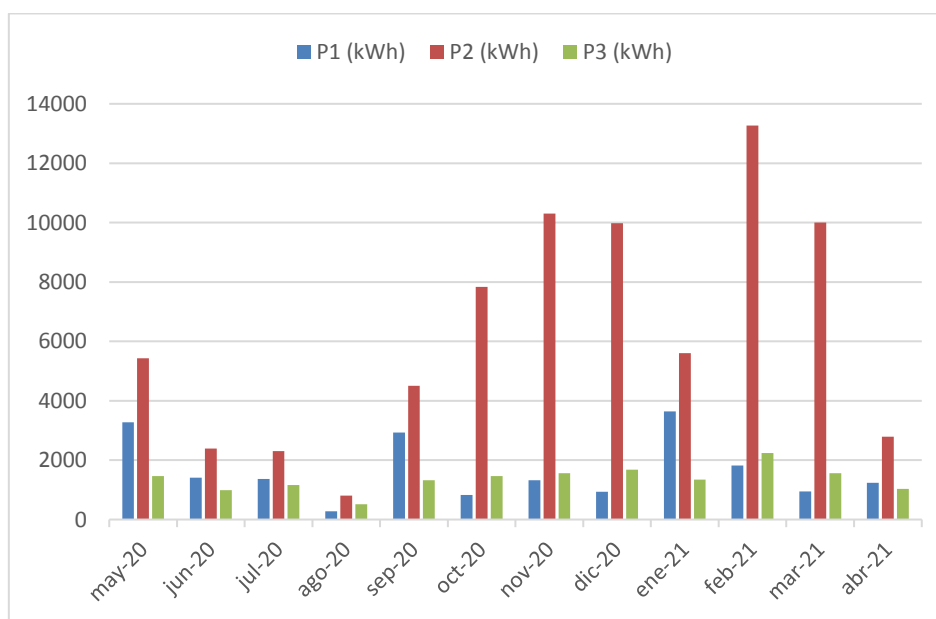
<b>Període</b>	<b>Potència contractada (kW)</b>
<b>P1</b>	80
<b>P2</b>	80
<b>P3</b>	23

A la Taula 2 es mostren les dades de consum durant el període Abril 2020 i Abril 2021, proporcionades per la direcció del centre. Al Gràfic 2 es mostren els valors del consum per a cada mes.

Taula 2: Energia consumida i costos IES Puçol curs 2020–2021. Font: Pròpia.

Mes	Consum kWh				Cost energètic		
	P1 (kWh)	P2 (kWh)	P3 (kWh)	Consum Total	Import Fixe (€)	Import Variable (€)	Import Total (€)
abr-20	1242	2790	1036	5068	441,19	309,69	750,88
may-20	1409	2386	990	4785	419,46	337,2	756,66
jun-20	1362	2310	1164	4836	419,9	363,4	783,3
jul-20	275	809	510	1594	133,61	119,67	253,28
ago-20	2929	4501	1325	8755	781,68	747,19	1528,87
sep-20	3645	5605	1342	10592	952,15	862,67	1814,82
oct-20	1323	10303	1558	13184	1144,62	1078,14	2222,76
nov-20	939	9982	1682	12603	1086,06	1229,83	2315,89
dic-20	827	7838	1461	10126	871,43	1143,71	2015,14
ene-21	948	9999	1564	12511	1080,41	971,74	2052,15
feb-21	1818	13266	2237	17321	1501,11	1486,19	2987,3
mar-21	3279	5436	1460	10175	882,02	1146,17	2028,19
<b>TOTAL</b>	<b>19996</b>	<b>75225</b>	<b>16329</b>	<b>111550</b>	<b>9713,64</b>	<b>9795,6</b>	<b>19509,24 €</b>

Així doncs, segons l'última factura proporcionada per l'institut, el consum anual total és de 111.250 kWh, amb un import total anual de 19.509,24 €. Com podem observar al Gràfic 2 el consum elèctric del centre està fortament relacionat amb el curs escolar, ja que és quan el centre està en funcionament. De la mateixa manera, es poden apreciar els mesos de menys consum degut als períodes de les vacances de nadal, pasqua i estiu.



Gràfic 2: Consum per mesos IES Puçol. Font: Pròpia.



## 4 Estudi de la il·luminació amb tecnologia LED

Són nombrosos els estudis que demostren la importància d'un espai ben il·luminat on s'aprofite al màxim la llum natural per a qualsevol àmbit en la vida quotidiana i, en especial, el lloc de treball o d'estudi. És per això que, si a l'espai dediquem no hi ha molta llum natural o es troba mal il·luminat, afectarà al rendiment dels estudiants i els suposarà un sobreesforç visual.

Als centres educatius, crear un ambient d'estudi és molt important, i un factor que pot ajudar a crear-lo és el tipus de il·luminació a l'aula. En molts casos, degut a l'antiguitat de les instal·lacions, molts instituts estan il·luminats amb lluminàries que, a més de suposar un consum elevat, no aconsegueixen crear un ambient d'estudi òptim. Aquesta problemàtica es comentarà més detalladament a l'apartat 4.1.

Per a poder contemplar l'opció del canvi de tota la il·luminació a llums LED que, com ja s'ha esmentat, és una tecnologia amb molts avantatges, es durà a terme l'estudi de la instal·lació actual del centre, seguit de la definició dels nous components i el seu dimensionament. De la mateixa forma, s'explicarà els criteris elegits i l'estalvi que suposaria.

### 4.1 Il·luminació de centres educatius

Segons es cita a la Guia Tècnica d'Eficiència Energètica en Il·luminació per a centres docents proporcionat per l'Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia, "Les instal·lacions de il·luminació de les diferents dependències que componen un centre docent deuen estar dotades de sistemes que proporcionen un entorn visual confortable i adequat per a dur a terme les diverses activitats que es desenvoluparan en aquestes dependències" (IDAE, 2011). En efecte, existeixen diferents paràmetres a tindre en compte per a la il·luminació de les aules d'un centre educatiu, les quals es mencionaran a continuació amb l'objectiu de ser aplicades en l'elecció del model de LED a instal·lar. S'ha de tenir en compte que, depenent del tipus d'aula i l'activitat que es desenvolupe a cadascuna, aquests paràmetres variaran per tal d'adaptar-se de manera òptima a cada situació.

Llavors, per al sistema d'enllumenat d'un centre educatiu, en aquest cas, un institut d'ensenyament públic, es tindran en compte els següents paràmetres:

- Color de la llum: si no és el correcte, pot afectar al rendiment del treball de l'alumnat a classe. Aquest ve determinat pel que anomenem la temperatura del color, mesurat en graus Kelvin (K). Per a diferents temperatures, la llum pot ser càlida, neutra o freda. Per al nostre cas, s'utilitzaran llums neutres (3300 K-5300 K), que és la que s'utilitza per a ambients on hi ha presència de llum natural i on es duen a terme activitats que requereixen concentració i forçar la vista.
- Flux lluminós: es mesura en lúmens (lm) i es tracta de la quantitat de llum que emet una llum. És de gran importància, ja que determina paràmetres com la uniformitat, la luminància o el rendiment de la nostra lluminària.
- Il·luminància: la seua unitat són els lux ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ). Ens indica la quantitat de llum que emet la nostra lluminària per metre quadrat de superfície, és a dir, la densitat de flux lluminós

sobre una determinada superfície. Per a centres docents, els valors no solen ser elevats, variant entre 300 lux – 1000 lux segons l'estància.

- Potència: que consumeix cada llum, en Watts (W).
- Rendiment o eficiència lluminosa: representa el rendiment de la nostra lluminària i es calcula amb el quocient entre el flux lluminós (lm) i la potència (W). Per a centres docents, es recomanen valors majors de 65 lm/W.
- Índex de il·luminació cromàtic (IRC): fa referència a la qualitat de la llum que emet el dispositiu i de com aquesta reproduceix els objectes que il·lumina. Un LED amb un CRI proper a 100 seria una llum molt eficient.
- Grau de protecció: es representa, de manera general, com IP XX, on la primera xifra fa referència al grau d'estanqueïtat front a pols i partícules sòlides, i la segona a l'estanqueïtat front a líquids. Per al cas d'aules docents no necessiten graus elevats.

## 4.2 Característiques de l'enllumenat del centre

Actualment, pràcticament tot el sistema d'il·luminació del l'institut de Puçol està constituït per llums fluorescents. Aquesta era la tecnologia més eficient i rentable econòmicament quan es va dur a terme el muntatge de tota la instal·lació elèctrica. No obstant això, en els últims anys, a mesura que han deixat de funcionar alguns tubs fluorescents, aquests s'han canviat per tubs LED. Així doncs, actualment, la il·luminació per mitjà de LEDs forma aproximadament un 20 % del total de lluminàries del centre.

A continuació es descriuran els dos models de il·luminació existents a l'institut:

Taula 3: Característiques tub LED. Font: Pròpia.

<b>Dimensions</b>	<b>1498mm x 26mm</b>
<b>Potència</b>	22 W
<b>Flux lluminós</b>	2200 lm
<b>Eficiència</b>	100 lm/W
<b>Apertura</b>	300°
<b>Vida útil</b>	30.000 h
<b>Índex de reproducció cromàtica (IRC)</b>	>80
<b>Temperatura funcionament</b>	4000 K
<b>Protecció</b>	IP20
<b>Regulable</b>	No
<b>Grau de protecció</b>	IP20
<b>Preu</b>	5,84 €

Pel que fa als tubs LED, es tracta d'un model de la marca *EEnergie-Shop*, adequat per a la substitució d'antics tubs fluorescents sense necessitat de canviar la distribució del cablejat. Les característiques principals es descriuen a la taula següent:

Per altra banda, el model de tub fluorescent que hi ha actualment instal·lat es tracta d'un model de la marca OSRAM, les característiques del qual es mostren en la següent taula:

*Taula 4: Característiques tub fluorescent. Font: Pròpia.*

<b>Dimensions</b>	<b>1500 mm x 26 mm</b>
<b>Potència</b>	38 W
<b>Flux Iluminós</b>	5200 lm
<b>Eficiència</b>	90 lm/W
<b>Vida útil</b>	20.000 h
<b>Índex de reproducció cromàtica (IRC)</b>	≥ 77
<b>Temperatura funcionament</b>	4000 K
<b>Regulable</b>	Si
<b>Preu</b>	2,76 €

Els avantatges de la llum LED front al tub fluorescent son fàcilment recognoscibles. En primer lloc trobem la gran diferència entre el valor de potència que consumeix el fluorescent (38 W), quasi un 42 % major que la del LED. També trobem una gran diferència pel que fa a la vida útil, que com podem observar, per a la llum fluorescent és 10.000 h menor. Tanmateix, l'eficiència del LED és major, així com l'índex de reproducció cromàtica (IRC). La temperatura del color és la mateixa per als dos (4000K), que es correspon amb un valor correcte per a les aules generals de centres educatius. Així doncs, l'únic avantatge que trobem pel que fa a la llum fluorescent respecte a la llum LED és el preu, però així i tot, la relació qualitat-preu és major per a aquesta última.

Per últim, cal comentar que la llum LED elegida s'adapta correctament a les característiques de temperatura, flux lluminós, rendiment, IRC i grau de protecció exigides per l'IDAE. Aquest últim paràmetre és de IP20 per al model elegit, i com s'ha explicat, segons la normativa aplicada, els valors del grau de protecció no deuen ser alts, per la qual cosa es considera un valor acceptable.

### 4.3 Distribució de lluminàries a les aules del centre

Al centre hi trobem diversos tipus d'aules, amb grandàries diferents segons l'activitat que es duu a terme. Les llums es col·loquen per parelles, de forma que en cada espai il·luminat de l'aula sempre hi ha dos tubs fluorescents junts units en paral·lel.

Per a simplificar el procés d'enumeració de les lluminàries, s'ha dut a terme una classificació de les aules segons el tipus de docència i el nombre de llums:

- Despatxos: destinats a l'Equip Directiu i als professors de cada departament. El nombre varia entre 4 i 8 tubs per despatx. Superfície: 15,9 m<sup>2</sup>.
- Aula ordinària: aquelles aules assignades a uns alumnes i un curs en concret (per exemple, 3r C). Es disposa, a cada una, d'un total de 24 tubs fluorescents. Superfície: 57 m<sup>2</sup>.
- Aula ordinària menuda: es tracta del mateix tipus d'aula que l'anterior, però són més menudes degut al menor nombre d'alumnes. Contenen entre 12-20 tubs fluorescents. Superfície: 35 m<sup>2</sup>.
- Aules especialitzades: es tracta d'aules destinades a activitats o assignatures concretes, com el laboratori de química, el taller de tecnologia o la biblioteca. Aquestes són més grans que les ordinàries i contenen de 30 a 48 tubs fluorescents. Superfície: 94 m<sup>2</sup>.
- Gimnàs: a la instal·lació esportiva es tindran en compte les llums dels dos banys, els dos vestuaris i el despatx del professor. Les llums de la pista coberta no són tubs fluorescents, si no que són focus més potents, especials per a pistes esportives d'interior. Superfície: 950 m<sup>2</sup>.
- Banys: hi ha de dos grandàries i poden estar il·luminats amb 6 tubs, o bé si són més grans, 12 tubs. Superfície: 30 m<sup>2</sup>.

A més, cal comptar els tubs dels passadissos de cada edifici. Realitzat el recompte a l'institut, el nombre de lluminàries totals al centre es mostra a la Taula 5:

*Taula 5: Distribució de tubs fluorescents per aules. Font: Pròpia*

Tipus d'aula	Nombre d'aules	Total de tubs fluorescents
<b>Despatxos</b>	26	142
<b>Aula ordinària</b>	33	792
<b>Aula ordinària menuda</b>	16	210
<b>Aula especialitzada</b>	14	464
<b>Gimnàs</b>	1	35
<b>Banys</b>	13	120
<b>Passadís</b>	-	183
	<b>Total tubs:</b>	<b>1946</b>

Com s'indica a la Taula 5, hi ha un total de 1946 tubs fluorescents a tot el centre. No obstant, com que aproximadament el 20 % dels tubs ja s'han canviat a tub LED, tindrem un total de 1557 tubs fluorescent a substituir.

Per altra banda, l'entrada a l'edifici principal és un espai ample i obert on es situa la finestra de consergeria i el punt d'encontre entre i rebuda de visites. El sostre d'aquesta és el del propi edifici, és a dir, la coberta, per la qual cosa ens trobem a un espai de molta altura. La llum natural és molt significativa en aquest espai del centre, ja que hi trobem vidrieres molt amples que il·luminen quasi tota l'estància. És per això que aquesta zona no és necessari que estiga il·luminada amb unes llums molt potents. L'objectiu de les lluminàries serà més bé el de crear un ambient similar al que genera la llum natural, és a dir, un espai de recepció tranquil i acollidor. Actualment, l'entrada està il·luminada amb dues llums que suposen un consum molt poc eficient, ja que consumeixen molta potència (250 W) i no il·luminen correctament l'estància. A més, tenen una temperatura del color molt més baixa del que es recomana, i creen una sensació d'enlluernament en diverses zones de l'espai, ja que la uniformitat i el nivell de flux lluminós tampoc és el correcte. Aquestes lluminàries es mostren a la Figura 5.



a) Enlluernament de la lluminària.



b) Ubicació de les llums d'entrada.

Figura 5 : Lluminàries instal·lades a l'entrada del centre. Font: Pròpia.

Per altra banda, com s'ha esmentat abans, les llums de la pista interior del gimnàs, no està il·luminada amb tubs fluorescents, si no que trobem uns focus especials per a pistes d'esport interiors. S'ha observat que aquestes llums si que es troben ben distribuïdes, de manera que l'espai està ben il·luminat, sense causar enlluernament.

A més, com poden veure a la Figura 6, el gimnàs també disposa de moltes vidrieres per on entra molta llum natural, de manera que no es requereix una gran intensitat de la llum, i les lluminàries instal·lades compleixen amb uns nivells de flux lluminós correctes. És per això que s'ha decidit no modificar aquesta part de la instal·lació, i es continuarà utilitzant aquest model de llums mentre faci bé la seua funció. En el moment en què deixen de funcionar, es canviarà per un model similar.



*Figura 6: Gimnàs de l'IES Puçol. Font: Pròpia*

Per últim, tenim les llums que il·luminen les pistes exteriors de futbol, situades al costat del gimnàs. En aquestes pistes es duen a terme activitats de l'assignatura d'educació física i també activitats d'oci durant el temps d'esplai dels alumnes. El sistema de il·luminació en aquesta part de l'institut està format per un total de 7 fanals, amb dos focus cadascun. Són llums molt potents, que gasten una quantitat d'energia elevada, ja que l'espai que han d'il·luminar és molt ampli. Es podria substituir per un model de focus més eficient, però s'ha observat que l'horari durant el qual es fa ús d'aquesta zona és sempre pel matí, per la qual cosa no es fan servir pràcticament mai. Els casos en que es fa servir són moments puntuals, com pot ser la celebració d'alguna festivitat on s'organitzen activitats en hores més avançades del dia. No obstant, com s'ha dit, aquests casos són molt minoritaris i anecdòtics. És per això que el canvi no ens eixiria rentable, ja que les llums noves tenen un preu elevat i no compensa amb l'ús que se'n faria d'aquestes.



Figura 7: Il·luminació pistes esportives exteriors. Font: Pròpia

#### 4.4 Proposta de substitució a tecnologia LED

Anteriorment, hem descrit els paràmetres que s'han de tenir en compte per a il·luminar un aula d'un centre docent, així com les característiques principals de les lluminàries instal·lades actualment segons l'aula en què ens trobem. Seguidament s'explicarà la proposta de substitució del sistema de il·luminació, amb el corresponent estalvi energètic que suposaria. Cal esmentar que, des de la direcció del centre es va demanar que es mantingués, dins del possible, el model de llum LED que ja es troba instal·lat en algunes aules, ja que per al personal de manteniment del centre, resulta un model fàcil d'instal·lar i que ha donat bons resultats. És per això que es tindrà en compte aquesta petició ja que, com s'ha comentat anteriorment, el model de llum LED elegit compleix amb la normativa per a la il·luminació de centres docents.

Per a dur a terme la substitució dels tubs fluorescents pels LED, s'han de tenir en compte diverses pautes pel que fa a la seguretat i el correcte funcionament de la instal·lació:

- Assegurar que no hi ha corrent circulant pel dispositiu. Per a major protecció, es pot esperar un període d'uns 30 minuts des de que hem desconnectat la corrent fins que es comença a treballar amb el dispositiu.
- La connexió dels tubs fluorescents compta amb alguns equips auxiliars, que s'hauran d'eliminar per a realitzar la connexió. Aquests són, per una part, les reactàncies, que limiten la corrent que circula durant l'arc elèctric i compensa les variacions en la tensió. Per altra part, també caldrà desconnectar els arrencadors, que són els encarregats de provocar l'arc elèctric. Una vegada s'haja extret el tub fluorescent, es podran treure aquests dispositius.
- Per a connectar correctament el tub LED, s'ha d'assegurar la connexió de la fase a un extrem i del neutre a l'altre extrem del portalàmpades.

Per últim, es presenta l'alternativa per a les llums de l'entrada del centre. S'ha elegit l'opció de col·locar dues campanes LED de la marca *Secom*, en concret el model "100W Konak", que es mostren

a la Figura 8. Aquestes aniran situades al mateix lloc on hi són les altres, i suposen un clar estalvi energètic, ja que només consumeixen 100W.



Figura 8: Campana LED Industrial Konak. (Secom, 2021)

Les característiques d'aquestes llums es presenten a la Taula 6.

Taula 6: Característiques de les campanes LED. Font: Pròpia

<b>Material</b>	<b>Alumini i policarbonat</b>
<b>Potència</b>	100 W
<b>Flux lluminós</b>	11340 lm
<b>IRC</b>	>80
<b>Protecció</b>	IP65
<b>Temperatura</b>	4000 K
<b>Apertura</b>	150°
<b>Vida útil</b>	50.000h
<b>Regulable</b>	No
<b>Preu</b>	200 €

Com es pot observar, les característiques són les desitjades per a aquest tipus d'estància, ja que tenim una temperatura de color similar a la llum natural, una potència acceptable per a la quantitat de flux lluminós que produeix, amb un índex de reproducció cromàtica elevat, a l'igual que el tipus de protecció. A més, presenta una vida útil molt elevada. Tot açò fa que puguem considerar acceptable aquest model, encara que siga una alternativa més cara.



## 4.5 Estudi de viabilitat de la il·luminació amb LED

Una vegada descrites les instal·lacions actuals del centre i presentades les propostes de substitució, cal dur a terme l'estudi de viabilitat del canvi a il·luminació a LED. Açò suposa el càlcul del pressupost per a aquesta part, tenint en compte les unitats d'obra corresponents. A més, es durà a terme l'estudi de l'energia que ens estalviaríem i també l'estudi econòmic de l'elecció d'aquesta proposta.

### 4.5.1 Resum del pressupost

A continuació es presenta el capítol del pressupost corresponent amb la proposta de substitució del sistema de il·luminació del centre, és a dir, el pressupost parcial i el pressupost d'execució material de la instal·lació LED.

Aquest capítol és el número 4 del pressupost general, on hi trobem dues unitats d'obra, la corresponent amb els tubs LED i la de les campanes LED.

A la Taula 7 es mostra el pressupost d'execució material:

*Taula 7: Pressupost d'execució material per a la instal·lació LED. Font: Pròpia.*

Capítol	Partida	Import (€)
<b>4</b>	Instal·lació LED	12.117,01
	<b>Total</b>	<b>12.117,01</b>

Per últim, es mostra a la Taula 8 del pressupost final per a la instal·lació de la il·luminació LED, on s'han afegit els costos per despeses generals, el benefici industrial, els honoraris, i els impostos corresponents a l'IVA (Impost al Valor Agregat).

*Taula 8: Pressupost final de la instal·lació LED. Font: Pròpia*

<b>Pressupost d'execució material</b>	<b>12.117,01</b>
<b>Despeses generals (12 %)</b>	1.454,04
<b>Benefici industrial (6 %)</b>	727,02
<b>Pressupost d'execució per contracta</b>	14.298,07
<b>Honoraris (4 %)</b>	571,92
<b>IVA (21 %)</b>	3.002,59
<b>PRESSUPOST FINAL</b>	<b>17.872,59</b>

Com podem observar als càlculs de la Taula 8, el pressupost final és de 17.872,59 €.

#### 4.5.2 Estalvi energètic amb il·luminació LED

En aquest apartat s'estudiarà el possible estalvi de potència que suposaria el canvi a tecnologia LED. Així doncs, primerament es calcularà l'estalvi de potència per a les llums de les aules, és a dir, el canvi dels tubs fluorescents per tubs LED, i en segon lloc, el canvi de les llums de l'entrada per campanes LED.

Com s'ha calculat en apartats anteriors, el total de tubs instal·lats a les aules del centre és de 1946 lluminàries, de les quals tal i com es va comunicar des del personal de manteniment del centre, un 80% d'aquestes són tubs fluorescents. Així doncs, tindriem aproximadament 1557 tubs fluorescents per a canviar. Sabent que els tubs fluorescents consumeixen cadascun una potència de 38 W, tenim que la potència total consumida és de 59,166 kW, mentre que amb els tubs LED (22 W) es consumeixen 34,254 kW, el que suposa un estalvi de més del 42 %.

Pel que fa a la part de l'entrada, hem dit que teníem dos llums de 250 W cadascuna, és a dir, es consumeix un total de 500W. Amb la instal·lació de les campanes LED (100 W), es consumiria un 40 % menys de potència, 200 W.

En conclusió, el resum de l'estalvi energètic del canvi a tecnologia LED es presenta en la Taula 9:

*Taula 9: Estalvi energètic amb tecnologia LED. Font: Pròpia.*

Lluminàries	Consum de potència de la tecnologia anterior (kW)	Consum de potència de la tecnologia LED (kW)	Estalvi de potència (kW)
Tubs aules	59,166	34,254	24,912
Llums entrada	0,5	0,2	0,3
<b>TOTAL:</b>			<b>25,212 kW</b>

La nova potència consumida seria de 25,212 kW. Una possibilitat que es podria contemplar seria la de baixar el terme de potència contractada en la factura, de manera que passariem del valor de 80 kW actualment contractats per al període punta i pla, a uns 60 kW, el que suposaria un estalvi energètic i econòmic important per al centre.

No obstant, calcularem l'estalvi anual en termes d'energia amb la tarifa actualment contractada, els resultats del qual es mostren a la Taula 10.

Taula 10: Estalvi total anual. Font: Pròpia.

Períodes	Estalvi de potència (kW)	Hores al dia	Hores anuals	Estalvi en consum (kWh)	€/kWh	Estalvi econòmic (€)
<b>P1</b>	25,212	4	1460	36809,52	0,01876 2	690,62
<b>P2</b>	25,212	10	3650	92023,8	0,01257 5	1157,19
<b>P3</b>	25,212	10	3650	92023,8	0,00467	429,75
<b>ESTALVI TOTAL ANUAL:</b>						<b>2277,57 €</b>

Així doncs, tenint en compte el preu de la llum per als diferents períodes durant el dia i l'estalvi en el consum amb la tecnologia LED, l'estalvi anual ens dona un total de 2277,57 €.

#### 4.5.3 Estudi de viabilitat econòmica

L'altra part de l'estudi de viabilitat és la referida a l'aspecte econòmic de la proposta. L'estalvi en la factura elèctrica del centre es va convertir en un objectiu primordial en gran part degut a les nombroses fluctuacions del preu de la llum en els últims mesos i, en concret, al mes d'Agost, on s'han registrat rècords històrics. Davant d'aquesta situació inestable i d'incertesa, alternatives més eficients com és el LED suposaren un menor consum i, per tant, una baixada en la factura mensual de llum del centre.

Així doncs, a continuació es comprovarà la rendibilitat econòmica del projecte de substitució del sistema de il·luminació del centre. Per a açò es farà ús de dos mètodes, que són el càlcul del VAN (Valor Actual Net) i el TIR (Tassa Interna de Retorn), àmpliament utilitzats per a la valoració d'inversions de projectes.

Per una banda, el VAN determina la rendibilitat del nostre projecte de manera que hi tenim les tres possibilitats següents:

- **VAN > 0:** Es generaran beneficis, és a dir, es pot acceptar el projecte.
- **VAN = 0:** No es generaran ni beneficis ni pèrdues.
- **VAN < 0:** No es generaran beneficis i, per tant, s'ha de rebutjar el projecte.

Per altra banda, tenim el TIR (Tassa Interna de Retorn), altre mètode per analitzar la viabilitat d'un projecte. Aquest es representa en percentatge, i té en compte la taxa de descompte (k), que serà la que determine si el nostre projecte és rentable. Per al nostre cas tenim una  $k = 4\%$ , i per tal de comprovar que siga rentable, el TIR haurà de ser major a aquest valor.

Així doncs, es procedeix a calcular el Valor Actual Net per mitjà de la ferramenta Microsoft Excel per a aquesta proposta del projecte. Per al nostre cas, tenim una inversió inicial de 17.872,59 €, calculada anteriorment en el pressupost. Com que la part de la il·luminació suposa aproximadament el 50% del consum elèctric del centre, tindriem que, actualment, l'import de la factura d'il·luminació és de

10.180,62 €. Considerant una vida útil per a la instal·lació de 10 anys, ens dona els següents valors, reflexats a la Taula 11.

*Taula 11: TIR i VAN. Font: Pròpia*

<b>TIR (%)</b>	<b>4,67 %</b>
<b>VAN</b>	16.763,12 €

En conclusió, la proposta de substitució de d'instal·lació de il·luminació del IES Puçol seria rentable, ja que tenim un valor del VAN > 0 i un TIR major a la tasa de descompte (4 %).

## 5 Instal·lació fotovoltaica

Per al desenvolupament d'aquesta proposta d'eficiència energètica, s'haurà d'explicar prèviament les parts de la instal·lació i les característiques de cadascun dels components.

En aquest cas, ens trobem en un cas de instal·lació connectada a la xarxa. Açò implica que es pot obtenir energia per satisfer les necessitats energètiques del centre si en algun moment la instal·lació fotovoltaica no produeix suficient energia. Per altra banda, si estem en la situació oposada en la qual el nostre sistema fotovoltaic produeix més energia de la que es necessita, aquest excedent és injectat a la xarxa. Els dos casos es tindran en compte per a l'estudi de viabilitat econòmica.

Destacar també que l'energia generada per la instal·lació es desitja que siga la més elevada que es puga produir, de manera que el nombre de panells fotovoltaics serà el màxim que ens permeta l'espai de què disposem. Això és, no es limitarà a obtenir la potència que necessitem per al centre, sinó que es pretén produir un excedent que serà entregat i venut a la xarxa. Igualment, serà explicat amb major detall en els apartats que segueixen.

### 5.1 Parts de la instal·lació fotovoltaica

Com s'ha esmentat abans, a continuació es mostra un esquema d'una planta fotovoltaica connectada a xarxa, amb l'explicació de cada part.

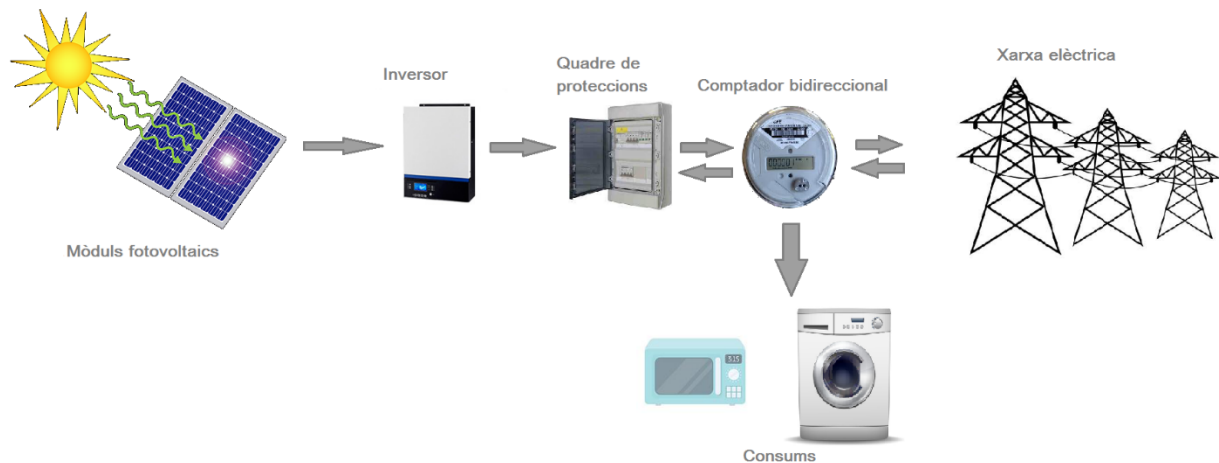


Figura 9: Esquema d'una instal·lació fotovoltaica connectada a xarxa. Font: Pròpia

- Mòdul fotovoltaic: és l'element de la instal·lació que captura l'energia solar. Està format per cèl·lules fotovoltaiques, on ocorre la conversió de l'energia solar a energia elèctrica. Un conjunt de mòduls connectats componen el que anomenem panells solars. Els més utilitzats a dia d'avui són els mòduls de silici monocristal·lí, els beneficis del qual s'explicaran en l'apartat 5.3. "Elecció del tipus de mòdul fotovoltaic".

- Inversor: transforma la corrent continua obtinguda en corrent alterna, de forma que siga compatible amb la xarxa elèctrica i pugui ser consumida. Per al cas d'una instal·lació connectada a xarxa, els inversors han d'optimitzar l'energia obtinguda dels mòduls fotovoltaics i aproximar-se el millor possible a la tensió de la xarxa.
- Quadre de proteccions: dispositius encarregats de protegir tot el sistema front a sobretensions o altres accidents. Protegeix tant la part de continua, que és la que va des dels panells fins a l'entrada de l'inversor, com la part d'alterna, que va des de l'eixida de l'inversor fins als consums o la xarxa elèctrica. Es solen utilitzar fusibles, interruptors o altres similars.
- Comptador bidireccional: és necessari per comptar l'energia que s'entrega a als consums o a la xarxa elèctrica, i també quina és la que entra al sistema, en cas de no tenir prou subministrament elèctric en un moment determinat.

Alguns sistemes també inclouen un acumulador o bateria per a l'emmagatzemament de l'energia sobrant produïda, però no és aquest el cas d'estudi, ja que la instal·lació està connectada a xarxa, i l'energia que no s'utilitza es vendrà a canvi d'una retribució econòmica, com s'ha explicat a l'apartat anterior.

## 5.2 El mòdul fotovoltaic

Abans d'elegir el model de mòdul fotovoltaic, cal introduir un resum de les característiques més importants del seu funcionament.

L'element comú a les fitxes tècniques per a qualsevol model de mòdul fotovoltaic és la corba I-V o corba de potència. Aquesta descriu el comportament del mòdul i, en definitiva, de la cèl·lula, per a diferents punts de tensió i corrent. A continuació, en la Figura 10, es mostra un esquema general de corba de potència per a qualsevol panell fotovoltaic i es descriuen els paràmetres més significatius.

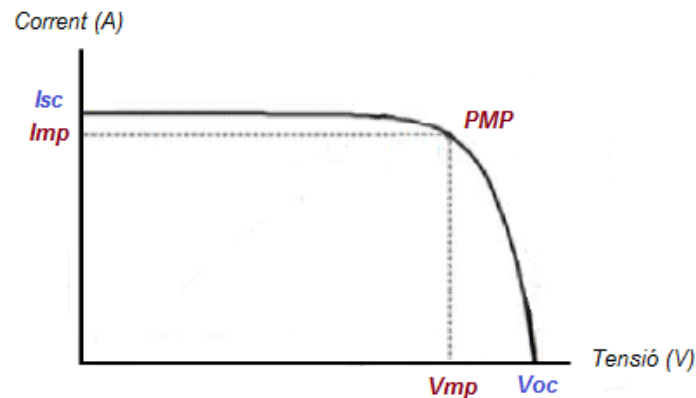


Figura 10: Corba I-V Font: Pròpia

- **Corrent de curtcircuit ( $I_{sc}$ ):** el màxim valor de la corrent per a tensió nul·la.
- **Tensió de circuit obert ( $V_{oc}$ ):** el màxim valor de la tensió per a corrent nul·la.
- **Intensitat de màxima potència ( $I_{mp}$ ):** valor de la corrent on la potència és màxima.
- **Tensió de màxima potència ( $V_{mp}$ ):** valor de la tensió on la potència és màxima.
- **Punt de màxima potència (PMP):** el que ve definit per els dos punts anteriors, és a dir, el producte de la corrent i tensió de màxima potència. Sempre es procura que el mòdul estiga funcionant a aquest punt, ja que la producció d'energia es maximitza.
- **Factor de forma:** relació entre l'energia que arriba al mòdul i la que finalment es produeix. Així doncs, s'obté dividint el producte de la tensió i corrent de màxima potència, entre el producte de la corrent de curtcircuit i la tensió de circuit obert. Per a condicions ideals, el valor seria igual a la unitat. Normalment solen variar entre 0,7 i 0,8.

Aquestes corbes es defineixen per a condicions STC (Standard Test Condition), és a dir, per a condicions ideals de laboratori, sense tindre en compte les pèrdues per factors ambientals. En la situació real, el funcionament dels mòduls variarà contínuament. És per això que, per garantir una producció d'energia òptima, es farà un seguiment continuat del punt de màxima potència (PMP).

### 5.2.1 Elecció del mòdul fotovoltaic

El mòdul fotovoltaic està format per un conjunt de cèl·lules fotovoltaïques agrupades en sèrie o paral·lel que entreguen una determinada tensió en continua. És per això que el tipus de mòdul depèn del material del qual estan fabricades les cèl·lules. Per a aquest projecte ens centrarem en les cèl·lules fotovoltaïques de silici (Si), al ser les més adequades per a la nostra instal·lació.

Actualment, s'expliquen les tres tecnologies predominants, mostrades en la Figura 11, que hi ha en el mercat:

- **Silici monocristal·lí:** és la més antiga dins de les tecnologies més emprades actualment i es caracteritzen pel seu color obscur homogeni. S'obtenen a partir de silici pur dopat amb bor. Són els que tenen una eficiència més alta, amb valors entre 15-18 %. És la tecnologia més cara de les tres, ja que produeix més potència i requereix major energia per a la seua fabricació. A més, tenen una llarga vida útil i la pèrdua d'eficiència màxima és d'un 10% respecte al valor nominal.
- **Silici Policristal·lí:** S'obtenen a partir d'un procés difusió i colat de silici en un motle, de forma que queda en peces quadrades. És més econòmic que l'anterior, encara que varia lleugerament. Presenta unes eficiències menors que els monocristal·lins, entre 12-14 %.
- **Silici amorf:** són cèl·lules amb un grossor més menut que les anteriors (capa fina), amb un color marró homogeni. No tenen estructura cristal·lina, sinó que es fabriquen depositant el material sobre un substrat, que pot ser vidre, metall, etc. Tenen un cost molt reduït front a la tecnologia cristal·lina, ja que requereixen molt poc de silici i poca energia per a la seua fabricació. No obstant, presenten una menor eficiència (<10 %) i, a més, el rendiment disminueix significativament amb el temps.



Figura 11: Tipus de cèl·lules fotovoltaïques. Font: Pròpia

El model de mòdul fotovoltaic per al projecte l'obtindrem a partir de diversos factors que s'expliquen a continuació. Es farà una selecció d'entre els principals fabricants de panells fotovoltaïcs actualment i els models més adequats de cadascun.



Seguidament es presenta la Taula 12 amb les diferents opcions a elegir, on es destaquen les principals característiques obtingudes a partir de les respectives fitxes tècniques.

Taula 12: Models de mòduls fotovoltaics. Font: Pròpia

Model	Marca	Potència (W)	Eficiència (%)	Dimensions (mm)	Preu (€)
<b>JKM330PP-72</b>	Jinko Solar	330	17.01	1956 x 992 x 40	95.35
<b>JKM400M-72H-V</b>	Jinko Solar	400	19.88	2008 x 1002 x 40	100.25
<b>Vertex S TSM-DE09.08</b>	Trina Solar	405	20.8	1754 x 1096 x 30	113.17
<b>JAM72S20 440-465/MR</b>	JA solar	450	20.2	2120x1052x40	130.28

Entre els models seleccionats, l'elegit per aquest projecte és el panell solar “**Vertex S TSM-DE09.08**”, de la marca “Trina Solar”. És el de millor eficiència d'entre els fabricats amb silici monocristal·lí, i té un preu raonable pel que fa a la potència generada i el tipus de mòdul fotovoltaic. A més, té unes dimensions adequades per a l'espai de què disposem al sostre de l'institut (2400 m<sup>2</sup>).

A continuació, a la Taula 13, es mostren les dades elèctriques del model triat en condicions de laboratori (STC) i condicions reals de funcionament (NOCT), junt amb la seua corba I-V.

Taula 13: Dades elèctriques del mòdul. Font: Pròpia.

Paràmetre	STC	NOCT
<b>Potència màxima (P<sub>max</sub>)</b>	405 Wp	302 Wp
<b>Voltatge a potència màxima (V<sub>mp</sub>)</b>	34.2 V	32.2 V
<b>Corrent a potència màxima (I<sub>mp</sub>)</b>	11.7 A	9.38 A
<b>Voltatge de circuit obert (V<sub>oc</sub>)</b>	41.2 V	38.8 V
<b>Corrent de curtcircuit (I<sub>sc</sub>)</b>	12.28 A	9.90 A

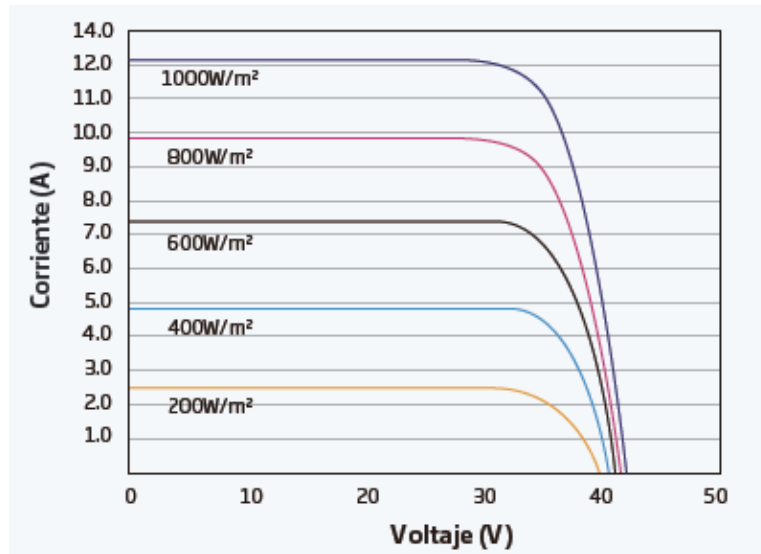


Figura 12: Corba I-V Vertex S DE09.08 (Trina Solar, 2020).

Com es pot observar a la Figura 12 de la corba I-V, per a condicions STC ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), la potència màxima que obtenim és de  $405 \text{ W}$ , tal i com s'ha indicat. No obstant, per a la situació real, en la qual tindrem pèrdues per agents ambientals, com pot ser el vent, la temperatura o diferents valors de irradiància, la potència generada pel mòdul disminuirà considerablement. El valor serà aproximadament de  $302 \text{ W}$  (condicions NOCT).

## 5.3 Disposició dels panells

Una vegada establert el model a utilitzar, cal estudiar la posició amb la que instal·larem cadascun dels mòduls fotovoltaics, per tal d'optimitzar l'aprofitament de la radiació solar per a la nostra zona en concret. És per això que a continuació es descriurà l'orientació dels mòduls i es calcularà la inclinació amb que es col·locaran els mateixos.

### 5.3.1 Orientació dels mòduls

Per orientar correctament els mòduls és necessari conèixer l'angle d'azimut. Aquest és, per al cas del Sol, un dels paràmetres que defineixen la posició a la que es troba, vist des d'una posició concreta. Així doncs, tal i com es cita al llibre *Energia solar fotovoltaica (Col·lecció Quadern pràctic 4)*, proporcionat per l'Institut Català de l'Energia, es defineix l'azimut com "L'angle comprès entre la projecció dels raigs solar sobre el pla tangent a la superfície terrestre i el sud geogràfic" (Marta Tudel, 2011).

Donat que la irradiància varia segons la localització i, conseqüentment, la posició del Sol respecte a aquesta, l'eficiència d'un mòdul fotovoltaic té relació directa amb l'angle d'azimut, o el que és el mateix, l'orientació a la qual els col·loquem.

Segons l'hemisferi on trobem, les característiques de la radiació solar seran diferents donada la trajectòria de la posició del Sol al llarg del dia. Per a l'hemisferi nord, l'orientació òptima per als mòduls serà cap al sud, ja que així s'assegura que al mig dia (hores centrals), que és quan tenim un valor de irradiància més elevat, les plaques solars miren cap aquesta direcció i s'aprofita al màxim la radiació solar incident.

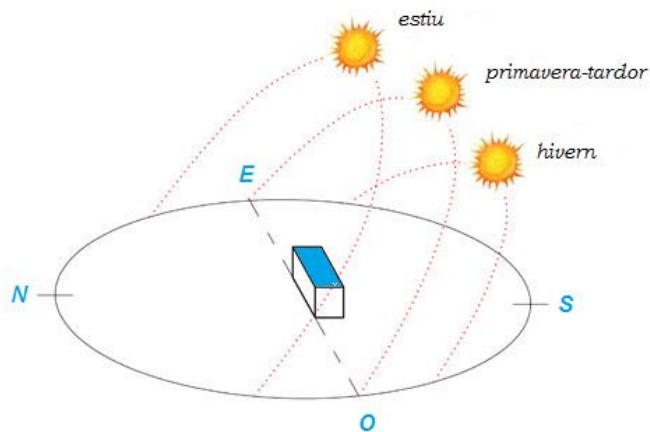


Figura 13: Trajectòria del Sol a l'hemisferi nord. Font: Pròpia

Com podem observar a la Figura 13, l'altura del Sol per a un mateix moment del dia és diferent segons l'estació a la que ens trobem. Durant l'estiu és quan obtindrem valors més elevats de radiació solar, ja que l'eficiència de la nostra instal·lació serà major quan més perpendicular es trobe el Sol respecte als mòduls.

A continuació es mostra a la Figura 14 la el que anomenem la “carta solar” d’un lloc concret, obtinguda a partir de l’aplicació *Global Solar Atlas*. Es tracta d’un gràfic on es representen les diferents posicions del Sol observades des d’un punt, en el nostre cas, la població de Puçol. Així doncs, la trajectòria del Sol queda definida per la corba de color negre, a partir de tres paràmetres: l’elevació del Sol, l’azimut i el temps (hores).

Com podem observar, per a la nostra ubicació, la posició més alta del Sol s’obté a les 14:00h en estiu i per a un angle d’azimut 0° (orientació sud), i té un valor d’aproximadament 74°.

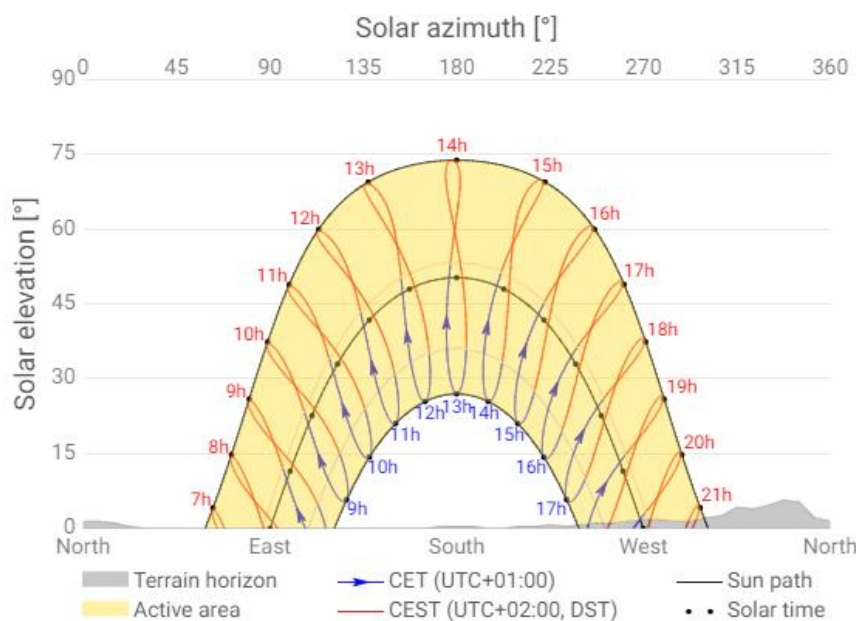


Figura 14: Elevació i azimut (*Global Solar Atlas*, 2021).

### 5.3.2 Inclinação dels mòduls

Com s’ha esmentat abans, l’eficiència d’un mòdul serà màxima quan més s’apropi aquest a la direcció perpendicular del Sol. Així, una vegada elegida l’orientació, queda determinar la inclinació òptima dels panells solars.

Es farà ús de dos programes molt utilitzats en l’àmbit de la generació fotovoltaica per a calcular l’angle d’inclinació òptim.

Per una banda, tenim la ferramenta *Global Solar Atlas*, que ens proporciona un informe per a la nostra localització, on ens mostra un angle òptim de 35°.

Per altra banda, utilitzem l’aplicació *PVGis*, on s’ha introduït de nou la localització exacta i s’ha obtingut l’informe per al càlcul del rendiment d’una instal·lació fotovoltaica connectada a xarxa, on ens indica un angle de inclinació òptim de 35°, a l’igual que en el primer programa.

Es podria considerar que és una inclinació raonable, donat que és una dada similar a la latitud del terreny és de 39°, amb la qual està directament relacionada. De tota manera, a continuació es comprovarà que l’angle és correcte fent ús de la normativa indicada al Plec de Condicions Tècniques

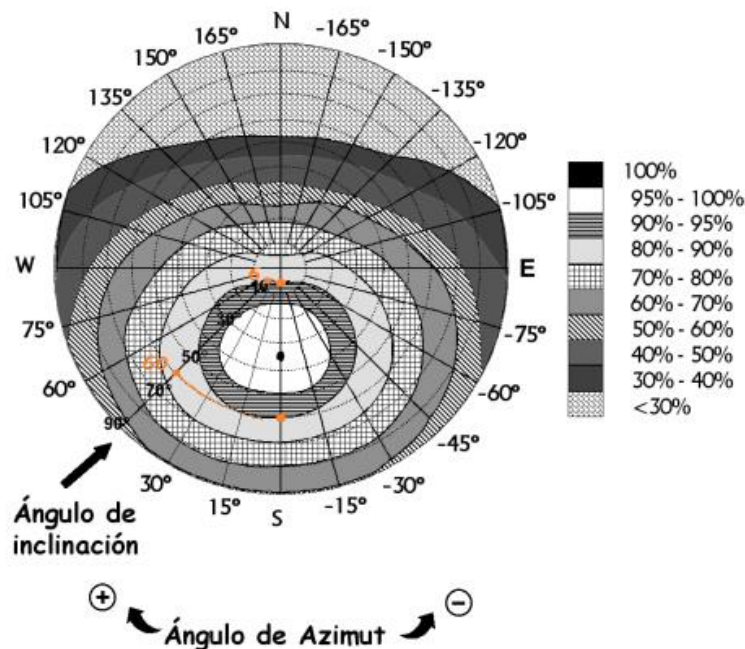
de Instal·lacions Connectades a Xarxa (IDAE, 2011), de l'Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia. Tal com s'indica a l'annex II del document, els límits acceptables d'inclinació venen determinats per les següents expressions:

$$\text{Inclinació màxima} = \text{Inclinació màxima}(\alpha = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud})$$

$$\text{Inclinació mínima} = \text{Inclinació mínima}(\alpha = 41^\circ) - (41^\circ - \text{latitud})$$

Per obtenir ambdues dades, sabem el nostre angle d'azimut ( $0^\circ$ , orientació sud) i la latitud ( $39^\circ$ ). Seguidament, hem d'identificar els punts màxim i mínim per al cas d'una inclinació de  $41^\circ$ . Les pèrdues per orientació i inclinació, segons la normativa, no han de superar el 10 %.

Així, al Gràfic 3 situem dos punts d'intersecció segons les dades esmentades, d'on s'obtenen les inclinacions màximes i mínimes per a  $41^\circ$ . Podem observar que per a unes pèrdues del 10% (90%-95%), tenim:



Gràfic 3: Angle de inclinació i azimut (IDAE, 2011)

$$\text{Inclinació màxima} (\alpha = 41^\circ) = 60^\circ$$

$$\text{Inclinació mínima} (\alpha = 41^\circ) = 6^\circ$$

Substituint les dades anteriors:

$$\text{Inclinació màxima} = 60^\circ - (41^\circ - 39^\circ) = 58^\circ$$

$$\text{Inclinació mínima} = 6^\circ - (41^\circ - 39^\circ) = 4^\circ$$

$$[\text{Inclinació mínima}, \text{Inclinació màxima}] = [4^\circ, 58^\circ]$$

Es comprova que l'angle d'inclinació  $35^\circ$  es troba dins del rang i, per tant, és correcte, ja que ens assegurem que les pèrdues no sobrepassen els límits establerts per la normativa.

## 5.4 Estructura de suport

Per suportar els panells necessitem un element de suport que s'adapte al model de mòdul elegit i a la nostra superfície. Es tracta d'una part molt important del muntatge dels panells, ja que tindrà, com funció principal, suportar el pes dels panells i els esforços del vent. A més, han d'estar fabricats amb materials que assegurin una llarga vida útil, a la vegada que dispose d'un muntatge senzill.

Com que els nostres mòduls s'instal·laran orientats cap al sud, el vent que més haurem de tenir en compte serà el provinent del nord, ja que en aquesta direcció es produiran forces de tracció, tal i com es representa a la Figura 15.

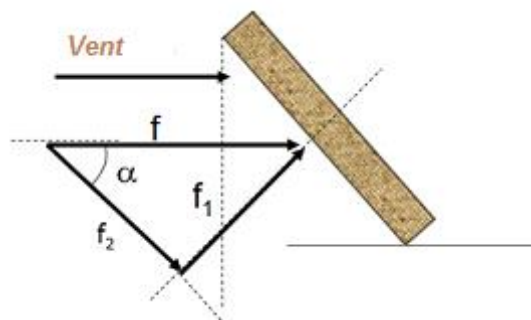


Figura 15: Forces del vent sobre el mòdul. Font: Pròpia

Per a aquest projecte s'ha elegit l'estructura de suport de la marca espanyola *Sunfer*, en concret el model 12 V. Es tracta d'una estructura d'alumini per a coberta plana, regulable de 20° a 35° i per a mòduls de 30 a 45 mm d'espessor. Les dimensions s'acoblen a les mesures del nostre mòdul, ja que són aptes per a mòduls de fins a 2279 x 1150 mm, i les mesures del nostre panell són 1754x1096 mm. La disposició dels mòduls és en vertical, tal i com s'ha previst al càlcul de l'espai entre files mòduls i objectes.

Cal destacar la facilitat de muntatge de l'estructura i la garantia de funcionament sense cap tipus de manteniment durant 10 anys. A més, el repartiment de l'estructura en diferents parts fa que, en cas que alguna de les peces es danyi, es pugui canviar per separat, sense tindre que renovar la resta de components. A la Taula 14 es presenten les característiques principals, extretes de les fitxes tècniques del fabricant:

Taula 14: Característiques tècniques de l'estructura de suport. Font: Pròpia

Material	Alumini
Disposició dels panells	Vertical
Angles d'inclinació	20°-35°
Espessor	30-45 mm
Dimensions	Fins a 2279x1150 mm
Tipus de superfície	Coberta plana

## 5.5 Dimensió de la instal·lació

En funció del model de panell solar elegit i la potència necessària es calcularà l'espai que ocuparà la nostra instal·lació.

Com s'ha comentat anteriorment, tenim una potència contractada per a hores punta, pla i vall de 80 kW, 80 kW i 30 kW, respectivament. Llavors, haurem de generar una potència mínima de 80 kW per abastir el centre. De tota manera, cal insistir en que l'objectiu és el de produir molta més potència de la que es necessita, com s'ha comentat anteriorment. Llavors, haurem de calcular primer de tot, quants mòduls fotovoltaics del model que hem triat cabrien a l'espai que tenim disponible.

El sostre de l'edifici principal té una superfície aproximada de 2400 m<sup>2</sup>. En aquest espai haurem de col·locar tots els elements necessaris de la instal·lació fotovoltaica, no només els mòduls. Així doncs, haurem de col·locar els mòduls, l'inversor o inversors, les proteccions i, en últim lloc, l'espai pertinent per a les tasques de manteniment.

Seguidament, es duran a terme els càlculs amb què podrem obtenir el nombre de mòduls a instal·lar finalment.

### 5.5.1 Espai entre mòduls

La separació que s'estableix entre cada mòdul és de gran importància, ja que condiona el bon funcionament de la cèl·lula fotovoltaica. És per això que l'espai ha de ser suficient per a que no s'hi produïsquen ombres i tenir un rendiment òptim. Tanmateix, s'han de considerar les tasques de manteniment, que impliquen que l'operari pugui arribar sense complicacions a tots els components.

Una situació que s'ha d'evitar és la projecció d'ombres d'altres objectes i dels mateixos mòduls entre si. Quan una part del mòdul es troba perjudicada per una ombra, es crea una diferència d'irradiància. Les cèl·lules afectades deixen de produir energia i bloquegen la intensitat produïda per la resta, creant un perill de sobreescalfament (punt calent). Tot i que actualment s'apliquen solucions per tal de no causar danys al mòdul, com la connexió de díodes bypass, cal tenir-ho en compte, ja que afecta negativament al rendiment i, conseqüentment, als beneficis econòmics del projecte.

Tot seguit es duran a terme els càlculs necessaris per determinar la distància mínima entre files de mòduls, seguint el Plec de Condicions Tècniques de Instal·lacions Connectades a Xarxa (IDAE, 2011). Les distàncies a tenir en compte es mostren a la Figura 16.

Siga:

$d$ , la distància entre dues files de mòduls.

$k$ , valor adimensional que depèn de la latitud i que obtindrem a partir dels valors de la Taula 15.

$h$ , el valor de l'altura dels mòduls en vertical.



Taula 15: Valors de  $k$  en funció de la latitud. (IDAE, 2011).

Latitud	29°	37°	39°	41°	43°	45°
$k$	1.600	2.246	2.475	2.747	3.078	3.487

L'expressió per al càlcul de la distància mínima entre files de panells és:

$$d \geq h \cdot k$$

Segons dades obtingudes a partir de l'aplicació *Google Earth*, el nostre centre té unes coordenades de 39°36'54"N 0°18.55"W, és a dir, tenim una latitud de 39° i per tant,  $k$  tindrà un valor de 2.475.

Per altra banda, a l'apartat 5.4.2. s'ha obtingut la inclinació dels panells, amb la qual podem calcular l'altura  $h$ . Sabent les dimensions del mòdul ( $l=1.754\text{m}$ ) i que la inclinació ( $\alpha$ ) és de 35°:

$$h = 1,754 \cdot \sin 35^\circ = 1,006 \text{ m}$$

Fent ús de l'expressió anterior:

$$d \geq 1,006 \cdot 2,475$$

$$d \geq 2,489 \text{ m}$$

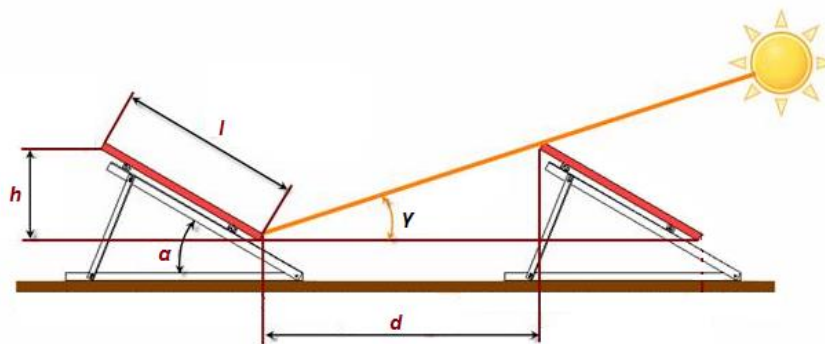


Figura 16: Distància entre mòduls. Font: Pròpia

Així doncs, la distància mínima entre mòduls serà 2,489 m. No obstant, agafarem una distància de 2,5 m per facilitar la distribució.

A més, cal mencionar que, a la superfície de la coberta, trobem dos objectes a tenir en compte per a la projecció d'ombres cap als mòduls. Aquests són, per una banda l'espai de l'escala o l'accés a la coberta des de l'interior de l'edifici, i per altra banda, una caseta d'emmagatzematge de material.

A l'espai de l'escala o accés a la coberta ocupa una superfície d'aproximadament 12,25 m<sup>2</sup>, amb una alçada de 3 m. La fórmula que utilitzarem és la mateixa, encara que ara varia l'altura  $h$ :

$$d_{\text{escala}} = 3 \cdot 2,475 = 7,425 \text{ m} \approx 7,5 \text{ m}$$

Finalment, calcularem la distància mínima per a la caseta d'emmagatzematge. Aquesta té una superfície d'uns 4,62 m<sup>2</sup> i una altura de 1,5 m. Així doncs, tenim:

$$d_{caseta} = 1,5 \cdot 2,475 = 3,7125 \text{ m} \approx 3,72 \text{ m}$$

En conclusió, la distància entre files de mòduls serà de 2,5 m i entre l'espai de l'escala i la caseta i els mòduls, 7,5 m i 3,72 m, respectivament.

### 5.5.2 Distribució dels panells

En aquest punt, havent calculat l'orientació i inclinació dels mòduls i la separació entre objectes per a evitar pèrdues per ombres, ens trobem ja en disposició d'elegir el nombre de panells que instal·larem, la seua distribució i, finalment, la potència que generarà la nostra instal·lació.

La distribució, amb totes les distàncies obtingudes als apartats anteriors i orientant els mòduls cap al sud, s'ha dut a terme mitjançant el programa informàtic *AutoCAD*. El resultat es mostra a la Figura 12, el plànol detallat del qual es troba en l'apartat de plànols del projecte, on s'hi indicaran les mesures entre cadascun dels objectes acotades i la llegenda. La posició de la coberta de l'edifici es correspon amb la orientació real, és per això que la distribució dels mòduls s'ha fet seguint les indicacions d'orientació cap al sud.

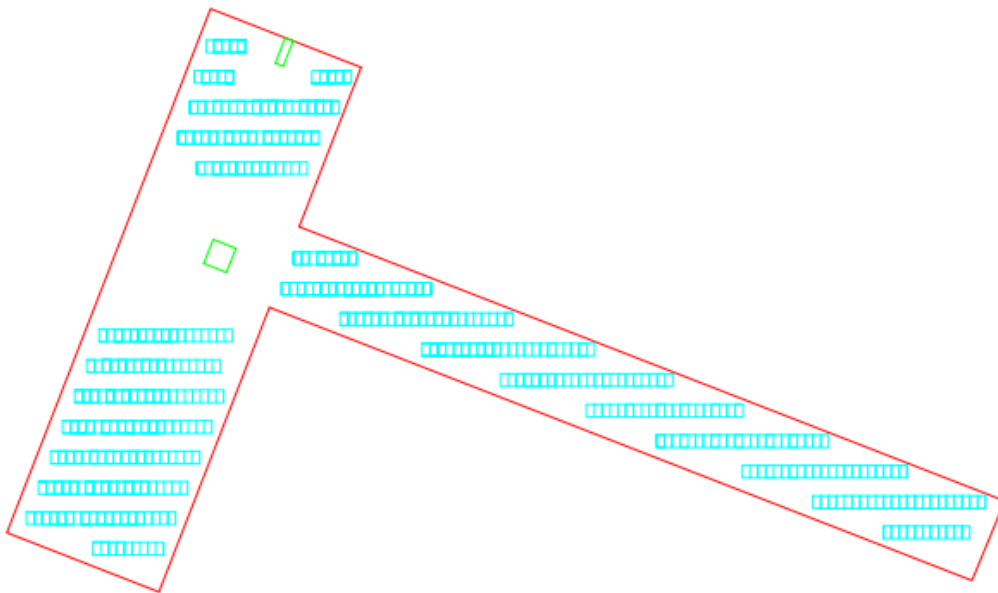


Figura 17: Distribució dels mòduls fotovoltaics. Font: Pròpia

Així doncs, tenim superfície disponible per a un total de 380 mòduls. Sabent que cada mòdul produeix una potència màxima de 405 W, podem calcular la potència total de la instal·lació, que resulta:

$$P_{instal·lació} = n^{\circ} \text{ mòduls} \cdot P_{mòdul} = 380 \cdot 405 = 153,9 \text{ kW}$$

Aquesta potència serà la que, idealment, generaran tots els mòduls de què disposem a la planta fotovoltaica, i per tant, és la que es considerarà per a l'elecció de l'inversor o convertidor de potència per a més tard ser consumida o bé venuda a la xarxa elèctrica.

## 5.6 Inversor

L'inversor, també conegut com convertidor, és una de les parts fonamentals de qualsevol instal·lació fotovoltaica. És el dispositiu encarregat de transformar la corrent continua rebuda dels mòduls a corrent alterna, a 230 V i 50 Hz, que és la que ens proporciona la xarxa elèctrica. Podríem dir que és l'element central de la instal·lació, ja que afecta directament al funcionament i la connexió de totes les parts de la planta fotovoltaica. Pel que fa als mòduls, es tindrà en compte tant per al mode de connexió com per a la potència a instal·lar.

Els inversors de connexió a xarxa necessiten estar connectats a aquesta en tot moment, ja que no se'ls instal·la cap acumulador, com seria el cas del funcionament d'un sistema autònom. En efecte, com ja s'ha explicat en apartats anteriors, l'energia produïda no consumida es podrà avocar a la xarxa.

Llavors, les funcions principals d'un inversor són:

- Adaptar el tipus de corrent a la de la xarxa elèctrica, de la qual obtindrem energia elèctrica quan ho necessitem o bé abocarem l'energia sobrant produïda per la nostra instal·lació.
- Controlar la qualitat de l'energia destinada a la xarxa, fent la ona el més sinusoidal possible.
- Fixar la corrent entregada pels mòduls per a mantenir sempre uns valors pròxims als de la potència màxima.

Tot seguit, cal mencionar quines són les característiques que es tenen en compte per a l'elecció d'un model concret d'inversor. Aquestes són:

- Tensió d'entrada: és la que correspon als mòduls fotovoltaics connectats i la que s'aplica en borns de l'entrada de l'inversor.
- Potència: per una banda tenim la potència nominal, expressada en volt-ampers (VA), i que correspon amb la que és subministrada per l'inversor de manera continua. Per altra banda, tenim la potència activa (W), que és la potència real subministrada.
- Factor de potència: quocient entre la potència activa i la potència a l'eixida de l'inversor (aparent). Determina l'eficiència del consum elèctric, és a dir, el percentatge de potència útil que produeix. Així, un factor de potència igual a la unitat seria el cas ideal, en què no tindriem pèrdues, és a dir, potència reactiva nul·la. Segons normativa, el factor de potència ha de tenir un valor mínim de 0,95.
- Rendiment: es la relació entre la potència d'eixida i la potència d'entrada a l'inversor. El valor òptim s'obtindrà sempre que la potència màxima proporcionada pels mòduls siga major a la potència nominal de l'inversor. També es pot veure afectat per pèrdues causades pels mateixos components de l'inversor, com pot ser el sistema de seguiment o les connexions. Actualment trobem dispositius amb rendiments d'entre 90-95 %.
- Capacitat de sobrecàrrega: es traca de l'aptitud de l'inversor per suportar una potència superior a la nominal, ja que sempre s'haurà d'intentar mantenir-se a eixos valors.
- Vida útil: s'haurà de garantir una vida útil mínima d'uns 3 anys.
- Forma d'ona: per a una instal·lació connectada a xarxa, el tipus d'ona proporcionada per l'inversor ha de ser sinusoidal pura. Per a açò s'utilitza modulació PWM, que permet regular la potència i el voltatge rms de l'ona.

- Punt de màxima potència: aquest ha de ser el punt de funcionament de l'inversor en tot moment possible. Per a açò, s'utilitza el que s'anomena seguidor del punt de potència màxima (MPPT), que calcula el valor de la corba I-V per al qual es genera la potència màxima en cada moment.

Es pot instal·lar un inversor per a tota la planta fotovoltaica, o bé afegir-ne més. En el cas d'elegir un sol inversor, aquest estarà connectat a totes les files de panells. En el cas d'elegir més d'un inversor, es repartiria la distribució del nombre de files connectades i, per tant, la potència i la instal·lació no dependria només d'un sol inversor. Per a l'elecció del nombre de convertidors s'ha de tenir en compte el que suposa cadascuna de les opcions mencionades. Per una banda, si connectem un sol inversor per a totes les rames de mòduls, açò significa que, en cas de fallada del sistema, es produiria una averia que afectaria tota la planta. Per altra banda, si connectéssim dos o més inversors, en cas de fallada del sistema o d'algun tipus d'accident a un dels dispositius, la instal·lació no deixaria de funcionar per complet, ja que la resta d'inversors seguirien funcionant amb normalitat. No obstant, el fet d'instal·lar més d'un convertidor suposa una inversió econòmica molt més elevada, ja que és un dels dispositius més cars que trobem al projecte.

Per al nostre cas, una fallada general de la instal·lació afectaria directament al ritme del centre. Tot i que la majoria del consum és en il·luminació, de la que es podria prescindir de forma excepcional fent ús de llum natural, també és necessari l'ús d'altres dispositius, com poden ser els ordinadors, les fotocopiadores, maquinària dels laboratoris, etc. Per tant, no es contempla l'opció d'instal·lar un sol inversor. L'opció ideal seria la de connectar dos inversors en paral·lel, de manera que, si s'avariés un dels dos, encara podríem fer ús d'un inversor per abastir el centre. Com la idea principal del projecte és vendre energia elèctrica en tot moment, la potència generada sempre serà major de la que necessita l'institut. Així doncs, amb un sol inversor funcionant no podríem generar energia sobrant, però si podríem abastir el centre, almenys parcialment, fins que es solucionés el problema. Aquesta és, com s'ha dit, l'opció més cara. Però, sempre es prioritzarà la seguretat front a l'estalvi econòmic.

### 5.6.1 Elecció de l'inversor

D'aquesta manera, es procedeix a elegir dos inversors, que col·locarem en paral·lel, per al funcionament de la nostra instal·lació fotovoltaica. La potència generada per la nostra instal·lació és de 153,9 kW. No obstant, aquesta potència és la que es produiria per al cas de no tenir pèrdues, situació pràcticament impossible, ja que els mòduls es troben exposats a agents ambientals que afecten el seu rendiment. A més, la irradiància varia significativament durant el dia i al llarg de tot l'any, pel que no podem considerar que sempre arriba la mateixa quantitat de radiació solar, ni tampoc que els panells generen la mateixa potència en tot moment. És per això, que els inversors elegits sumaran una potència de 150 kW, lleugerament menor a la teòrica.

Així doncs, elegirem dos inversors de 75 kW col·locats en paral·lel. S'ha seleccionat un model de la marca SMA, en concret el *Sunny Tripower CORE1*. A la Figura 18 es mostren les dades tècniques obtingudes a partir del catàleg del fabricant.

Datos técnicos	Sunny Tripower CORE1
<b>Entrada (CC)</b>	
Potencia máx. del generador fotovoltaico	75000 Wp STC
Tensión de entrada máx.	1000 V
Rango de tensión del seguidor del MPP/tensión asignada de entrada	De 500 V a 800 V/ 670 V
Tensión de entrada mín./de inicio	150 V/188 V
Corriente máx. de entrada/por seguidor del MPP	120 A/20 A
Corriente del cortocircuito máx. por seguidor del MPP/por entrada de string	30A/30A
Número de entradas de seguidores del MPP independientes/Strings por entrada de seguidores del MPP	6/2
<b>Salida (CA)</b>	
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	50000 W
Potencia máx. aparente de CA	50000 VA
Tensión nominal de CA	220 V / 380 V 230 V / 400 V 240 V / 415 V
Rango de tensión de CA	De 202 V a 305 V
Frecuencia de red de CA/Rango	50 Hz/De 44 Hz a 55 Hz 60 Hz/De 54 Hz a 65 Hz
Frecuencia asignada de red/Tensión asignada de red	50 Hz/230 V
Corriente de salida máx./Corriente de salida de medición	72,5 A/72,5 A
Fases de inyección/Conexión de CA	3 / 3-(N)-PE
Factor de potencia a potencia asignada/Factor de desfase ajustable	1/De 0 inductivo a 0 capacitivo
THD	< 3 %

Figura 18: Dades tècniques de Sunny Tripower CORE1 (SMA, 2021).

A més, s'indica que el rendiment màxim de l'inversor és del 97,8 % i una garantia de funcionament sense manteniment durant 5 anys.

Segons el "Plec de Condicions Tècniques de Instal·lacions Connectades a Xarxa" de l'IDAE (Institut per la Diversificació i Estalvi d'Energia", tot inversor connectat a xarxa ha d'incloure unes determinades proteccions front a diferents tipus de situacions. El model *Sunny Tripower CORE1* compleix amb la normativa, ja que inclou dispositius de protecció per a cadascuna de les situacions no desitjades en una instal·lació fotovoltaica.

Aquestes són:

- Dispositiu de desconnexió a l'entrada.
- Vigilant d'aïllament i monitorització de xarxa.
- Proteccions contra polarització inversa de CC, resistència a curtcircuit de CA.
- Seguiment de la corrent residual sensible a la corrent universal.
- Protecció contra sobretensions.
- Protecció contra arc elèctric.
- Indicador LED d'estat i error.

## 5.7 Associació dels mòduls: sèrie i paral·lel

Per tal d'adaptar-se als valors de tensió i corrent adequats, amb l'objectiu de treballar en el punt de màxima potència (PMP), es duu a terme l'associació o connexió dels mòduls en sèrie i paral·lel.

- Connexió en sèrie: a partir d'aquesta associació obtindrem el que s'anomenen *strings*, o files de mòduls. Es col·loquen de manera que el positiu d'un mòdul es connecta amb el negatiu del següent mòdul. La corrent que circula per tota la fila o cadena és la mateixa ( $I_{mp}$  i  $I_{sc}$ ), mentre que la tensió de la *string* és la suma de les tensions de cada mòdul ( $V_{mp}$  i  $V_{oc}$ ).
- Connexió en paral·lel: No es contempla l'opció de la connexió en paral·lel entre mòduls, ja que en aquest cas la intensitat total seria la suma de les corrents de cada mòdul, i açò donaria lloc a seccions de cablejat molt grans. El que es farà és agrupar les files de mòduls en paral·lel, formant diversos "blocs" de files de mòduls que, a la vegada, es connectaran en paral·lel entre ells. Així doncs, en aquest tipus de connexió, la intensitat resultant és la suma de les corrents de cada *string*, mentre que la tensió total serà la mateixa per a cada bloc de files de mòduls.

Una vegada esmentades les formes de connexió dels mòduls, cal elegir el nombre de mòduls per cadena i la connexió en paral·lel d'aquestes. Com que cada conjunt de *strings* anirà connectat a l'inversor, hem de saber quina és la tensió d'entrada que maximitza l'eficiència del nostre convertidor DC/AC.

La corba d'eficiència o rendiment de l'inversor *Sunny Tripower CORE1*, obtinguda a partir de les dades tècniques proporcionades pel fabricant, es mostra a la Figura 19:

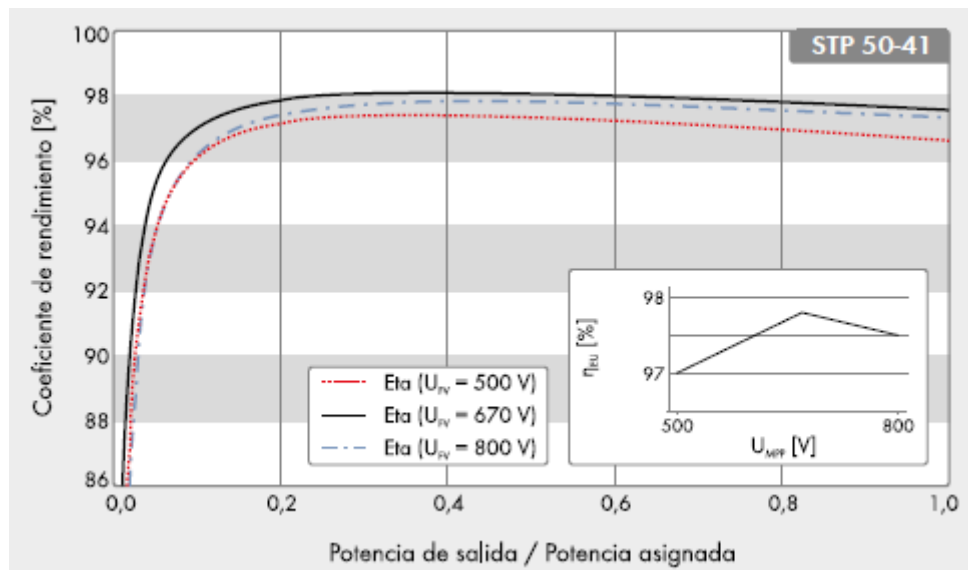


Figura 19: Corba de rendiment de l'inversor (SMA, 2021).



En aquest gràfic tenim representat, per una banda, el coeficient de rendiment en tant per cent, a l'eix d'ordenades, i per altra banda, la potència d'eixida o potència assignada en tant per un, a l'eix d'abscisses. S'observa que, treballant a diferents valors de tensió, el rendiment es maximitza quan l'inversor treballa a 670 V. Així doncs, aquesta serà la tensió que tractarem de connectar a l'entrada de l'inversor, tot i que existeix la possibilitat d'injectar més o menys tensió, sempre que estiga dins dels límits que permet el nostre inversor. La tensió mínima a l'entrada és 150 V, mentre que tenim una tensió màxima de 1000 V. De totes formes, el rang de tensions que ens interessa és el del seguidor del punt de màxima potència (500 V a 800 V), ja que dins d'aquests valors ens assegurarem que el nostre dispositiu està treballant per optimitzar l'eficiència de d'instal·lació en tot moment.

Pel que fa als panells fotovoltaics, segons les dades de la fitxa tècnica, cada mòdul te un voltatge de màxima potència de 34,4 V i una corrent màxima de 11,77 A.

D'aquesta manera, començarem amb els càlculs necessaris per a determinar el nombre de mòduls que haurem de connectar en sèrie. Per una banda calcularem el màxim nombre de mòduls que podríem connectar, i per altra banda el nombre de mòduls per al valor de la tensió que maximitza l'eficiència de l'inversor.

Sent:

$V_{inv,màx,e}$ : tensió màxima a l'entrada de l'inversor.

$V_{cc}$ : tensió de treball d'un mòdul.

$V_{efi,màx,inv}$ : tensió d'entrada a l'inversor per a una eficiència òptima

$$N^{\circ} \text{ màxim mòduls en sèrie} = \frac{V_{inv,màx,e}}{V_{cc}} = \frac{800 \text{ V}}{34,4 \text{ V}} = 23,26 \approx 23 \text{ mòduls}$$

$$N^{\circ} \text{ mòduls per a eficiència màxima} = \frac{V_{efi,màx,inv}}{V_{cc}} = \frac{670 \text{ V}}{34,4 \text{ V}} = 19,47 \approx 19 \text{ mòduls}$$

Per poder fer el càlcul del nombre de *strings* que podem connectar en paral·lel, primer hem de saber el nombre de mòduls que podem connectar per inversor.

Sabent que:

$P_{màx,inv}$ : potència màxima a l'entrada de l'inversor.

$P_{màx,mòdul}$ : potència màxima generada per un mòdul.

$$N^{\circ} \text{ mòduls per inversor} = \frac{P_{màx,inv}}{P_{màx,mòdul}} = \frac{75 \text{ kW}}{0,405 \text{ kW}} = 185,19 \approx 185 \text{ mòduls}$$

Així doncs, el nombre de files a connectar en paral·lel serà:

$$N^{\circ} \text{mínim files paral} \cdot \text{lel} = \frac{N^{\circ} \text{màxim mòduls}}{N^{\circ} \text{màxim mòduls en sèrie}} = \frac{185}{23} = 8,04 \approx 8 \text{ files}$$

$$N^{\circ} \text{files en paral} \cdot \text{lel} = \frac{N \text{màxim mòduls}}{N \text{mòduls en serie}} = \frac{185}{19} = 9,73 \approx 9 \text{ files}$$

Per tant, ens falta elegir l'opció més viable per a la nostra instal·lació. Una primera opció és la de col·locar el màxim nombre de mòduls per sèrie (23 mòduls), on ens quedarien un total de 8 *strings*. El problema d'aquesta elecció és que ens situem lluny del punt de màxima eficiència de l'inversor. A més, per raons de seguretat no hauríem de situar-nos als límits de funcionament dels dispositius. Altra opció és la de connectar 19 mòduls en sèrie, formant un total de 9 fileres per inversor, que és el valor que ens queda al treballar en el punt de màxima eficiència per a l'inversor. A continuació es calcularà el nombre de panells final que ens quedaria amb aquesta distribució, ja que el valor haurà variat al realitzar les aproximacions anteriors:

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{mòduls total} &= N^{\circ} \text{files} \cdot N^{\circ} \text{mòduls per fila} \cdot N^{\circ} \text{inversors} \\ &= 9 \text{ files} \cdot 19 \frac{\text{mòduls}}{\text{fila}} \cdot 2 \text{ inversors} = 342 \text{ mòduls} \end{aligned}$$

Ens quedaria un total de 342 mòduls, un valor prou inferior a l'inicial (381 mòduls), i que reduiria molt la potència generada. És per això que es decideix col·locar 19 mòduls per sèrie distribuïts en 10. Aquesta distribució és correcta tenint en compte les pèrdues que tindrem a tota la instal·lació, especialment en els mòduls, ja que el valor de 405W de potència generada per cada panell és, com s'ha explicat anteriorment, el valor màxim obtingut en condicions ideals de laboratori. Fora d'aquestes condicions, el mòdul produirà molta menys potència, la qual cosa donaria peu a un major nombre de mòduls per inversor. Açò, junt amb el fet d'haver triat valors allunyats dels límits de funcionament de l'inversor, ens asseguren un bon funcionament de la instal·lació per a aquesta distribució.

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{mòduls total} &= N^{\circ} \text{files} \cdot N^{\circ} \text{mòduls per fila} \cdot N^{\circ} \text{inversors} \\ &= 10 \text{ files} \cdot 19 \frac{\text{mòduls}}{\text{fila}} \cdot 2 \text{ inversors} = 380 \text{ mòduls} \end{aligned}$$

El nombre total de mòduls de la instal·lació es quedaria en 380, que es correspon amb el valor inicial triat.

Per altra banda, cal calcular la intensitat d'entrada a l'inversor, és a dir, la intensitat de cada *string*. Sabent la intensitat màxima del mòdul ( $I_{PMP}$ ) i el nombre de files en paral·lel, la intensitat a l'entrada de l'inversor ( $I_{ent,inv}$ ) serà:

$$I_{ent,inv} = I_{PMP} \cdot N^{\circ} \text{files en paral} \cdot \text{lel} = 11,77 \cdot 10 = 117,7 \text{ A}$$

Segons les dades proporcionades pel fabricant, la intensitat màxima a l'entrada del inversor és de 120 A, llavors el valor que hem calculat és correcte per a la nostra instal·lació.

En conclusió, la distribució final serà de 10 files de 19 mòduls per inversor, amb una tensió i intensitat a l'entrada d'aproximadament 670 V i 117,7 A, respectivament.

Tal i com s'indica a les dades tècniques de l'inversor elegit, tenim un total de 12 entrades a l'inversor, amb 6 entrades per seguidor de màxima potència. Com que per al nostre cas tenim només 10 *strings* per inversor, farem la distribució de manera que, cada 5 files o *strings*, tinguem un concentrador o caixa de connexió.

A continuació es mostra, a la Figura 20, un esquema que reflexa el que s'ha explicat, per tal de donar una perspectiva més visual a la distribució de les entrades a l'inversor:

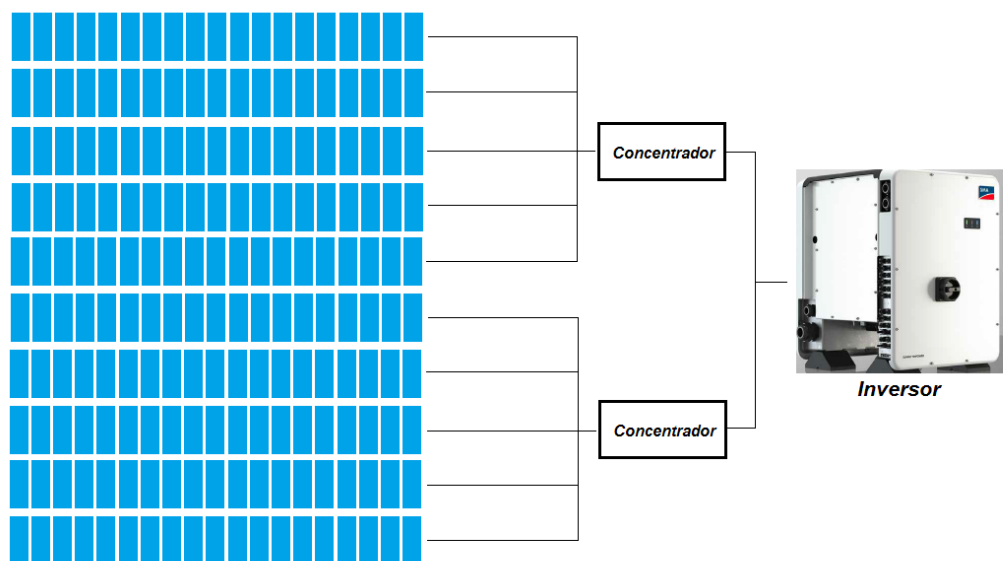


Figura 20: Esquema de distribució de mòduls per a un inversor. Font: Pròpia

## 5.8 Dimensionat elèctric de la instal·lació

La part final del disseny de la instal·lació fotovoltaica és la del dimensionat elèctric, on es durà a terme l'elecció dels conductors i aïllaments de la part de cablejat de la planta, a més de les corresponents proteccions i posada a terra (P.A.T.). Tot el dimensionat es durà a terme complint amb la normativa vigent, que correspon amb el Reial Decret de Baixa Tensió (BOE, 2002).

Per situar-nos abans d'introduir els càlculs i el dimensionament, es farà un esquema general de tota la instal·lació, una vegada calculada la distribució dels mòduls, per tenir clar els trams de cablejat. Aquest esquema es mostra a la Figura 21.

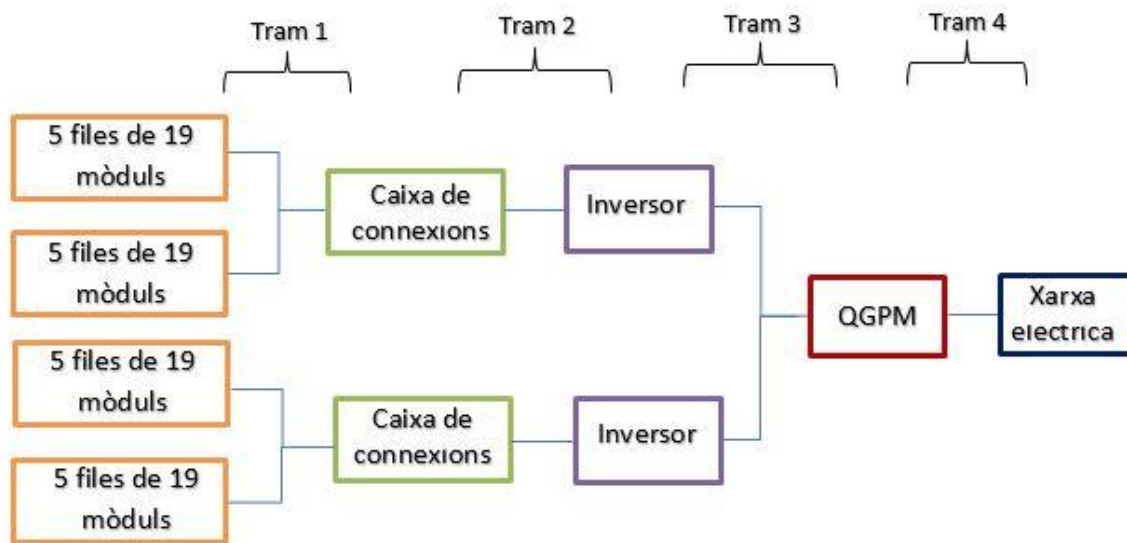


Figura 21: Esquema general de la instal·lació fotovoltaica. Font: Pròpia.

Com es pot observar, tenim un total de 4 trams de cablejat que haurèm de dissenyar d'acord amb les especificacions de cadascun. La part de corrent continu està formada pels trams 1 i 2, és a dir, tota la part dels panells, les connexions, que corresponen amb la part dels concentradors, fins a l'inversor. A partir de l'eixida de l'inversor es comença la part de corrent alterna, formada pels trams 3 i 4, per on es passa de l'eixida de l'inversor cap al quadre general de protecció i mesura, fins la xarxa elèctrica. Als següents apartats es descriuran més detalladament els quatre trams, les seccions dels conductors, així com les mesures de seguretat.

### 5.8.1 Elecció dels conductors i aïllament

Per a les canalitzacions elèctriques de la instal·lació s'haurà de triar el material més adequat per als conductors i el corresponent aïllament. Aquesta elecció és de gran importància, ja que influeix directament en els aspectes relacionats amb la seguretat de la planta fotovoltaica. Un material de qualitat és indispensable per al disseny del cablejat, degut a les diferents influències externes que

poden afectar a les canalitzacions, com poden ser els efectes del sol, humitat o la temperatura ambient.

Pel que fa als conductors, hi trobem dos materials principals de què es fa ús: l'alumini i el coure. L'alumini es caracteritza per la seua baixa densitat i una moderada resistència a la corrosió. No obstant, presenta unes propietats mecàniques molt inferiors a les del coure. És per això que, tot i resultar més barat, el coure és el material més utilitzat en general. Aquest presenta una gran ductilitat i resistència front als efectes de la corrosió, a més de una gran conductivitat. Tenint en compte totes aquestes propietats i posant la seguretat com un dels criteris essencials de la instal·lació, s'elegirà el coure com a material per als conductors.

Per altra banda, per a la part d'aïllament elèctric, que és el material que rodeja el conductor per tal de protegir-lo front a fuites de corrent, s'utilitzen materials com termoplàstics o termoestables. Pel que fa als termoplàstics, el més utilitzat és el Clorur de polivinil (PVC). Aquest és resistent als agents químics i atmosfèrics, molt utilitzat per a baixa tensió. El seu principal inconvenient són les elevades pèrdues dielèctriques. És per això que el més utilitzat i el que s'elegirà per a aquest projecte és el Polietilè reticulat (XLPE), un termoestable que suporta molt millor les altes intensitats, té una bona absorció de l'aigua i baixes pèrdues dielèctriques.

### 5.8.2 Criteris de dimensionat elèctric

El següent pas en el dimensionament del cablejat, és l'elecció de la secció dels cables. Aquesta variarà segons el tram de la instal·lació, ja que hi trobem diferents valors de tensió i intensitat. Tot açò es durà a terme d'acord amb els criteris mencionats a la *Guia tècnica d'aplicació de per instal·lacions interiors* (Ministeri de Ciència i Tecnologia, 2002). Aquests criteris són: el criteri tèrmic i el criteri per caiguda de tensió.

Així doncs, seguidament s'explicarà detalladament els dos criteris a seguir.

- **Criteri tèrmic**



Els conductors tenen un límit de temperatura que poden suportar. El criteri tèrmic té en compte aquest aspecte per al càlcul de la secció del cablejat, i s'estipula una temperatura ambient de 30°C per a conductors a l'aire, per a la es proporciona la Taula 16 de valors normalitzats de intensitat. En aquesta taula es té en compte la secció del cable segons el tipus de muntatge, el material del conductor i de l'aïllament i la màxima intensitat admissible.

Taula 16: Intensitats admissibles per a 30°C (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002).

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
A1		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE			
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE
Sección mm <sup>2</sup> COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678
400	--	--	--	431	480	515	552	600	645	674	770	812
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071

Per altra banda, la Taula 17 és la que s'utilitzarà per a cables soterrats:

Taula 17: Intensitats admissibles per a cables soterrats (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2002).

SECCIÓN NOMINAL mm <sup>2</sup>	Terna de cables unipolares (1) (2)			1 cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
16	97	94	86	90	86	76
25	125	120	110	115	110	98
35	150	145	130	140	135	120
50	180	175	155	165	160	140
70	220	215	190	205	220	170
95	260	255	225	240	235	210
120	295	290	260	275	270	235
150	330	325	290	310	305	265
185	375	365	325	350	345	300
240	430	420	380	405	395	350
300	485	475	430	460	445	395
400	550	540	480	520	500	445
500	615	605	525	-	-	-
630	690	680	600	-	-	-

Sabent que  $I_B$  és la intensitat demandada i  $k$  és el terme dels factors de correcció, la intensitat admissible la calcularem segons l'expressió següent:

$$I_{adm} = \frac{I_B}{k} = \frac{I_B}{k_t * k_a}$$

El terme dels factors de correcció s'obté amb el producte dels diferents coeficients a tenir en compte per a cada situació. En aquest cas es farà ús del coeficient  $k_t$ , que té en compte els efectes de la temperatura ambient. Aquest té un valor de 0,91 per a condicions de temperatura ambient de 40°C, que seria el cas extrem per a conductors muntats a l'aire, i per al cas de conductors soterrats, tot i que la temperatura del terreny a la nostra ubicació es manté constant en uns 20°C, s'adoptarà per seguretat una temperatura per al cas d'arribar als 25°C, en que el factor tindrà un valor de 0,91. L'altre coeficient és el  $k_a$ , que fa referència al coeficient de correcció per agrupament de diversos cables, i variarà segons la forma en que es dispose cada tram.

El procés a seguir consisteix en dividir la corrent demandada entre els diferents factors de correcció, obtenint el valor de la intensitat admissible, que haurem de buscar en la taula i que per als materials i la distribució elegida, ens donarà un valor de secció en mm<sup>2</sup>. Com es pot apreciar a la taula anterior, aquests valors són per a conductors de coure, ja que és el material elegit per a aquest projecte.

- **Criteri de caiguda de tensió**

Aquest segon criteri té en compte els valors màxims per a les caigudes de tensió de les instal·lacions segons els valors establerts per el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT). Aquest valor es limita al 3% des del començament de la instal·lació fins al punt de connexió amb la xarxa elèctrica. No

obstant, aquest valor es divideix en dos per als trams de corrent continua i corrent alterna, de manera que tenim una caiguda de tensió màxima del 1,5 %.

L'expressió de la caiguda de tensió té en compte la longitud de la línia, L (m), la resistivitat del material conductor (coure),  $\rho$  ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ), la potència i la tensió de la línia, P (W) i  $U_n$  (V), i per últim la secció del conductor, el valor de la qual elegirem per a després comprovar que no passa els límits de caiguda de tensió. La fórmula és la següent:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} * 100 = \frac{L * \rho * P}{S * U_n^2} * 100$$

Cal mencionar que, per motius de seguretat i segons s'indica a la normativa vigent, es sobredimensionarà les seccions dels conductors de cada tram multiplicant la intensitat admissible per 1,25 (125 %).

Una vegada explicats els dos criteris a seguir, als apartats següents es determinarà la secció cadascun dels trams segons les seues característiques. Es procedirà de manera que, en primer lloc, es calcule la secció segons el criteri tèrmic. Seguidament, es calcularà la caiguda de tensió resultant amb el valor que ens ha donat la secció, i si aquesta dona un valor acceptable, s'acceptarà com a correcta la dimensió del cable elegida.

### 5.8.3 Dimensionat dels diferents trams

#### Tram 1

Aquest és el tram de cablejat entre les files de mòduls i les caixes de connexió, on tenim corrent continua. Com s'ha comentat en apartats anteriors, la distribució dels mòduls és de 10 *strings* per inversor. Així doncs, a cadascuna de les caixes de connexió aniran, connectats en paral·lel, els conductors corresponents a les 10 cadenes de mòduls. Açò dona una tensió i intensitat resultants per a cada cadena de mòduls de 670 V i 11,77 A, respectivament.

A les Taules 17 i 18 es mostren els càlculs corresponents a cada criteri:

Taula 18: Criteri tèrmic tram 1. Font: Pròpia

Criteri tèrmic							
$I_B$ (A)	$k_t$	$k_a$	k	$I_n$ (A)	$1,25 * I_n$ (A)	$I_{\text{tabla}}$ (A)	S (mm <sup>2</sup> )
11,77	0,91	0,8	0,728	16,167	20,209	27	2,5



Taula 19: Criteri de màxima caiguda de tensió tram 2. Font: Pròpia

**Criteri de màxima caiguda de tensió**

S (mm <sup>2</sup> )	L <sub>màxima</sub> (m)	P(W)	U <sub>n</sub> (V)	ρ(Ω·mm <sup>2</sup> /m)	ΔU (%)
2,5	70	7695	670	0,0176	0,8447

**Tram 2**

Una vegada connectats els conductors dels mòduls a les caixes de connexió, caldrà portar un cable des d'aquesta fins a l'entrada de l'inversor. En aquest tram és on completarem la part de corrent continua. En aquest cas, al haver connectat tots els mòduls en paral·lel amb la caixa de connexió, la intensitat resultant que eixirà de cadascuna de les dos línies serà de 58,85 A (5 strings x 11,77 A). A les Taules 20 i 21 es mostren els resultats.

Taula 20: Criteri tèrmic tram 2. Font: Pròpia

**Criteri tèrmic**

I <sub>B</sub> (A)	k <sub>t</sub>	k <sub>a</sub>	k	I <sub>n</sub> (A)	1,25*I <sub>n</sub> (A)	I <sub>tabla</sub> (A)	S (mm <sup>2</sup> )
58,85	0,91	0,8	0,728	80,837	101,047	110	25

Taula 21: Criteri màxima caiguda de tensió tram 2. Font: Pròpia.

**Criteri de màxima caiguda de tensió**

S (mm <sup>2</sup> )	L <sub>màxima</sub> (m)	P(W)	U <sub>n</sub> (V)	ρ(Ω·mm <sup>2</sup> /m)	ΔU (%)
25	45	76950	670	0,0176	0,543

**Tram 3**

Ací es comença la part de corrent alterna, en que es portarà un conductor soterrat des de l'eixida de cada inversor cap al quadre general de protecció i mesura. Ara tenim les característiques que marquen els inversors, de manera que s'estan conduint 72,5 A i 400 V. Els resultats es mostren a les Taules 22 i 23.

Taula 22: Criteri tèrmic tram 3. Font: Pròpia.

**Criteri tèrmic**

$I_B$ (A)	$k_t$	$k_a$	$k$	$I_n$ (A)	$1,25 \cdot I_n$ (A)	$I_{\text{tabla}}$ (A)	$S$ (mm <sup>2</sup> )
<b>72,5</b>	0,91	0,6	0,546	132,783	165,979	178	70

Taula 23: Criteri de màxima caiguda de tensió. Font: Pròpia.

**Criteri de màxima caiguda de tensió**

$S$ (mm <sup>2</sup> )	$L_{\text{màxima}}$ (m)	$P$ (W)	$U_n$ (V)	$\rho$ (Ω·mm <sup>2</sup> /m)	$\Delta U$ (%)
<b>70</b>	150	75000	670	0,0176	0,6301

**Tram 4**

Per últim, tenim el tram en que es porta un conductor des del QGPT fins al quadre de connexions de la xarxa distribuïdora. Tindrem en aquest cas una intensitat de 145 A (72,5A x 2 inversors) i una tensió que es manté constant en 400 V. Els resultats es mostren a les Taules 24 i 25.

Taula 24: Criteri tèrmic tram 4. Font: Pròpia.

**Criteri tèrmic**

$I_B$ (A)	$k_t$	$k_a$	$k$	$I_n$ (A)	$1,25 \cdot I_n$ (A)	$I_{\text{taula}}$ (A)	$S$ (mm <sup>2</sup> )
<b>145</b>	0,91	0,8	0,728	199,175	248,969	258	95

Taula 25: Criteri de màxima caiguda de tensió. Font: Pròpia.

**Criteri de màxima caiguda de tensió**

$S$ (mm <sup>2</sup> )	$L_{\text{màxima}}$ (m)	$P$ (W)	$U_n$ (V)	$\rho$ (Ω·mm <sup>2</sup> /m)	$\Delta U$ (%)
<b>95</b>	10	150000	400	0,0176	0,174

Per al càlcul final de la caiguda de tensió, s'han d'agrupar els trams de continua (1 i 2) i els d'alterna (3 i 4) i sumar els valors corresponents. Com es pot comprovar, cap de les dos parts supera el límit de caiguda de tensió, ja que ens dona un total de 1,388% en continua i 0,804% en alterna. En conclusió, els càlculs de les seccions, mostrats a la Taula 26, per a tota la instal·lació, quedarien de la següent forma:

Taula 26: Seccions resultats per a cada tram. Font: Pròpia.

TRAMS	SECCIÓ RESULTANT
1	2,5 mm <sup>2</sup>
2	25 mm <sup>2</sup>
3	70 mm <sup>2</sup>
4	95 mm <sup>2</sup>

A la Taula 27 es mostren els models de conductors elegits i les seues marques, per a cadascun dels trams i les seues seccions:

Taula 27: Model de cable i preus. Font: Pròpia.

Tramo	Cable	Preu (€/m)
1	H07Z1-K Negro 2,5 mm <sup>2</sup>	0,305
2	H07Z1-K Negro 25 mm <sup>2</sup>	3,39
3	RZ1-K 1x70 mm <sup>2</sup>	10,29
4	RZ1-K 1X95 mm <sup>2</sup>	13,47

#### 5.8.4 Proteccions

En aquest apartat es presenten els diferents proteccions per als conductors, com poden ser els tubs i les caixes de protecció per a cada fila de mòduls.

Per al dimensionat dels tubs cal tenir en compte el mencionat a la normativa, on s'indica que s'han de dimensionar tenint en compte la possibilitat de modificació del nombre de conductors. Així doncs, la secció del tub s'elegirà afegint un 25% més al valor de la normativa. Es farà servir la següent taula, obtinguda de les instruccions proporcionades pel REBT, en que s'elegirà el diàmetre segons la secció dels conductors de cada tram:

Taula 28: Diàmetres exteriors mínims dels tubs en funció del número i la secció dels conductors. (REBT, 2002).

Sección nominal de los conductores unipolares (mm <sup>2</sup> )	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

El diàmetre dels tubs per a cada tram queda representat en de la següent forma a la Taula 29:

Taula 29: Diàmetre dels tubs per a cada tram. Font: Pròpia.

Tram	Secció conductor (mm <sup>2</sup> )	Diàmetre tubs (mm)	Diàmetre*1.25 (mm)	Diàmetre final (mm)
1	2,5	12	15	16
2	25	20	25	25
3	70	32	40	40
4	95	32	40	40

Per altra banda, es poden produir situacions en que la instal·lació pateix una averia o alguna altra situació que posa en perill els components. És per això que es dissenya amb les proteccions corresponents contra sobretensions i sobreintensitats.

#### Tram de CC

Per a la protecció dels trams 1 i 2, cal tenir en compte la possibilitat de fallada o averia d'alguna de les cadenes de mòduls. Així doncs, s'instal·larà una caixa de protecció que incloga fusibles i dispositius de protecció contra sobretensions, a més d'un seccionador per tal d'aïllar una possible fallada.

Per elegir la caixa de protecció, primer hem de calcular l'interval dins del qual s'ha de trobar el valor de la intensitat del fusible. Per a açò, s'han de complir tres condicions.

$$\text{Primera condició: } I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$\text{Segona condició: } I_f \leq I_2$$

On tenim que:

- $I_B$ : intensitat demandada (11,77 A).
- $I_N$ : intensitat nominal del fusible.
- $I_Z$ : intensitat màxima del conductor, que per a 2,5 mm<sup>2</sup> és de 49 A.

$$11,77 A \leq I_N \leq 49 A$$

Així doncs, elegirem un model de caixa de proteccions de la marca *Cuvega* que compleix amb aquesta primera condició, amb les característiques següents:

- 1 entrada i 1 eixida
- Voltatge: 1000Vdc
- Protecció contra sobretensions i fusible de 32 A.
- Tipus d'aïllament: IP65.

Per últim, sabem que  $I_2$  i  $I_f$  es calculen amb les expressions següents:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$$

$$I_f \leq 1,60 \cdot I_N$$

Fent ús de les dades obtingudes, vegem que la segona condició també es compleix:

$$1,60 \cdot 32 \leq 1,45 \cdot 49$$

$$51,2 A \leq 71,05 A$$

Així doncs, la part de corrent continua quedaria protegida amb la caixa de protecció seleccionada, ja que el tram 2, a l'entrada de l'inversor, aquest ja compta amb les corresponents proteccions per al seu funcionament.

### **Tram de AC**

Per al tram 3, les proteccions venen incorporades per l'inversor, descrites anteriorment pel fabricant a la fitxa tècnica del producte. Aquestes proteccions inclouen proteccions contra polarització inversa, protecció contra arc elèctric, i descarregador de sobretensions de CC/CA.

No obstant, per a l'últim tram haurem d'instal·lar un interruptor automàtic i un interruptor magneto tèrmic per a l'entrada al quadre general de la distribuïdora. Com que la màxima intensitat que passa per aquest tram és de 145 A, s'escollirà una intensitat per als interruptors de 250 A. Es col·locarà el dispositiu de la marca *Legrand*, en concret el model DPX3 de 250 A.

### 5.8.5 Posada a terra (P.A.T.)

La posada o connexió a terra és l'encarregada de protegir els voltants de la instal·lació evitant diferències de potencial que suposen un perill per a la seguretat de les persones, a més de permetre la posada a terra de les corrents de defecte.

El dimensionat de la P.A.T. es farà a partir del càlcul dels paràmetres que la defineixen. S'ha de considerar el tipus d'esquema de distribució que es triarà. En aquest cas, donat que estem en una instal·lació de baixa tensió i connectada a la xarxa elèctrica, l'esquema de distribució serà tipus TT. Per a aquest esquema, es calcularan els paràmetres que el formen, de manera que quedarà dimensionada la instal·lació de posada a terra.

En primer lloc, cal elegir la secció dels conductes en funció de la dimensió dels nostres conductors. Seguint una vegada més el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT), els valors normalitzats de les seccions s'obtenen de la Taula 30:

Taula 30: Secció mínima dels conductors de protecció. (REBT, 2002).

<b>Secció dels conductors de fase de la instal·lació</b> <b>S (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Secció mínima dels conductors de protecció</b> <b>S<sub>p</sub> (mm<sup>2</sup>)</b>
<b>S ≤ 16</b>	S <sub>p</sub> = S
<b>16 &lt; S ≤ 35</b>	S <sub>p</sub> = 16
<b>S &gt; 35</b>	S <sub>p</sub> = S/2

Seguint les condicions indicades, a la Taula 31 es mostra com ens quedarien dimensionades les seccions de cada tram:

Taula 31: Seccions P.A.T. per trams. Font: Pròpia

<b>Tram</b>	<b>Secció conductors (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Secció P.A.T. (mm<sup>2</sup>)</b>
<b>1</b>	2,5	2,5
<b>2</b>	25	16
<b>3</b>	70	35
<b>4</b>	95	47,5

Seguidament, es calcularà el valor de la resistència de posada a terra. S'elegirà una pica vertical que es soterrarà al terreny. Aquesta ve donada per la tensió a terra (U<sub>t</sub>), que té un valor màxim de 24 V i

que és proporcional a la intensitat de defecte resultant, que es correspon amb la sensibilitat del interruptor. L'expressió per al seu càlcul és la següent:

$$R_t = \frac{U_t}{I_d} = 80 \Omega$$

L'últim paràmetre necessari és el de la longitud de la pica, que s'obté fàcilment a partir de l'expressió de la resistència de posada a terra que relaciona la resistivitat del terreny  $\rho$ , amb un valor de 300  $\Omega/m$ , i la longitud de la pica.

$$L_{pica} = \frac{\rho}{R_t} = \frac{300 \Omega \cdot m}{80 \Omega} = 3,75 m$$

En conclusió, tenim una resistència de posada a terra de 80  $\Omega$  amb una longitud de la pica de 3,75 m.

## 5.9 Estudi de viabilitat de la instal·lació fotovoltaica

### 5.9.1 Resum del pressupost

Una de les opcions que recull el projecte és l'elecció de la instal·lació de la planta fotovoltaica al centre, sense dur a terme la proposta de il·luminació. És per això que, a continuació es descriuran les diferents parts que es corresponen amb el pressupost de la part de instal·lació fotovoltaica.

Aquesta part inclou els tres primers capítols del pressupost general, és a dir, la instal·lació fotovoltaica, les proteccions i les canalitzacions. Seguidament es descriu cada part en més detall:

- Capítol 1: Instal·lació fotovoltaica  
Es tindran en compte les unitats d'obra relacionades amb la instal·lació fotovoltaica. Aquestes són el cost dels mòduls, les estructures de suport, els inversors, els concentradors de connexió i el cablejat de les línies monofàsiques.
- Capítol 2: Proteccions  
Es tindran en compte les unitats d'obra relacionades amb les proteccions de tota la instal·lació. En aquest s'inclouen el quadre de protecció per a CC, i el quadre de protecció per a la part de AC.
- Capítol 3: Canalitzacions  
Es tindran en compte les unitats d'obra relacionades amb les canalitzacions dels conductors per a cada part de la instal·lació. Aquest capítol està conformat per els tubs de polietilè de diferent diàmetre per a cada tram.

Així doncs, el pressupost d'execució material per a la instal·lació fotovoltaica es presenta a continuació a la Taula 32:

*Taula 32: Pressupost d'execució material per a la instal·lació fotovoltaica. Font: Pròpia.*

Capítol	Partida	Import (€)
1	Instal·lació fotovoltaica	113.819,06
2	Proteccions	21.357,78
3	Canalitzacions	2.103,51
	Total	<b>137.280,35</b>

Per últim, es presenta pressupost final, a la Taula 33, per a la instal·lació fotovoltaica, on s'han tingut en compte els costos corresponents a despeses generals, benefici industrial, honoraris i els impostos corresponents a l'IVA.



Taula 33: Pressupost final de la instal·lació fotovoltaica. Font: Pròpia.

<b>Pressupost d'execució material</b>	<b>137.280,35</b>
<b>Despeses generals (12 %)</b>	16.473,64
<b>Benefici industrial (6 %)</b>	8.236,82
<b>Pressupost d'execució per contracta</b>	<b>161.990,81</b>
<b>Honoraris (4 %)</b>	6.479,63
<b>IVA (21 %)</b>	34.018,07
<b>PRESSUPOST FINAL</b>	<b>202.488,52</b>

Com podem observar a la taula del pressupost final, el sumatori del projecte és de 202.488,52 €. Per tal de comprovar que aquesta dada és correcta, s'ha utilitzat el programa *RETScreen*, àmpliament utilitzat per a l'estudi i anàlisi de costos de sistemes energètics. Havent introduït els paràmetres necessaris per al càlcul del pressupost final d'aquesta proposta, el programa ens dona un resultat de 210.330 €. Tot i que és un valor diferent al calculat en el pressupost final, és del mateix ordre de magnitud, i aquesta diferència es deu a la millor aproximació del programa a la situació real de la nostra instal·lació, ja que està basat en dades estadístiques segons el terreny, el tipus de sistema energètic instal·lat i altres paràmetres econòmics, com la inflació o la taxa d'escalament del preu dels combustibles.

### 5.9.2 Estalvi de l'energia consumida

Com s'ha mencionat al llarg de tot el projecte, un dels principals objectius de la proposta de la instal·lació de la planta fotovoltaica és el possible estalvi energètic que aquesta produeix, a més de la importància de generar energia neta i apostar per les energies renovables als centres públics educatius. A continuació s'estudiarà quina és l'energia que produïrem i també la que es podrà injectar a la xarxa elèctrica per tal d'obtenir un benefici.

Segons dades obtingudes a partir dels càlculs del programa *RETScreen*, el total d'energia exportada a la xarxa durant un any és de quasi 216 MWh. Tenint en compte que el consum anual del centre és de 111,25 MWh, es generarà més del doble d'energia que es consumeix. És un valor raonable, ja que, com s'ha dit, l'objectiu era generar molta més energia de la consumida per tal d'obtenir benefici econòmic.

La generació d'electricitat mensual serà la que es mostra en la Taula 34, on veiem que els mesos de major producció d'energia són els que es corresponen amb el període de l'estiu, on la radiació solar arriba als seus valors màxims. En concret, el mes de major producció és juliol, amb una xifra de 21.010 kWh exportats a la xarxa.

Taula 34: Electricitat exportada a la xarxa en MWh. (RETScreen, 2021)

Mes	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiación solar diaria - inclinado kWh/m <sup>2</sup> /d	Tarifa de exportación de electricidad €/kWh	Electricidad exportada a la red MWh
Enero	2,25	3,87	0,12	14,686
Febrero	3,26	4,78	0,12	16,190
Marzo	4,21	5,07	0,12	18,875
Abril	5,59	5,78	0,12	20,622
Mayo	6,06	5,57	0,12	20,384
Junio	6,75	5,90	0,12	20,516
Julio	6,64	5,93	0,12	21,010
Agosto	6,02	5,91	0,12	20,860
Setiembre	4,67	5,28	0,12	18,229
Octubre	3,45	4,61	0,12	16,809
Noviembre	2,43	3,97	0,12	14,362
Diciembre	1,96	3,53	0,12	13,405
<b>Anual</b>	<b>4,45</b>	<b>5,02</b>	<b>0,12</b>	<b>215,948</b>

### 5.9.3 Estudi de viabilitat econòmica

L'altre objectiu principal de la planta fotovoltaica era el d'obtenir un benefici econòmic a partir de l'estalvi que suposa començar a generar energia amb la nostra instal·lació, junt amb el fet de vendre l'energia sobrant generada. És per això que a continuació s'explicarà, en termes econòmics, el que suposaria invertir en la construcció del sistema fotovoltaic a la coberta de l'institut.

Tal i com s'ha dut a terme per a comprovar la viabilitat econòmica de la instal·lació de la il·luminació amb LED, es calcularà de la mateixa forma la rendibilitat d'aquesta part del projecte, amb els valors del TIR i el VAN. Esta vegada hem utilitzat el programa *RETScreen*, que a partir de la seua base de dades i de les indicacions que hem inclòs per al nostre cas, ens indica que el valor de la tasa de descompte és de  $k = 9\%$ . A més, s'ha considerat una vida útil per a la instal·lació de 25 anys. A la Taula 35es mostren els resultats per a la proposta de la planta fotovoltaica.

Taula 35: TIR i VAN (RETScreen, 2021).

<b>TIR (%)</b>	<b>11,6 %</b>
<b>VAN</b>	<b>51.310 €</b>

Com podem comprovar, el valor del TIR és major que la tasa de descompte, i a més, el VAN és un valor positiu, el que verifica que el nostre projecte és rentable. També és interessant comentar que, segons els càlculs del mateix programa, a partir del 9é any ja hauríem amortitzat la nostra instal·lació, compensant els valors de la inversió inicial, un període raonable tenint en compte la vida útil que s'ha considerat.

Finalment, els ingressos anuals per exportació de l'electricitat serien de 25.914 €, un valor molt bo per als objectius del centre ja que, tal i com s'ha vist en l'apartat 3.2. on estudiàvem el consum i les factures anuals de l'institut, l'import era de 20.361,24 € a l'any. Amb aquest projecte podríem cobrir les exigències energètiques del centre, així com obtenir un benefici.

## **6 Estudi de viabilitat de la instal·lació LED i la instal·lació fotovoltaica**

Per últim, es contemplarà l'opció de dur a terme les dues propostes presentades en aquest projecte: el canvi del sistema de il·luminació a LED i la construcció d'una planta fotovoltaica a la coberta de l'edifici principal de l'IES Puçol. Cal mencionar que, des de la direcció del centre se'ns va comunicar el desig i la implicació per a la implantació de les dues propostes d'eficiència energètica, ja que aquest projecte posicionaria com a un centre d'ensenyament públic de referència en quant a compromís amb les energies netes i responsabilitat amb el seu paper contra el canvi climàtic. És per això que aquest apartat és important explicar els avantatges en quant a consum d'energia i la rendibilitat econòmica.

Com que s'ha calculat anteriorment el valor del TIR i el VAN per a les dos propostes, queda clar que es tracta d'un projecte rendible econòmicament. El canvi a il·luminació LED ens permetria disminuir el consum en la tarifa de la llum i també disminuir la potència contractada. A la vegada, la planta fotovoltaica produiria els beneficis anuals comentats a l'apartat anterior, però com que l'import de la factura hauria disminuït, els beneficis serien majors. Així doncs, si actualment el import anual de la factura del centre és de 20.361,24 €, i la instal·lació fotovoltaica produeix uns ingressos anuals per exportació de l'electricitat de 25.914 €, obtindríem uns beneficis de 5552,76 € que, sumats als beneficis de la implantació de la il·luminació amb LED de 2.277,57 €, donen un total de benefici anual de 7830,33 €.

Així doncs, queda comprovat que l'opció de dur a terme les dos propostes és una alternativa molt atractiva i que hauria de contemplar-se amb les corresponents ajudes de l'estat per a centres d'educació públics i les ajudes per a projectes d'eficiència energètica.

## 7 Conclusions

La idea de dur a terme aquest projecte va nàixer arrel d'una motivació pròpia per crear una proposta d'eficiència energètica que fora útil i real, i el desig d'un canvi en les instal·lacions per part de l'IES Puçol. Als departaments de ciències de l'institut s'explica durant tots els cursos els efectes del canvi climàtic al nostre planeta i s'educa en la importància de desenvolupar una conscienciació amb el medi ambient. És per això que una renovació de les diferents fonts energètiques del centre, actualment molt poc eficients, es feia necessari.

Altres aspectes importants que es va tractar a les diferents visites realitzades al centre, van ser les elevades xifres d'import de la factura elèctrica que acumulaven durant els últims mesos, i les atribuïen a les pujades històriques del preu de la llum que s'han assolit durant aquest any. S'hi els va proposar el canvi a il·luminació a LED arrel d'aquesta preocupació per les contínues fluctuacions del preu de la llum, ja que es presenta com una alternativa senzilla i que es podria fer pel mateix personal de manteniment del centre, que es coneix molt bé les instal·lacions. Una vegada observats els tipus d'aules i les diferents estàncies de l'institut, es va fer l'estudi del canvi de la il·luminació i es van proposar les alternatives presentades al projecte. Els models de lluminàries elegides són les que millor s'adapten a les activitats del centre per a cada aula i s'han garantit productes de qualitat i una vida útil de més de 30.000 h per a tota la instal·lació.

A més, la direcció del centre junt amb el departament de tecnologia, van expressar l'interès en el disseny d'una planta fotovoltaica que els permetés abastir part de la demanda energètica. Es va observar que el centre estava molt ben ubicat, sense cap obstacle proper que projectés ombres, i es va proposar la ubicació de la instal·lació a la coberta de l'edifici principal, ja que era un lloc molt ampli on es podrien instal·lar un gran nombre de mòduls fotovoltaics. La idea va ser acceptada i la proposta de disseny de la instal·lació fotovoltaica es va dur a terme. Els mòduls elegits són de la marca Trina Solar, una empresa espanyola que ha demostrat la seua qualitat i s'ha establert en el mercat de fotovoltaica com a una de les opcions més interessants, amb eficiències molt altes. L'inversor, amb un rendiment màxim del 98,1%, és de la marca SMA, una marca alemanya molt competitiva i amb resultats molt eficients per als seus productes. Aquests, junt amb la resta de productes elegits, són opcions de qualitat i adequades al cas d'aquest projecte en concret.

Així doncs, es presenten tres alternatives:

- Opció 1: Proposta de canvi a il·luminació LED.
- Opció 2: Proposta de instal·lació d'una planta fotovoltaica.
- Opció 3: Proposta de canvi a il·luminació LED i proposta de instal·lació d'una planta fotovoltaica.

Com s'ha explicat als diferents estudis de viabilitat, totes les opcions són rentables econòmicament, a més de suposar un estalvi del consum energètic molt significatiu. Amb les tres alternatives s'aconsegueix reduir considerablement l'impacte ambiental del centre i apostar per energies més netes o eficients. Com que la idea del centre era implantar les dos propostes, l'opció 3 seria la més indicada, però es requereixen ajudes pel part del govern de la Generalitat per tal de dur-ho a terme, ja que és l'opció que més inversió inicial suposa.

Amb aquest projecte es pretén fer veure les possibilitats dels centres educatius públics en el camí cap a l'ús d'energies renovables i en concret l'IES Puçol, i donar un pas endavant cap a un model de vida més sostenible.

## 8 Bibliografía

- Moran, M. (2020). *La Agenda para el desarrollo sostenible*. En: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Moran, M. (2020). Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. En: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- RESOLUCION de 1 de marzo de 2021. (2021). IVACE. En: <https://www.iberley.es/subvenciones/resolucion-1-marzo-2021-presidente-instituto-valenciano-competitividad-empresarial-ivace-convocan-ayudas-destinadas-fomento-instalaciones-autoconsumo-energia-electrica-municipios-comunitat-valenciana-cargo-presupuesto-ejercicio-2021-2021-2166-26802611>
- Radiación extra atmosférica*. (2019). En: <http://www.yubasolar.net/2019/05/>
- Unión P-N*. (2010). En: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Solids/pnjun.html>
- UNEF. (2019). *Informe anual 2019*. En: [https://unef.es/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2019/09/memoria\\_unef\\_2019-web.pdf](https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/09/memoria_unef_2019-web.pdf)
- UNEF. (2019). *Potencia solar fotovoltaica instalada acumulada en España*.
- OSRAM. (2021). *Hoja de datos de producto L 58 W/840*. En: [https://www.osram.es/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A1mparas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A1mparas%20fluorescentes-L%C3%A1mparas-Digital%20Systems/es/es/GPS01\\_1027891/ZMP\\_60449/](https://www.osram.es/ecat/LUMILUX%20T8-L%C3%A1mparas%20fluorescentes%20T8-L%C3%A1mparas%20fluorescentes-L%C3%A1mparas-Digital%20Systems/es/es/GPS01_1027891/ZMP_60449/)
- Energie-shop*. (2021). *Energie-shop*. En: <https://www.eenergie-shop.es/iluminacion-led/tubos-led/tubo-led-150cm-t8-glass-22w-4000k>

IDAE i CEI. (2021). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros Docentes*. IDAE. En: <https://www.idae.es/publicaciones/guia-tecnica-de-eficiencia-energetica-en-iluminacion-centros-docentes>

LeonLEDs. (2021). *LeonLEDs*. En: <https://www.leonleds.com/>

IES Puçol. (2021). [Imagem]. En: <https://www.google.es/maps/place/IES+Pu%C3%A7ol/@39.6151573,-0.3168401,574m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0xd6040614abd8761:0x600c09b9be06dff9!8m2!3d39.6151785!4d-0.3147355>

Marta Tudel. (2011). *Energia solar fotovoltaica (Col·lecció Quadern pràctic 4)*. Institut Català de l'Energia.

Global Solar Atlas. (2021). *Report Puçol*. En: <https://globalsolaratlas.info/map?c=39.617223,-0.302827,11&s=39.617223,-0.302827&m=site>

PVGIS. (2021). *Rendimiento de un sistema FV conectado a red*. En: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP)

Trina Solar. (2021). *Vertex S TSM-DE09*. En: <https://www.trinasolar.com/es>

Sunfer. (2021). *Catálogo de productos Sunfer*. En: <https://sunfer-energy.com/productos/>

SMA. (2021). *SUNNY TRIPOWER CORE1 STP 50-41*. En: <https://www.sma.de/es/productos/inversor-fotovoltaico.html>

SMA. (2021). *Curva de rendimiento del inversor*.

SMA. (2021). *Datos técnicos Sunny Tripower CORE1*.

IDAE. (2011). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. En: <https://www.idae.es/ca/tecnologies/energies-renovables/us-electric/solar-fotovoltaica>



IDAE. (2011). *Ángulo de inclinación y azimut* [Figura]. En:

<https://www.idae.es/ca/tecnologias/energias-renovables/us-electric/solar-fotovoltaica>

Ministerio de Ciencia y Tecnología. (2002). *Guía técnica de aplicación: Instalaciones interiores*.

En:<http://www.uco.es/electrotecnia->

[etsiam/reglamentos/Guia Tecnica REBT/guia bt 19 sep03R1.pdf](http://www.uco.es/electrotecnia-etsiam/reglamentos/Guia_Tecnica_REBT/guia_bt_19_sep03R1.pdf)

# **DOCUMENT 2: PRESSUPOST**

## ÍNDIX DE CONTINGUT

CAPÍTOL 1: INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA.....	72
CAPÍTOL 2: PROTECCIONS .....	76
CAPÍTOL 3: CANALITZACIONS.....	77
CAPÍTOL 4: INSTAL·LACIÓ LED .....	78
PRESSUPOSTS PARCIALS.....	79
Capítol 1.....	79
Capítol 2.....	80
Capítol 3.....	80
Capítol 4.....	80
PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL.....	81
PRESSUPOST D'ENGINYERIA.....	81
Capítol 1: Pressupost de recursos humans .....	81
Capítol 2: Pressupost ofimàtica.....	82
Pressupost total d'enginyeria.....	82

## CAPÍTOL 1: INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA

Taula P1: Unitat d'obra 1.1. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.1</b>	<b>Mòdul fotovoltaic Vertex S TSM-DE09.08</b> Mòdul fotovoltaic de la marca Trina Solar fabricat amb silici monocristal·lí i una potència de 405 W. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	u			
	Mòdul fotovoltaic Vertex S TSM-DE09.08	u	1	113,17	113,17
	Oficial 1º Electricista	h	0,75	19,23	14,42
	Ajudant Electricista	h	0,75	15,23	11,42
	Cost Directe Complementari	%	0,02	139,015	2,78
				<b>Total:</b>	<b>141,80</b>

Taula P2: Unitat d'obra 1.2. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.2</b>	<b>Estructura de suport SUNFER model 12V</b> Estructura de suport de la marca SUNFER, model 12V per a coberta plana. Fabricat amb alumini i amb regulació de l'angle d'inclinació. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	u			
	Estructura de suport SUNFER model 12V	u	1	47,83	47,83
	Oficial 1º Muntador	h	3	19,23	57,69
	Peó de construcció	h	3	16,5	49,50
	Cost Directe Complementari	%	0,02	155,0200	3,10
				<b>Total:</b>	<b>108,62</b>

Taula P 3: Unitat d'obra 1.3. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.3</b>	<b>Inversor Sunny Tripower CORE1</b> Inversor de la marca SMA de 75 kW de potència i tensió màxima d'entrada de 1000 V. Proteccions contra sobretensions incloses. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	u			
	Inversor Sunny Tripower CORE1	u	1	5563,73	5.563,73
	Oficial 1º Electricista	h	0,75	19,23	14,42
	Cost Directe Complementari	%	0,02	5578,1525	111,56
				<b>Total:</b>	<b>5.689,72</b>

Taula P4: Unitat d'obra 1.4. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.4</b>	<b>Concentrador de connexions per a 5 strings STC5</b> Concentrador de connexions per a 5 strings a l'entrada. Fusible de 16 A amb protecció IP55. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	u			
	Concentrador de connexions per a 5 strings STC5.	u	1	378,73	378,73
	Oficial 1º Electricista	h	0,25	19,23	4,81
	Cost Directe Complementari	%	0,02	383,5375	7,67
				<b>Total:</b>	<b>391,21</b>

Taula P5: Unitat d'obra 1.5. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.5</b>	<b>Línia monofàsica tram 1</b> Línia monofàsica tram 1 amb conductor de coure H07Z1-K Negre de secció 2,5 mm <sup>2</sup> i amb aïllament de polietilè reticulat. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Conductor de coure H07Z1-K Negro 2,5 mm <sup>2</sup>	m	2,55	0,305	0,78
	Oficial 1º Electricista	h	0,06	19,23	1,15
	Cost Directe Complementari	%	0,02	1,9316	0,04
				<b>Total:</b>	<b>1,97</b>

Taula P6: Unitat d'obra 1.6. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.6</b>	<b>Línia monofàsica tram 2</b> Línia monofàsica tram 2 amb conductor de coure H07Z1-K Negre de secció 25 mm <sup>2</sup> i amb aïllament de polietilè reticulat. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	M			
	Conductor de coure H07Z1-K Negro 25 mm <sup>2</sup>	m	2,55	3,39	8,64
	Oficial 1º Electricista	h	0,06	19,23	1,15
	Cost Directe Complementari	%	0,02	9,7983	0,20
				<b>Total:</b>	<b>9,99</b>

Taula P7: Unitat d'obra 1.7. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.7</b>	<b>Línia monofàsica tram 3</b> Línia monofàsica tram 3 amb conductor de coure RZ1-K amb una secció de 70 mm <sup>2</sup> i amb aïllament de polietilè reticulat. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Conductor de coure RZ1-K 1x70 mm <sup>2</sup>	m	3,5	10,29	36,02
	Oficial 1º Electricista	h	0,06	19,23	1,15
	Cost Directe Complementari	%	0,02	37,168 8	0,74
				<b>Total:</b>	<b>37,91</b>

Taula P8: Unitat d'obra 1.8. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>1.8</b>	<b>Línia monofàsica tram 4</b> Línia monofàsica tram 4 amb conductor de coure RZ1-K amb una secció de 95 mm <sup>2</sup> i amb aïllament de polietilè reticulat. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Conductor de coure RZ1-K 1x95 mm <sup>2</sup>	m	2,55	13,47	34,35
	Oficial 1º Electricista	h	0,06	19,23	1,15
	Cost Directe Complementari	%	0,02	35,502 3	0,71
				<b>Total:</b>	<b>36,21</b>

## CAPÍTOL 2: PROTECCIONS

Taula P9: Unitat d'obra 2.1. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>2.1</b>	<b>Quadre de protecció CC marca Cuvega</b> Quadre de protecció CC de la marca Cuvega per a cada <i>string</i> de mòduls, amb 1 entrada i 1 eixida, protecció contra sobretensions, fusible de 16 A i aïllament tipus IP65. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Quadre de protecció CC marca Cuvega	m	2,55	362,27	923,79
	Oficial 1º Electricista	h	0,25	19,23	4,81
	Cost Directe Complementari	%	0,02	928,5960	18,57
				<b>Total:</b>	<b>947,17</b>

Taula P10: Unitat d'obra 2.2. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>2.2</b>	<b>Protecció DPX3 250A Legrand</b> Quadre de protecció per a la part AC de la marca Legrand, model DPX3. Inclou un Interruptor automàtic i interruptor magneto tèrmic diferencial de 250A. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	U			
	Protecció DPX3 250A Legrand	u	1	1125,85	1.125,85
	Oficial 1º Electricista	h	3	19,23	57,69
	Cost Directe Complementari	%	0,02	1183,5400	23,67
				<b>Total:</b>	<b>1.207,21</b>



## CAPÍTOL 3: CANALITZACIONS

Taula P11: Unitat d'obra 3.1. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendimen t	Preu (€)	Import (€)
<b>3.1</b>	<b>Tub de PE tram 1 diàmetre 16 mm</b> Tub fabricat amb polietilè de 16 mm de diàmetre per a la canalització del tram 1. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Tub de PE tram 1 diàmetre 16 mm	m	1	0,19	0,19
	Oficial 1º Electricista	h	0,1	19,23	1,92
	Cost Directe Complementari	%	0,02	2,1130	0,04
<b>Total:</b>					<b>2,16</b>

Taula P12: Unitat d'obra 3.2. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendimen t	Preu (€)	Import (€)
<b>3.2</b>	<b>Tub de PE tram 2 diàmetre 25 mm</b> Tub fabricat amb polietilè de 25 mm de diàmetre per a la canalització del tram 2. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Tub de PE tram 2 diàmetre 25 mm	m	1	0,29	0,29
	Oficial 1º Electricista	h	0,1	19,23	1,92
	Cost Directe Complementari	%	0,02	2,2130	0,04
<b>Total:</b>					<b>2,26</b>

Taula P13: Unitat d'obra 3.3. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>3.3</b>	<b>Tub de PE tram 3 i 4 diàmetre 40 mm</b> Tub fabricat amb polietilè de 40 mm de diàmetre per a la canatllització del tram 2. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Tub de PE tram 3 i 4 diàmetre 40 mm	m	1	0,58	0,58
	Oficial 1º Electricista	h	0,1	19,23	1,92
	Cost Directe Complementari	%	0,02	2,5030	0,05
				<b>Total:</b>	<b>2,55</b>

## CAPÍTOL 4: INSTAL·LACIÓ LED

Taula P14: Unitat d'obra 4.1. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>4.1</b>	<b>Tub LED 22W 2200 lm</b> Tub LED de la marca Eenergie-shop, de 22 W de potència, flux lluminós de 2200 lm. Eficiència de 100 lm/W, grau de protecció IP20 i vida útil de 30000h. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Tub LED 22W 2200 lm	m	1	5,84	5,84
	Ajudant Electricista	h	0,1	15,23	1,52
	Cost Directe Complementari	%	0,02	7,3630	0,15
				<b>Total:</b>	<b>7,51</b>

Taula P15: Unitat d'obra 4.2. Font: Pròpia

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U. M.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
<b>4.2</b>	<b>Campana LED 100 W Konak</b> Campana LED model Konak de la marca Secom, de 100W de potència, 11340 lm i temperatura de 4000 K. Vida útil de 50.000h i protecció IP65. Comprovat el correcte funcionament i la seua instal·lació.	m			
	Campana LED 100 W Konak	m	1	200	200,00
	Ajudant Electricista	h	0,5	15,23	7,62
	Cost Directe Complementari	%	0,02	207,6150	4,15
				<b>Total:</b>	<b>211,77</b>

## PRESSUPOSTS PARCIAIS

### Capítol 1

Taula P 16: Pressupost parcial capítol 1. Font: Pròpia.

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U.M.	Mesura	Preu (€)	Import (€)
<b>1.1</b>	Mòdul fotovoltaic Vertex S TSM-DE09.08	u	380	141,80	53.882,21
<b>1.2</b>	Estructura de suport SUNFER model 12V	u	380	108,62	41.275,75
<b>1.3</b>	Inversor Sunny Tripower CORE1	u	2	5.689,72	11.379,43
<b>1.4</b>	Concentrador de connexions per a 5 strings STC5	m	4	391,21	1.564,83
<b>1.5</b>	Conductor de coure H07Z1-K Negro 2,5 mm2	m	700	1,97	1.379,13
<b>1.6</b>	Conductor de coure H07Z1-K Negro 25 mm2	m	190	9,99	1.898,91
<b>1.7</b>	Conductor de coure RZ1-K 1x70 mm2	m	50	37,91	1.895,61
<b>1.8</b>	Conductor de coure RZ1-K 1x95 mm2	u	15	36,21	543,19
				<b>Total:</b>	<b>113.819,06</b>

## Capítol 2

Taula P 17: Pressupost parcial capítol 2. Font: Pròpia.

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U.M.	Mesura	Preu (€)	Import (€)
2.1	Quadre de protecció CC marca Cuvega	u	20	947,17	18.943,36
2.2	Protecció DPX3 250A Legrand	u	2	1.207,21	2.414,42
				<b>Total:</b>	<b>21.357,78</b>

## Capítol 3

Taula P 18: Pressupost parcial capítol 3. Font: Pròpia.

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U.M.	Mesura	Preu (€)	Import (€)
3.1	Tub de PE tram 1 diàmetre 16 mm	m	700	2,16	1.508,68
3.2	Tub de PE tram 2 diàmetre 25 mm	m	190	2,26	428,88
3.3	Tub metàl·lic flexible 75mm diàmetre	m	65	2,55	165,95
				<b>Total:</b>	<b>2.103,51</b>

## Capítol 4

Taula P 19: Pressupost parcial capítol 4. Font: Pròpia.

Codi	Descripció de la unitat d'obra	U.M.	Mesura	Preu (€)	Import (€)
4.1	Tub LED 22W 2200 lm	u	1557	7,51	11.693,47
4.2	Campana LED 100 W Konak	u	2	211,77	423,53
				<b>Total:</b>	<b>12.117,01</b>

## PRESSUPOST D'EXECUCIÓ MATERIAL

Taula P 20: Pressupost d'execució material. Font: Pròpia.

Capítol	Partida	Import (€)
1	Instal·lació fotovoltaica	113.819,06
2	Proteccions	21.357,78
3	Canalitzacions	2.103,51
4	Instal·lació LED	12.117,01
	Total	<b>149.397,36</b>

El pressupost final del projecte ascendeix a la quantitat de CENT QUARANTA-NOU MIL TRES-DENTS NORANTA-SET EUROS AMB TRENTA-SIS CÈNTIMS.

## PRESSUPOST D'ENGINYERIA

### Capítol 1: Pressupost de recursos humans

Taula P 21: Pressupost recursos humans

Descripció de la unitat d'obra	u.m.	Rendiment	Preu (€)	Import (€)
Enginyera tècnica Industrial	h	300	18	5400
Tutors UPV	h	25	30	750
<b>Total:</b>				<b>6150</b>

## Capítol 2: Pressupost ofimàtica

Taula P 22: Pressupost ofimàtica. Font: Pròpia

Descripció de la unitat d'obra	Període d'armortització (mesos)	Període amortitzat (mesos)	Preu (€)	Import (€)
RETScreen	12	5	800	333,33
AutoCAD	1	5	266,2	1331,00
Pack Microsoft Office	12	5	300	125,00
Alta en Col·legi Enginyeria Industrial	12	5	178	74,17
Ordinador Lenovo i7	75	5	989,1	65,94
<b>Total:</b>				<b>1929,44</b>

## Pressupost total d'enginyeria

Taula P 23: Pressupost final enginyeria. Font: Pròpia

Unitat d'obra	Import (€)
Recursos humans	6150
Ofimàtica	1929,44
IVA (21 %)	1696,6824
<b>Total</b>	<b>8079,44</b>

# **DOCUMENT 3:**

# **PLÀNOLS**

