ANEXOS:

OPTIMIZACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN CUBIERTAS URBANAS PARA APOYO A LA RED ELÉCTRICA



GRUPO 7

Alejandro Francos Fernández

David Ferreras Gutiérrez

Jesús Díaz del Campo Ruiz

Jorge Vicente López

María González de Castejón Vicente-Arche

CONTENIDO

ANEXO 1……1
ANEXO 2……6

ANEXO 1

Para la estimación de los consumos anuales, partiendo de los datos proporcionados por el IDAE, se han organizado por categorías los principales agentes de consumo (electrodomésticos de cocina, iluminación, ACS, entre otros). A estas categorías se les ha asignado un uso en función de la estación, por ejemplo, la calefacción, quizá el ejemplo más claro, tiene un gran impacto en el consumo en el invierno, pero apenas se percibe en verano. Teniendo claras estas ideas, se elaboran las tablas de consumo anual por vivienda y por bloque, teniendo en cuenta que en el bloque de pisos de estudio existen 30 viviendas, como se indica en el epígrafe 5.1.

A continuación, se presentan de las Tablas A1-1 a la A1-4, en las que se especifican los consumos estipulados en cada estación

Tabla A1 - 1. Desglose de consumo total por categoría de agentes consumidores para la estación de invierno.

Agente consumidor	Consumo por hogar (kWh / año)	Consumo por hogar (kWh / estación)	Consumo estacional por bloque (kWh / estación)	Consumo mensual por bloque (kWh /mes)	Consumo diario por bloque (kWh /día)	Horas de uso estimadas al día (h)
Frigorífico	651	162,8	4882,5	1628	54,3	24
Horno eléctrico	223	55,8	1672,5	557,5	18,6	1
Lavadora	253	63,3	1897,5	632,5	21,1	1
Lavavajillas	242	60,5	1815	605	20,2	1
televisión	249	62,3	1867,5	623	20,8	3
Ordenadores	249	62,3	1867,5	623	20,8	10
Climatización	2670	667,5	20025	6675	222,5	12
ACS	1958	489,5	14685	4895	163,2	24
Iluminación	397	120	3600	1200	40	7
Standby	237	59,3	1777,5	593	19,8	24
Otros electrodomésticos	86	21,5	645	215	7,2	6
TOTAL	***7215***	***1824,5***	***54735***	***18245***	***608,2***	

Tabla A1 - 2. Desglose de consumo total por categoría de agentes consumidores para la estación de primeravera.

Agente consumidor	Consumo por hogar (kWh / año)	Consumo por hogar (kWh / estación)	Consumo estacional por bloque (kWh / estación)	Consumo mensual por bloque (kWh /mes)	Consumo diario por bloque (kWh /día)	Horas de uso estimadas al día (h)
Frigorífico	651	162,8	4882,5	1627,5	54,3	24
Horno eléctrico	223	55,8	1672,5	557,5	18,6	1
Lavadora	253	63,3	1897,5	632,5	21,1	1
Lavavajillas	242	60,5	1815	605	20,2	1
televisión	249	62,3	1867,5	623	20,8	3
Ordenadores	249	62,3	1867,5	623	20,8	10
Climatización	-	-	-	-	-	-
ACS	1958	489,5	14685	4895	163,2	24
Iluminación	397	99,3	2977,5	992,5	33,1	6
Standby	237	59,3	1777,5	593	19,8	24
Otros electrodomésticos	86	21,5	645	215	7,2	6
TOTAL	***4545***	***1136,3***	***34087,5***	***11362,5***	***378,8***	

Tabla A1 - 3. Desglose de consumo total por categoría de agentes consumidores para la estación de verano.

Agente consumidor	Consumo por hogar (kWh / año)	Consumo por hogar (kWh / estación)	Consumo estacional por bloque (kWh / estación)	Consumo mensual por bloque (kWh /mes)	Consumo diario por bloque (kWh /día)	Horas de uso estimadas al día (h)
Frigorífico	651	162,8	4882,5	1627,5	54,3	24
Horno eléctrico	223	55,8	1672,5	557,5	18,6	1
Lavadora	253	63,3	1897,5	632,5	21,1	1
Lavavajillas	242	60,5	1815	605	20,2	1
televisión	249	62,3	1867,5	622,5	20,8	3
Ordenadores	249	62,3	1867,5	622,5	20,8	10
Climatización	151	151	4530	1510	50,3	12
ACS	1958	489,5	14685	4895	163,2	24
Iluminación	397	78,5	2355	785	26,2	5
Standby	237	59,3	1777,5	592,5	19,8	24
Otros electrodomésticos	86	21,5	645	215	7,2	6
TOTAL	***4696***	***1266,5***	***37995***	***12665***	***422,2***	

Tabla A1 - 4. Desglose de consumo total por categoría de agentes consumidores para la estación de otoño.

Agente consumidor	Consumo por hogar (kWh / año)	Consumo por hogar (kWh / estación)	Consumo estacional por bloque (kWh / estación)	Consumo mensual por bloque (kWh /mes)	Consumo diario por bloque (kWh /día)	Horas de uso estimadas al día (h)
Frigorífico	651	162,75	4882,5	1628	54,3	24
Horno eléctrico	223	55,75	1672,5	557,5	18,6	1
Lavadora	253	63,25	1897,5	632,5	21,1	1
Lavavajillas	242	60,5	1815	605	20,2	1
televisión	249	62,25	1867,5	623	20,8	3
Ordenadores	249	62,25	1867,5	623	20,8	10
Climatización	-	-	-	-	-	-
ACS	1958	489,5	14685	4895	163,2	24
Iluminación	397	99,25	2977,5	992,5	33,1	6
Standby	237	59,25	1777,5	593	19,8	24
Otros electrodomésticos	86	21,5	645	215,0	7,2	6
TOTAL	***4545***	***1136,25***	***34087,5***	***11362,5***	***378,8***	

ANEXO 2

En este anexo se incluye el informe técnico generado mediante el software PVsyst (versión 8.0.16) correspondiente al proyecto El Ensanche TFM-RED-Rev2. El documento recoge los parámetros de simulación, características del sistema fotovoltaico conectado a red, análisis de pérdidas, resultados energéticos, balance de emisiones de CO_2 y evaluación de rendimiento.

Este informe constituye una evidencia técnica del dimensionamiento y desempeño estimado del sistema diseñado, sirviendo como soporte a los cálculos y conclusiones presentadas en el cuerpo principal del Trabajo Fin de Máster.

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: El Ensanche TFM-RED-Rev2

Sheds on ground
System power: 8.16 kWp
Barcelona/Esplugues de Llobregat - Spain

Author
Universidad Europea (Spain)

PVsyst classroom

PVsyst V8.0.16
VC0, Simulation date:
29/10/25 20:50
with V8.0.16

Universidad Europea (Spain)

Project summary

Geographical Site
Barcelona/Esplugues de Llobregat
Spain

Situation

Latitude	41.42 °(N)
Longitude	2.13 °(E)
Altitude	176 m
Time zone	UTC+1

Project settings

Albedo	0.20

Weather data
Sant Antoni
PVGIS TMY 5.3 - Sintético

System summary

Grid-Connected System
Simulation for year no 15

Sheds on ground

Orientation #1
Fixed plane
Tilt/Azimuth 40 / 0 °

Near Shadings
Linear shadings : Fast (table)

User's needs
Daily household consumers
Seasonal modulation
Average 446 kWh/Day

System information

PV Array

Nb. of modules	35 units
Pnom total	8.16 kWp

Inverters

Nb. of units	2 units
Total power	8.4 kWac
Pnom ratio	0.97

Results summary

Produced Energy	11796 kWh/year	Specific production	1447 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	72.53 %
Used Energy	162885 kWh/year			Solar Fraction SF	7.27 %

Table of contents

Project and results summary 2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses 3
Near shading definition - Iso-shadings diagram 6
Detailed User's needs 7
Main results 8
Loss diagram 9
Predef. graphs 10
P50 - P90 evaluation 11
Single-line diagram 12
CO_2 Emission Balance 13

PVsyst classroom

General parameters

Grid-Connected System

Sheds on ground

Orientation #1

Fixed plane
Tilt/Azimuth 40 / 0 °

Sheds configuration
Nb. of sheds 6 units
Set of tables

Shading limit angle
Limit profile angle 18.9 °

Sizes

Sheds spacing	4.37 m
Sensitive width	1.64 m
GCR Shading	37.9 %
Top inactive band	0.02 m
Bottom inactive band	0.02 m

Models used

Transposition	Perez
Diffuse	Perez, Meteonorm
Circumsolar	separate

Horizon
Free Horizon

Near Shadings
Linear shadings : Fast (table)

User's needs
Daily household consumers
Seasonal modulation
Average 446 kWh/Day

PV Array Characteristics

PV module

Manufacturer	Generic
Model	SE-M 233
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	233 Wp

Inverter

Manufacturer	Generic
Model	X1-Boost-4.2kW with 2 MPPT
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	4.20 kWac

Array #1 - L1-NE

Number of PV modules	6 units	Number of inverters	1 * MPPT 33% 0.3 unit
Nominal (STC)	1398 Wp	Total power	1.4 kWac
Modules	1 strings x 6 In series		
At operating cond. (50°C)		Operating voltage	70-580 V
Pmpp	1250 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	1.00
U mpp	163 V		
I mpp	7.7 A		

Array #2 - L2-NE

Number of PV modules	12 units	Number of inverters	1 * MPPT 67% 0.7 unit
Nominal (STC)	2796 Wp	Total power	2.8 kWac
Modules	2 string x 6 In series		
At operating cond. (50°C)		Operating voltage	70-580 V
Pmpp	2499 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	1.00
U mpp	163 V		
I mpp	15 A		

Array #3 - L1-SO

Number of PV modules	6 units	Number of inverters	1 * MPPT 35% 0.4 unit
Nominal (STC)	1398 Wp	Total power	1.5 kWac
Modules	1 strings x 6 In series		
At operating cond. (50°C)		Operating voltage	70-580 V
Pmpp	1250 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	0.94
U mpp	163 V		
I mpp	7.7 A		

PV Array Characteristics

Array #4 - L2-SO

Number of PV modules	11 units	Number of inverters	1 * MPPT 65% 0.6 unit
Nominal (STC)	2563 Wp	Total power	2.7 kWac
Modules	1 strings x 11 In series		
At operating cond. (50°C)		Operating voltage	70-580 V
Pmpp	2291 Wp	Pnom ratio (DC:AC)	0.94
U mpp	299 V		
I mpp	7.7 A		

Total PV power

Nominal (STC)	8 kWp
Total	35 modules
Module area	56.2 m²
Cell area	50.5 m²

Total inverter power

Total power	8.4 kWac
Number of inverters	2 units
Pnom ratio	0.97
Power sharing defined	

Array losses

Array Soiling Losses
Loss Fraction 3.0 %

Thermal Loss factor
Module temperature according to irradiance
Uc (const) 29.0 W/m²K
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s

LID - Light Induced Degradation
Loss Fraction 1.0 %

Module Quality Loss
Loss Fraction 1.50 %

Module average degradation
Year no 15
Loss factor 0.4 %/year
Imp / Vmp contributions 80% / 20%
Mismatch due to degradation
Imp RMS dispersion 0.4 %/year
Vmp RMS dispersion 0.4 %/year

IAM loss factor
ASHRAE Param.: IAM = 1 - bo (1/cosi -1)
bo Param. 0.05

Module mismatch losses

Array #1 - L1-NE
Loss Fraction 2.00 % at MPP

Array #2 - L2-NE
Loss Fraction 2.00 % at MPP

Array #3 - L1-SO
Loss Fraction 2.00 % at MPP

Array #4 - L2-SO
Loss Fraction 2.00 % at MPP

Spectral correction
FirstSolar model
Precipitable water estimated from relative humidity

Coefficient Set	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Polycrystalline Si	0,8409	-0,027539	-0,0079224	0,1357	0,038024	-0,0021218

DC wiring losses

Global wiring resistance 10 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #1 - L1-NE
Global array res. 360 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #2 - L2-NE
Global array res. 180 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #3 - L1-SO
Global array res. 360 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

Array #4 - L2-SO
Global array res. 660 mΩ
Loss Fraction 1.5 % at STC

System losses

Unavailability of the system
Time fraction 2.0 %
7.3 days,
2 periods

AC wiring losses

Inv. output line up to MV transfo
Inverter voltage 230 Vac mono
Loss Fraction 0.34 % at STC

Inverter: X1-Boost-4.2kW with 2 MPPT
Wire section (1 Inv.) Copper 1 x 2 x 300 mm²
Wires length 678 m

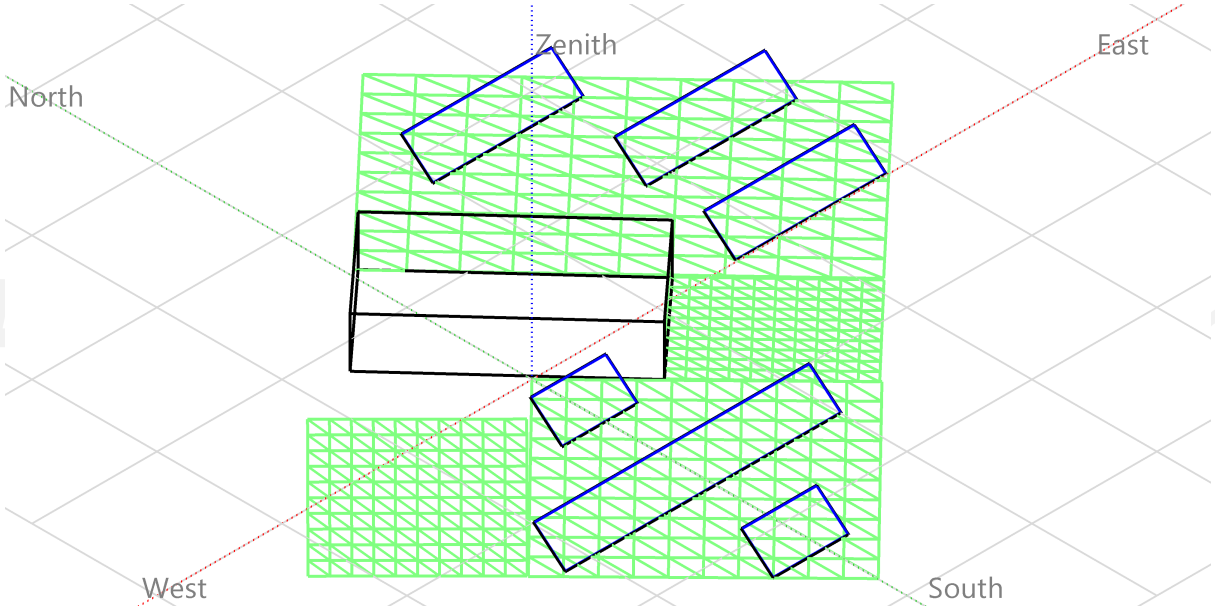
Inverter: X1-Boost-4.2kW with 2 MPPT
Wire section (1 Inv.) Copper 1 x 2 x 2 mm²
Wires length 0 m

AC losses in transformers

MV transfo
Medium voltage 20 kV
Transformer parameters
Nominal power at STC 7.98 kVA
Iron Loss (24/24 Connexion) 0.01 kVA
Iron loss fraction 0.12 % at STC
Copper loss 0.09 kVA
Copper loss fraction 1.18 % at STC
Coils equivalent resistance 3 x 234 mΩ

Near shadings parameter

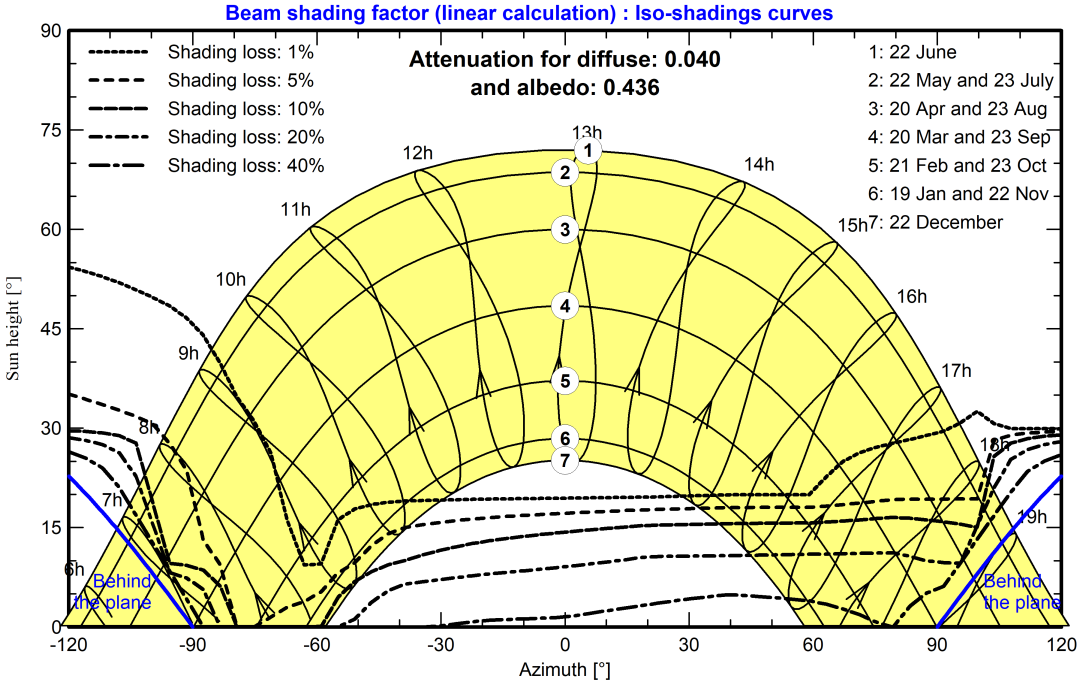
Perspective of the PV-field and surrounding shading scene



Iso-shadings diagram

Orientation #1 - Fixed plane, Tilts/azimuths: 40°/ 0°

Beam shading factor (linear calculation) : Iso-shadings curves



Detailed User's needs

Daily household consumers, Seasonal modulation, average = 446 kWh/day

Summer (Jun-Aug)

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Frigorífico + ACS	1	9059/lamp	24.0	217416
Horno + Lavadora + Lavavajillas	1	59833/app	1.0	59833
Televisión	1	6917/app	3.0	20751
Ordenadores	1		10	20750
Climatización	1		12	50328
Iluminación	1	5233 tot	5.0	26165
Otros electrodomésticos	1	1194 tot	6.0	7164
Consumidores en espera			24.0	19752
Total daily energy				422159

Autumn (Sep-Nov)

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Frigorífico + ACS	1	9059/lamp	24.0	217416
Horno + Lavadora + Lavavajillas	1	59833/app	1.0	59833
Televisión	1	6917/app	3.0	20751
Ordenadores	1		10	20750
Iluminación	1	5514 tot	6.0	33084
Otros electrodomésticos	1	1194 tot	6.0	7164
Consumidores en espera			24.0	19752
Total daily energy				378750

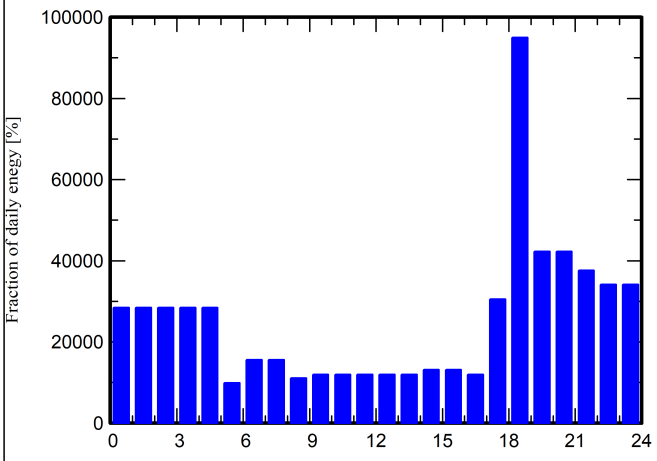
Winter (Dec-Feb)

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Frigorífico + ACS	1	9059/lamp	24.0	217416
Horno + Lavadora + Lavavajillas	1	59833/app	1.0	59833
Televisión	1	6917/app	3.0	20751
Ordenadores	1		10	20750
Climatización	1		12	222504
Iluminación	1	5714 tot	7.0	39998
Otros electrodomésticos	1	1194 tot	6.0	7164
Consumidores en espera			24.0	19752
Total daily energy				608168

Spring (Mar-May)

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Frigorífico + ACS	1	9059/lamp	24.0	217416
Horno + Lavadora + Lavavajillas	1	59833/app	1.0	59833
Televisión	1	6917/app	3.0	20751
Ordenadores	1		10	20750
Iluminación	1	5514 tot	6.0	33084
Otros electrodomésticos	1	1194 tot	6.0	7164
Consumidores en espera			24.0	19752
Total daily energy				378750

Hourly distribution

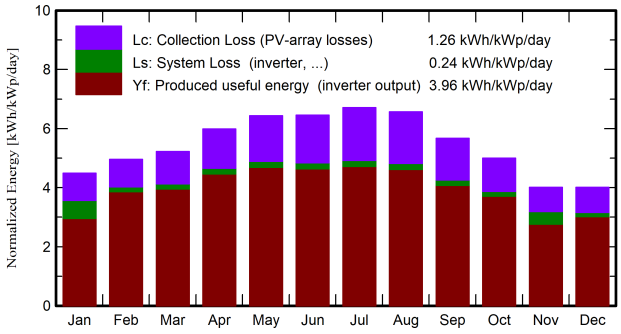


Main results

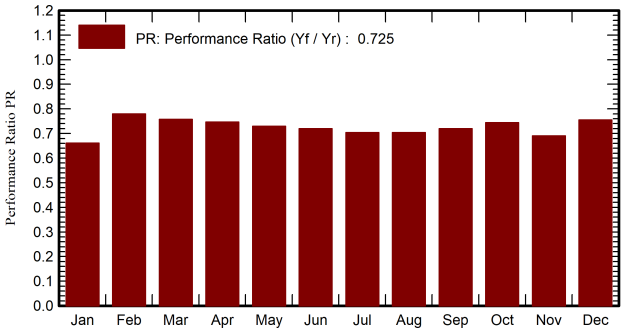
System Production

Produced Energy	11796 kWh/year	Specific production	1447 kWh/kWp/year
Used Energy	162885 kWh/year	Perf. Ratio PR	72.53 %
		Solar Fraction SF	7.27 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



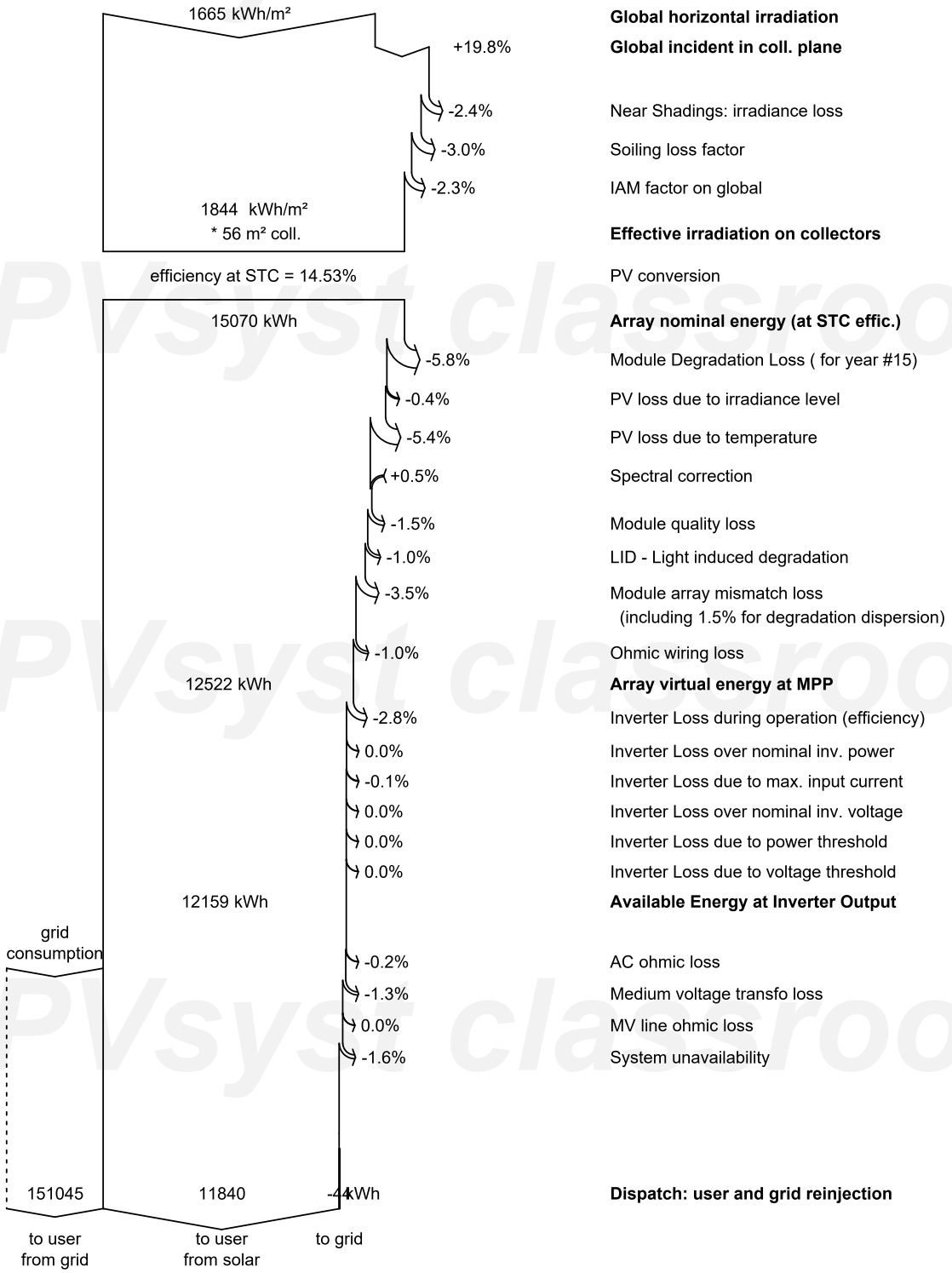
Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
January	72.3	23.59	12.70	139.2	128.9	0.904	18.85	0.755	-0.005	18.10
February	86.2	30.93	8.70	138.9	129.3	0.921	17.03	0.887	-0.004	16.14
March	125.4	51.93	12.30	162.0	150.6	1.045	11.74	1.005	-0.004	10.74
April	164.0	59.32	14.00	179.6	166.3	1.140	11.36	1.096	-0.003	10.27
May	206.9	71.01	18.10	199.5	184.0	1.239	11.74	1.190	-0.003	10.55
June	213.1	72.40	21.10	193.6	178.0	1.185	12.66	1.139	-0.003	11.53
July	223.7	68.60	25.80	208.0	191.5	1.245	13.09	1.196	-0.003	11.89
August	194.4	61.62	26.80	203.5	188.4	1.219	13.09	1.172	-0.003	11.91
September	141.6	54.51	21.90	170.2	158.1	1.043	11.36	1.003	-0.004	10.36
October	106.0	44.14	19.60	154.9	144.3	0.981	11.74	0.944	-0.004	10.80
November	68.9	29.80	14.10	120.5	111.2	0.782	11.36	0.683	-0.004	10.68
December	62.1	22.80	13.90	124.4	113.9	0.801	18.85	0.771	-0.005	18.08
Year	1664.7	590.65	17.48	1994.3	1844.3	12.506	162.88	11.840	-0.044	151.04

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_User	Energy supplied to the user
T_Amb	Ambient Temperature	E_Solar	Energy from the sun
GlobInc	Global incident in coll. plane	E_Grid	Energy injected into grid
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid

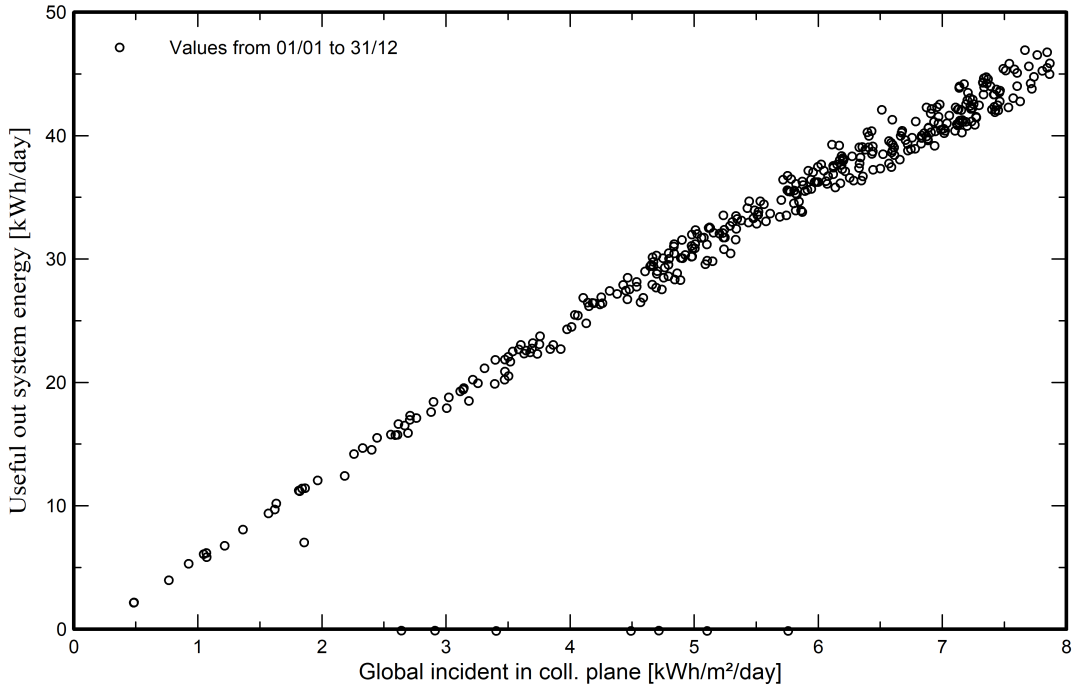
Loss diagram



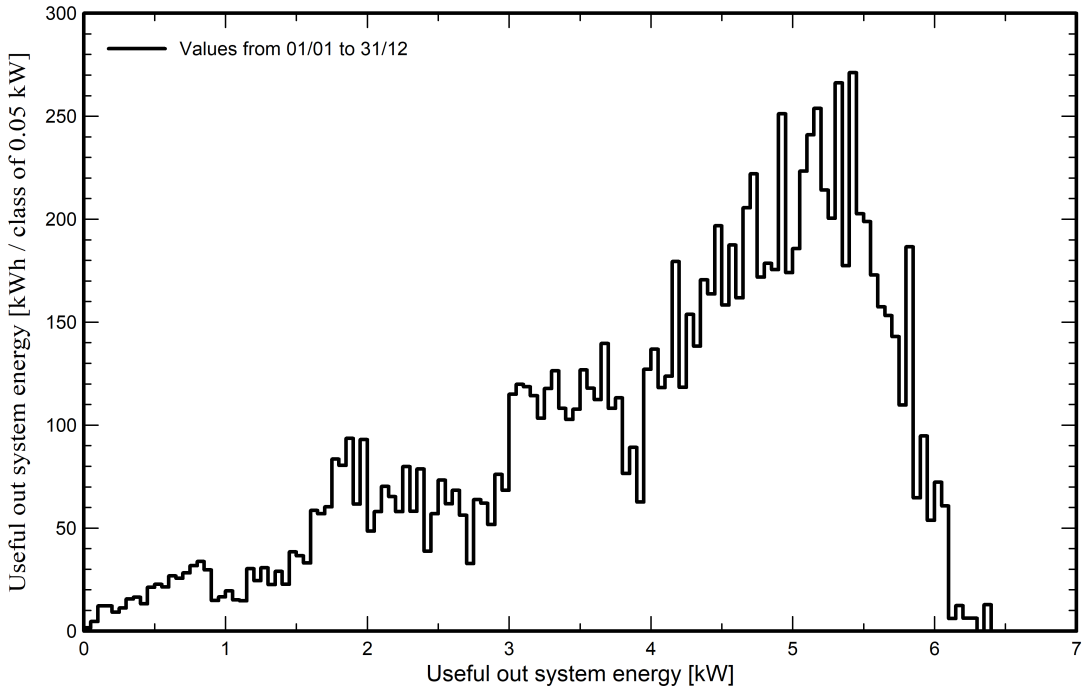
Global horizontal irradiation
Global incident in coll. plane
Near Shadings: irradiance loss
Soiling loss factor
IAM factor on global
Effective irradiation on collectors
PV conversion
Array nominal energy (at STC effic.)
Module Degradation Loss (for year #15)
PV loss due to irradiance level
PV loss due to temperature
Spectral correction
Module quality loss
LID - Light induced degradation
Module array mismatch loss
(including 1.5% for degradation dispersion)
Ohmic wiring loss
Array virtual energy at MPP
Inverter Loss during operation (efficiency)
Inverter Loss over nominal inv. power
Inverter Loss due to max. input current
Inverter Loss over nominal inv. voltage
Inverter Loss due to power threshold
Inverter Loss due to voltage threshold
Available Energy at Inverter Output
AC ohmic loss
Medium voltage transfo loss
MV line ohmic loss
System unavailability
Dispatch: user and grid reinjection

Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution



P50 - P90 evaluation

Weather data

Source	PVGIS TMY 5.3
Kind	Monthly averages
Sintético - Multi-year average	
Year-to-year variability(Variance)	2.7 %

Specified Deviation

Climate change	0.0 %

Simulation and parameters uncertainties

PV module modelling/parameters	1.0 %
Inverter efficiency uncertainty	0.5 %
Soiling and mismatch uncertainties	1.0 %
Degradation uncertainty	1.0 %

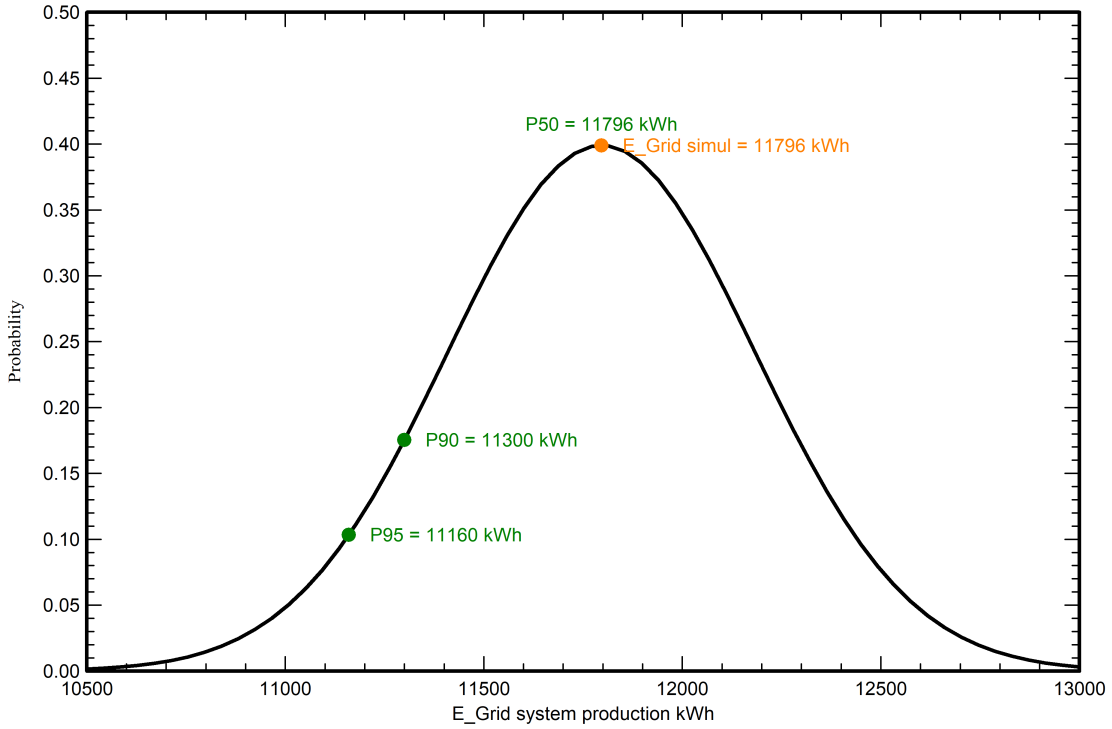
Global variability (weather data + system)

Variability (Quadratic sum)	3.3 %

Annual production probability

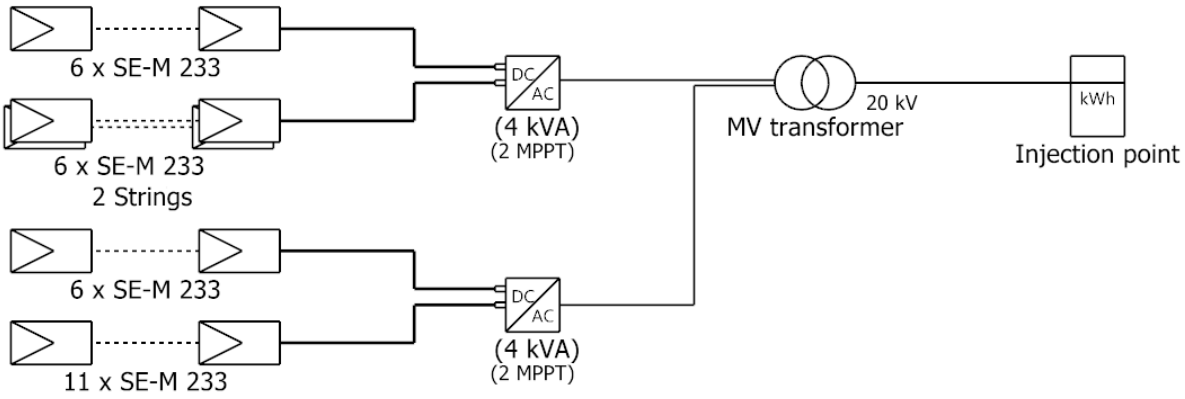
Variability	387 kWh
P50	11796 kWh
P90	11300 kWh
P95	11160 kWh

Probability distribution



Single-line diagram

PVsyst V8.0.16
VC0, Simulation date:
29/10/25 20:50
with V8.0.16



PV module	SE-M 233
Inverter	X1-Boost-4.2kW with 2 MPPT
String 1	6 x SE-M 233
String 2	11 x SE-M 233

	El Ensanche TFM-RED-Rev2	Universidad Europea (Spain)
	VC0 : Simulación 1- 8 baterias, sin pérdidas de envejcecimiento	29/10/25

CO_2 Emission Balance

Total: -529.7 tCO_2

Generated emissions

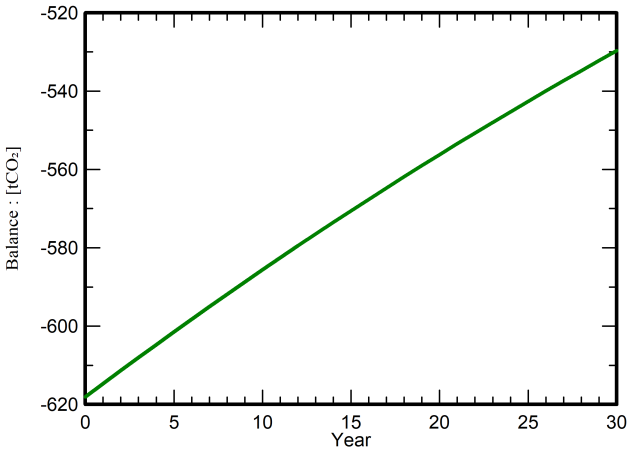
Total: 618.11 tCO_2

Source: Detailed calculation from table below

Replaced Emissions

Total:	101.9 tCO_2
System production:	11.84 MWh/yr
Grid Lifecycle Emissions:	287 gCO_2/kWh
Source:	IEA List
Country:	Spain
Lifetime:	30 years
Annual degradation:	1.0 %

Saved CO_2 Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[$kgCO_2$]
Modules	1691 kgCO2/kWp	348 kWp	588919
Supports	1.91 kgCO2/kg	14950 kg	28619
Inverters	190 kgCO2/	3.00	569