



# **Estudio dimensionamiento Instalación Fotovoltaica PCMASA 2**

## Contenido

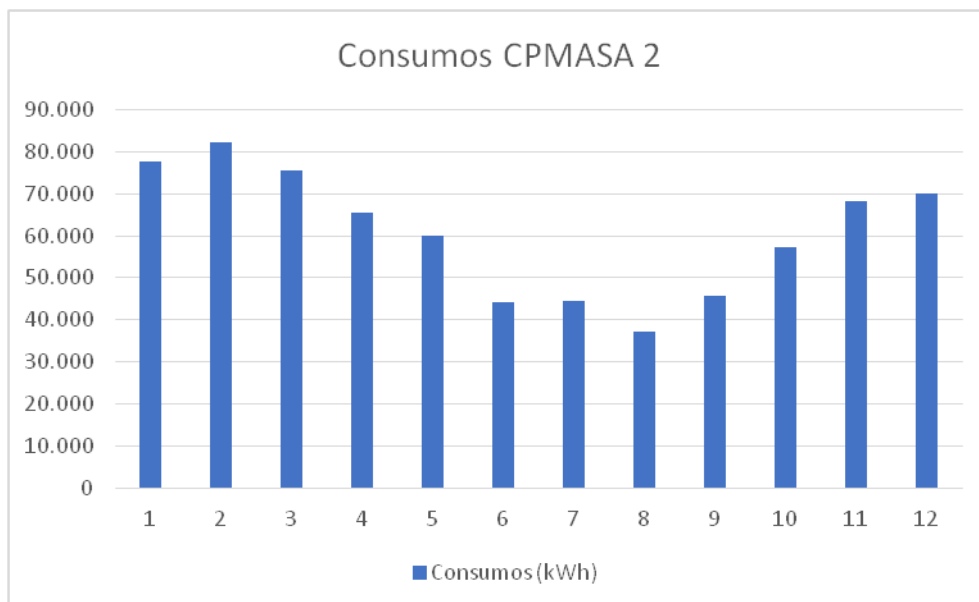
1. Análisis Consumo .....	3
2. Ubicación Instalación Fotovoltaica.....	4
2.1. Posicionamiento paneles fotovoltaicos .....	5
3. Instalación Generadora .....	6
3.1. Instalaciones óptimas para una Industria estándar .....	11
3.1.1. Instalación Generadora con excedentes. 500 kWn.....	11
3.1.2. Instalación Generadora con excedentes. 400 kWn.....	15
3.1.3. Instalación Generadora sin excedentes. 80 kWn .....	19
3.2. Instalaciones óptimas para una Base militar: Particularidades PCMASA 2.....	23
3.3. Características del PCMASA 2 que condicionan la potencia óptima a instalar.....	24
3.3.1. Distribución consumos .....	24
3.3.2. Inclinação y orientación cubiertas edificio.....	24
4. Conclusiones.....	25

El objeto de este documento es presentar las distintas opciones de dimensionamiento y viabilidad económica de inversión de una Instalación fotovoltaica para autoconsumo que mitigue la compra de energía de la red eléctrica en las instalaciones de PCMASA 2 en el municipio de Segovia.

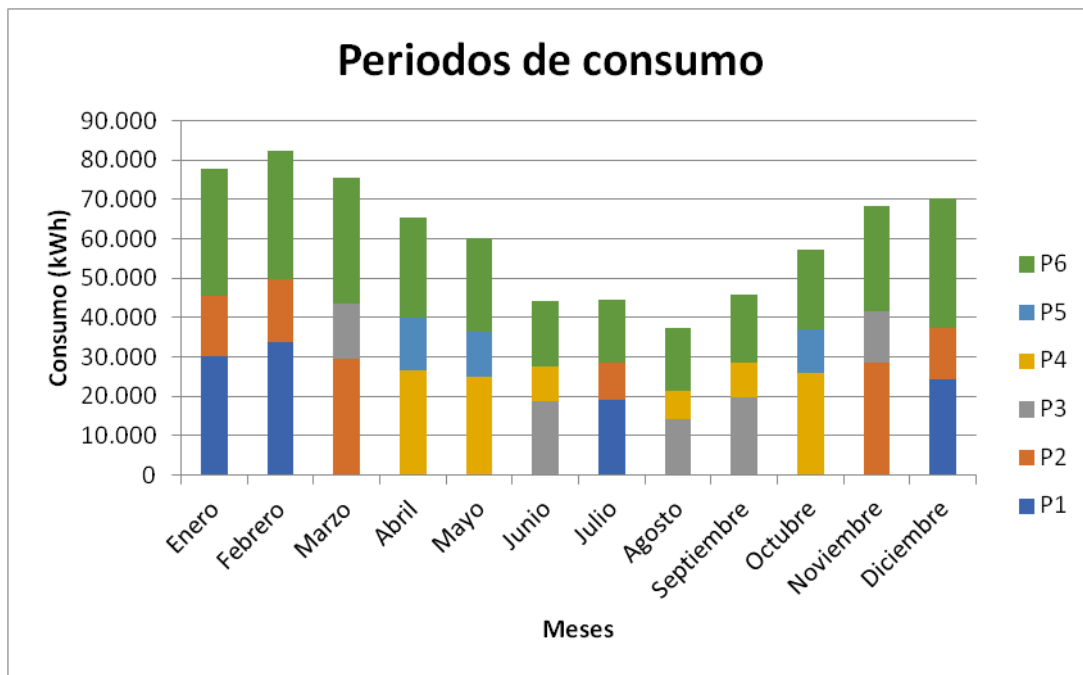
## 1. Análisis Consumo

Previo al diseño y estudio de la instalación fotovoltaica, se han determinado las necesidades energéticas del suministro, analizando los datos anuales de consumo proporcionados por PCMASA 2.

El consumo total anual de la instalación, según los datos proporcionados, es de 729.064 kWh, distribuyéndose por meses de la siguiente manera:



El suministro dispone de una tarifa de contratación de electricidad de 6.1TD en Alta Tensión, disponiendo de 6 periodos de facturación, discriminándose de forma horaria.



## 2. Ubicación Instalación Fotovoltaica

El edificio principal de PCMASA2, se ha representado en la imagen inferior, dispone de varias cubiertas a dos aguas con orientaciones oeste-este, y una inclinación estimada de 25º respecto a la horizontal.



La superficie válida de las cubiertas disponibles para la ubicación de la instalación solar Fotovoltaica es aproximadamente de 16.649 m<sup>2</sup>.

Se propone realizar una instalación fotovoltaica en la cubierta disponible, aprovechando la inclinación y orientación existente de las cubiertas, con sistema de estructura coplanar, es

decir, una estructura metálica instalada con la misma orientación e inclinación de la cubierta existente.

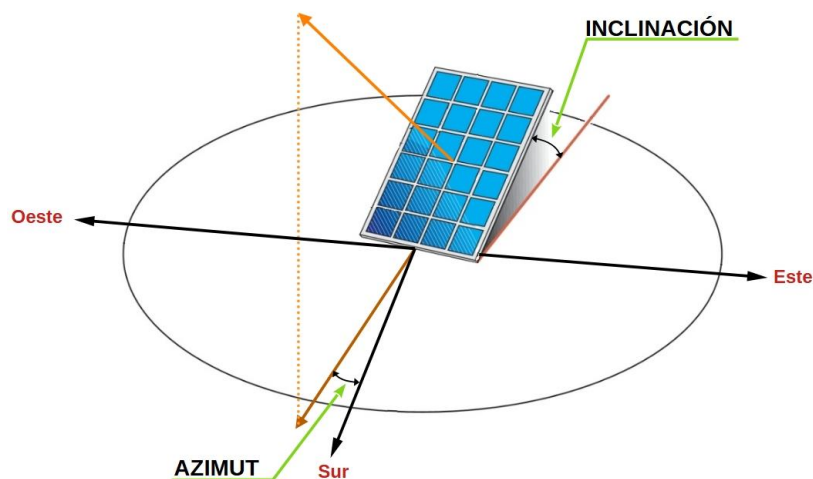
### 2.1. Posicionamiento paneles fotovoltaicos

La posición de los paneles fotovoltaicos viene determinada por dos ángulos, el ángulo de inclinación y el ángulo de azimut. Veamos cómo se definen estas dos magnitudes:

- **Inclinación:** El ángulo de inclinación, o simplemente inclinación, es el ángulo que forma el panel con la superficie horizontal. Por lo tanto, será  $0^\circ$  para paneles colocados horizontalmente y  $90^\circ$  para paneles dispuestos verticalmente.

Como consecuencia de la variación de la altura del sol a lo largo del año, la inclinación se puede ajustar dependiendo de en qué época del año queremos maximizar la producción de energía de nuestros paneles. De este modo y para regiones con latitudes similares a la nuestra:

- Si queremos favorecer la producción en verano, la inclinación será pequeña, en torno a los  $15^\circ$ .
  - Por el contrario, inclinaciones altas, alrededor de los  $60^\circ$ , favorecen la producción energética en los meses de invierno.
  - Si lo que pretendemos es maximizar la producción de energía a lo largo del año, como ocurre en las instalaciones conectadas a red, la inclinación debe estar en torno a los  $30^\circ - 35^\circ$  (una forma rápida de obtener una aproximación de este ángulo es restando  $10^\circ$  a la latitud).
- **Azimut:** El ángulo de azimut, o simplemente azimut, es el ángulo que forma la proyección de la normal al panel sobre la superficie horizontal con la dirección sur, siendo  $0^\circ$  para paneles orientados al sur, positivo para paneles orientados al suroeste o noroeste, y negativo para paneles orientados al sureste o noreste. De esta forma, un panel orientado al oeste tendrá un azimut de  $+90^\circ$ , siendo de  $-90^\circ$  si estuviera orientado al este.



En el caso del parque PCMASA 2 la cubierta del edificio dispone de dos orientaciones noreste ( $-113^\circ$  azimut) y suroeste ( $67^\circ$  azimut), ambos con una inclinación estimada de  $25^\circ$  respecto a la horizontal.

### 3. Instalación Generadora

Tras estudiar la superficie disponible y el consumo eléctrico existente en las instalaciones de PCMASA 2, se han estudiado varias propuestas de dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas buscando la que mejor se adapte a las necesidades del suministro existente.

Los distintos dimensionamientos se han estudiado para las dos modalidades de autoconsumo a las que puede acogerse la instalación, tal y cómo se describe a continuación.

El autoconsumo, del marco regulatorio actual, permite ser diseñado con exportación de excedentes o sin vertido:

- **Exportación de excedentes:** El consumidor utiliza la energía procedente de la instalación de autoconsumo cuando la necesita, pudiendo comprar energía de la red en los momentos en que esta energía no sea suficiente para satisfacer su consumo eléctrico.

Los excedentes generados pueden compensarse en la factura eléctrica o venderse en el mercado eléctrico. En el caso de esta instalación, no cumple los criterios para acogerse a la modalidad con compensación, por lo tanto, los excedentes se venderían en el mercado eléctrico.

En este caso, se deberá realizar una modificación en el Centro de Transformación existe en el edificio adaptándose a la normativa de la distribuidora para el vertido de los excedentes a la red.

- **Sin vertido o inyección cero:** No se produciría energía excedentaria; sería necesario la instalación de un equipo que limite la generación en caso de que ésta sobrepase el consumo.

Ambas modalidades se han tenido en cuenta en el estudio de las propuestas de dimensionamiento. En el caso de la venta de excedentes, se ha estimado un precio de venta de la energía excedentaria teniendo en cuenta los precios futuros de la electricidad, e incluyendo una estimación del coste de inversión que supone adaptar el centro de Transformación.

A continuación, se detalla una tabla comparativa de distintos dimensionamientos de potencias de instalaciones solares fotovoltaicas. Se han estudiado criterios tanto económicos como energéticos, teniendo en cuenta las modalidades de autoconsumo a las que podría acogerse la instalación y la inversión a realizar.

Instalación FV	Pot. Inversor	50,00 kWn	80,00 kWn	100,00 kWn	200,00 kWn	300,00 kWn	400,00 kWn	500,00 kWn	600,00 kWn	700,00 kWn	800,00 kWn	900,00 kWn	1.000,00 kWn
	Pot. Módulos	60,90 kWp	87,00 kWp	110,20 kWp	240,70 kWp	356,70 kWp	472,70 kWp	588,70 kWp	704,70 kWp	820,70 kWp	936,70 kWp	1.052,70 kWp	1.168,70 kWp
Consumo Anual (E_User)		729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh	729.064,00 kWh
Generación Anual (E_PV)		80.432,20 kWh	114.055,89 kWh	144.823,48 kWh	312.913,52 kWh	476.721,52 kWh	639.887,07 kWh	797.548,16 kWh	961.337,57 kWh	1.121.337,34 kWh	1.285.168,97 kWh	1.449.167,10 kWh	1.607.118,04 kWh
Fracción Fotovoltaica (PV_Frac)		11,03 %	15,64 %	19,86 %	42,92 %	65,39 %	87,77 %	109,39 %	131,86 %	153,81 %	176,28 %	198,77 %	220,44 %
Autoconsumo estimado (E_solar)		79.365 kWh	107.028 kWh	128.261 kWh	214.912 kWh	257.886 kWh	284.006 kWh	301.105 kWh	314.320 kWh	324.585 kWh	332.831 kWh	339.754 kWh	345.554 kWh
Fracción solar (Sol_Frac)		10,89 %	14,68 %	17,59 %	29,48 %	35,37 %	38,95 %	41,30 %	43,11 %	44,52 %	45,65 %	46,60 %	47,40 %
Aprovechamiento solar		98,67 %	93,84 %	88,56 %	68,68 %	54,10 %	44,38 %	37,75 %	32,70 %	28,95 %	25,90 %	23,44 %	21,50 %
Coste Anual Consumo eléctrico (FE_sin_PV)		66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €	66.758,99 €
Coste Anual Consumo eléctrico con FV (FE_con_PV)		59.483,23 €	56.929,71 €	54.961,64 €	46.871,62 €	42.829,87 €	40.368,12 €	38.752,19 €	37.508,99 €	36.543,28 €	35.769,89 €	35.122,38 €	34.580,47 €
Ahorro anual por Autoconsumo (FE_sin_PV – FE_con_PV)		7.275,76 €	9.829,28 €	11.797,35 €	19.887,37 €	23.929,12 €	26.390,87 €	28.006,80 €	29.250,00 €	30.215,71 €	30.989,10 €	31.636,61 €	32.178,52 €
CON EXCEDENTES													
Energía Excedentaria (E_exc)		1.067 kWh	7.028 kWh	16.563 kWh	98.002 kWh	218.836 kWh	355.881 kWh	496.443 kWh	647.018 kWh	796.752 kWh	952.338 kWh	1.109.413 kWh	1.261.564 kWh
Venta energía excedentaria (FE_exc)		59,33 €	390,81 €	921,02 €	5.449,59 €	12.168,84 €	19.789,52 €	27.605,77 €	35.978,82 €	44.305,12 €	52.956,82 €	61.691,29 €	70.151,97 €
Ahorro total (FE_sin_PV – FE_con_PV + FE_exc)		7.335,09 €	10.220,09 €	12.718,36 €	25.336,96 €	36.097,96 €	46.180,39 €	55.612,57 €	65.228,82 €	74.520,83 €	83.945,92 €	93.327,89 €	102.330,49 €
Inversión (Cost_PV)		78.375,20 €	97.101,95 €	116.589,95 €	202.311,45 €	287.571,45 €	364.404,75 €	447.228,75 €	525.778,40 €	607.384,40 €	672.444,70 €	751.614,70 €	830.784,70 €
Tiempo de amortización		10,68 años	9,50 años	9,17 años	7,98 años	7,97 años	7,89 años	8,04 años	8,06 años	8,15 años	8,01 años	8,05 años	8,12 años
TIR - 25 Años (%)		6,95 %	8,60 %	9,19 %	11,32 %	11,45 %	11,64 %	11,40 %	11,39 %	11,25 %	11,50 %	11,44 %	11,33 %
VAN - 25 Años (€)		88.210,84 €	140.750,05 €	182.975,22 €	408.961,90 €	589.523,27 €	761.749,08 €	911.921,51 €	1.070.915,18 €	1.218.843,00 €	1.386.603,97 €	1.539.190,17 €	1.682.404,98 €
SIN EXCEDENTES													
Energía Excedentaria (E_exc)		0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Venta energía excedentaria (FE_exc)		0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ahorro total (FE_sin_PV – FE_con_PV + FE_exc)		7.275,76 €	9.829,28 €	11.797,35 €	19.887,37 €	23.929,12 €	26.390,87 €	28.006,80 €	29.250,00 €	30.215,71 €	30.989,10 €	31.636,61 €	32.178,52 €
Inversión (Cost_PV)		59.728,25 €	78.455,00 €	97.943,00 €	183.664,50 €	268.924,50 €	345.757,80 €	428.581,80 €	507.131,45 €	588.737,45 €	653.797,75 €	732.967,75 €	812.137,75 €
Tiempo de amortización		8,21 años	7,98 años	8,30 años	9,24 años	11,24 años	13,10 años	15,30 años	17,34 años	19,48 años	21,10 años	23,17 años	25,24 años
TIR - 25 Años (%)		10,14 %	10,81 %	10,42 %	9,31 %	7,04 %	5,42 %	3,90 %	2,76 %	1,76 %	1,10 %	0,35 %	-0,31 %
VAN - 25 Años (€)		105.392,08 €	149.743,16 €	178.870,95 €	292.991,50 €	307.571,93 €	291.549,57 €	248.642,80 €	200.802,99 €	143.052,19 €	97.096,34 €	33.921,26 €	-31.862,28 €

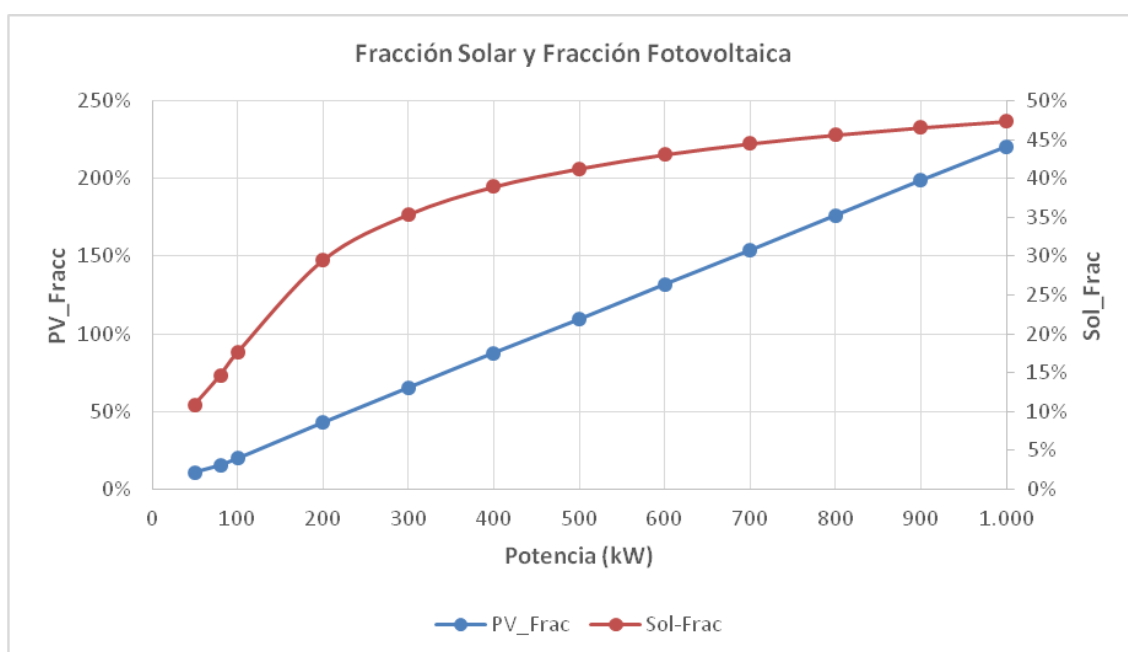
A continuación, se indica las magnitudes que se representan los términos mostrados en la tabla anterior:

- Energía consumida ( $E_{user}$ )
- Energía generada ( $E_{PV}$ )
- Energía generada y autoconsumida por el usuario ( $E_{solar}$ )
- Energía excedentaria ( $E_{exc}$ )
- Fracción Fotovoltaica (**PV\_Frac**). Relación existente entre la energía total generada por la instalación solar y la energía total consumida.
- Fracción solar (**Sol\_Frac**). Relación existente entre la energía destinada para autoconsumo generada por la instalación solar y la energía total consumida. Nos permite conocer el porcentaje de la energía consumida que cubre el autoconsumo.
- Aprovechamiento solar: Porcentaje de generación que se autoconsume.
- Coste de la energía del usuario sin FV ( $FE_{sin\_PV}$ )
- Coste de la energía del usuario con FV ( $FE_{con\_PV}$ )
- Coste de la venta de la energía excedentaria ( $FE_{exc}$ )

En la tabla superior se pueden observar los datos de cada una de las propuestas, en concreto se consideran muy interesantes los datos de **Energía generada y autoconsumida por el usuario ( $E_{solar}$ )**, **ahorro económico**, **fracción fotovoltaica (PV\_Frac)**, **fracción solar (Sol\_Frac)**, **inversión**, **tiempo de amortización y TIR**. Vamos a comentarlos brevemente:

- **$E_{solar}$ , PV\_frac y Sol\_frac:**

Como vemos en la tabla, energéticamente cuánto más alta es la potencia pico de la instalación mayor es la energía producida y, por tanto, menor es la energía que hay que coger de la red. Esto se puede ver rápidamente consultando el parámetro  **$E_{solar}$** , el cual va creciendo progresivamente a medida que incrementamos la potencia pico. También podemos ver el crecimiento tan rápido de la ratio **PV\_Frac**, lo cual indica cómo crece linealmente la energía producida con respecto a las necesidades del usuario fijas, mientras que la ratio **Sol\_Frac**, tiene un crecimiento mucho más contenido y va quedándose prácticamente estacionaria pese a que la potencia pico se aumente mucho. Para entenderlo mejor, se muestran las siguientes gráficas cuyos ejes son potencia pico y las ratios **PV\_Frac** y **Sol\_Frac** para todas las pruebas realizadas.

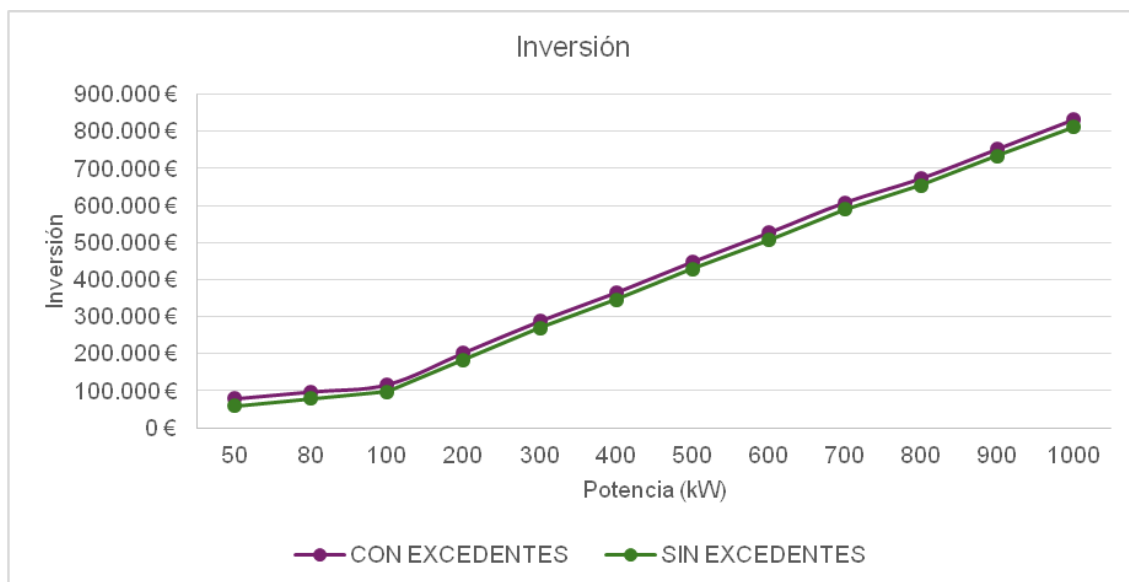


La ratio **PV\_Frac** sigue un crecimiento lineal y la ratio **Sol\_Frac** sigue un crecimiento logarítmico, por tanto, por mucho que aumentemos la potencia pico este último valor nunca llegará al 100 %, al menos sin acumuladores. Esto quiere decir, que por mucho que se aumente la potencia pico de la instalación, hay un punto en el cual la energía generada no se puede aprovechar más, ya que la industria tiene consumos nocturnos.

Desde un punto de vista energético, la instalación óptima es aquella para la cual la fracción solar aumenta más lento, esto sucede entre lo 500-600 kWn de potencia instalada.

- **Inversión**

Se ha realizado una estimación de la inversión a realizar en cada propuesta, según ratios €/W, aumentándose el coste de cada W según se reduce la potencia instalada. Además, en el caso de con excedentes, se ha tenido en cuenta la inversión necesaria para adaptar el Centro de Transformación del parque.



Como muestra la gráfica superior, los costes de instalación crecen de forma prácticamente lineal respecto a la potencia, en ambas modalidades. Se puede observar como al aumentar la potencia de la instalación fotovoltaica, los costes de inversión aumentan.

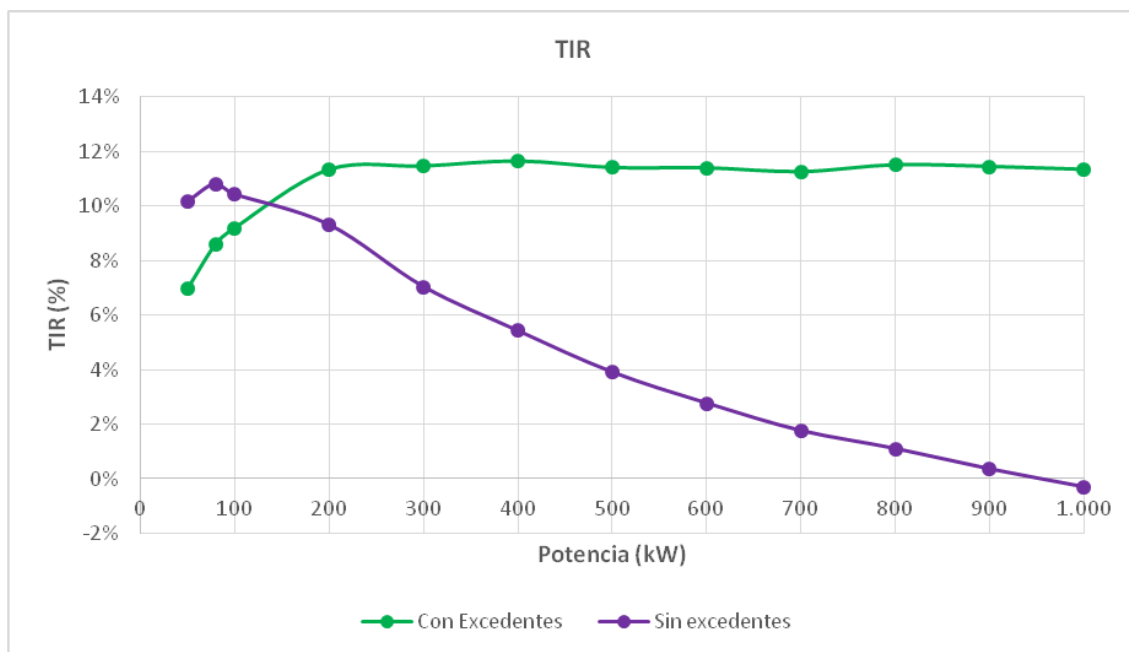
Cuanto mayor es la potencia de la instalación para esta industria, mayores son los ahorros anuales obtenidos por la empresa. Esto tiene sentido, ya que la factura con fotovoltaica va disminuyendo a medida que se aumenta la potencia pico, llegando incluso a ganar más dinero de la venta de energía producida que por el ahorro del consumo de red. Pese a que económicamente es bueno, carece de sentido para una instalación fotovoltaica de autoconsumo generar mucha más energía para vender que para consumir y es algo que se quiere evitar porque el término autoconsumo dejaría de tener sentido.

- **Ahorro económico y TIR:**

El ahorro económico se ha estudiado para cada una de las modalidades comentadas anteriormente. En el caso con excedentes, se ha calculado el ahorro en la factura eléctrica producido directamente debido a la energía generada por el autoconsumo y que es

autoconsumida directamente por el parque, y a mayores se ha sumido los beneficios de vender la energía restante en el mercado eléctrico. En el caso de sin excedentes, no se vende energía, por lo tanto el ahorro solo se produce de la energía autoconsumida, es decir, de la energía que se deja de comprar de la red.

La siguiente gráfica muestra el TIR para cada modalidad, este dato representa la rentabilidad de cada instalación para un periodo de tiempo. En concreto para este tipo de instalaciones se ha estimado para 25 años.



La gráfica superior permite ver claramente la evolución económica de ambas modalidades de autoconsumo. En el caso de la modalidad sin excedentes, se observa cómo a partir de la potencia instalada de 80 kWn la instalación disminuye su rentabilidad según aumenta la potencia; esto se debe a que la disminución de la facturación eléctrica no compensa el incremento del coste de la fotovoltaica, ya que no se va a aprovechar la energía que se genera. Por el contrario, la modalidad con excedentes, al vender los excedentes de energía generada, la rentabilidad de la instalación se mantiene según aumenta la potencia, llegando a su máximo en 400 kWn de potencia. Esto no se debe al ahorro en la factura eléctrica sino a los ingresos económicos obtenidos por la venta de energía.

En la tabla comparativa se muestran, reseñadas en color verde, la instalación que para cada modalidad se considera óptima. Los criterios que se han estudiado para elegir la instalación óptima han sido los siguientes:

- TIR (%): Tasa interna de retorno  
Es un indicador de rentabilidades de proyectos o inversiones, de manera que cuanto mayor sea la TIR mayor será la rentabilidad del proyecto. Se ha calculado para 25 años.
- Fracción solar (%): Relaciona la energía consumida por el usuario y la energía autoconsumida, es decir, generada y consumida en el momento. Este dato nos da información respecto a que porcentaje de consumo del suministro se cubre con energía generada del autocosumo.  
En el caso de autoconsumo con excedentes, se ha marcado un límite mínimo de 40%

- **Rentabilidad (años):** Índice que indica la cantidad de años en que se va amortizar la inversión realizada. Se relacionan los valores de ahorro e inversión, como se puede observar en la tabla, este valor es diferente dependiendo de la modalidad.
- **Ahorro económico (€):** El ahorro económico se ha calculado por energía autoconsumida, y por modalidad, es decir, si existente venta de energía sobrante o no. El ahorro económico por energía autoconsumida, se ha calculado teniendo en cuenta los precios de electricidad aportados por PCMASA2, y los periodos de facturación, de forma que se aproxime lo máximo posible al ahorro real.

### 3.1. Instalaciones óptimas para una Industria estándar

En el caso general de una industria, priman tanto los aspectos energéticos como los económicos, teniendo en mayor peso este último. Teniendo en cuenta estos criterios, las instalaciones óptimas para el suministro son las siguientes:

- **Desde el punto de vista energético:**  
Instalación Fotovoltaica de 500 kW nominales en inversor y 588,70 kWp en módulos fotovoltaicos. Esta instalación es la más interesante desde el punto de vista energético.
- **Desde el punto de vista económico:**
  - Modalidad con excedentes:** Instalación Fotovoltaica de 400 kW nominales en inversor y 472,70 kWp en módulos fotovoltaicos.
  - Modalidad sin excedentes:** Instalación Fotovoltaica de 80 kW nominales en inversor y 87,00 kWp en módulos fotovoltaicos.

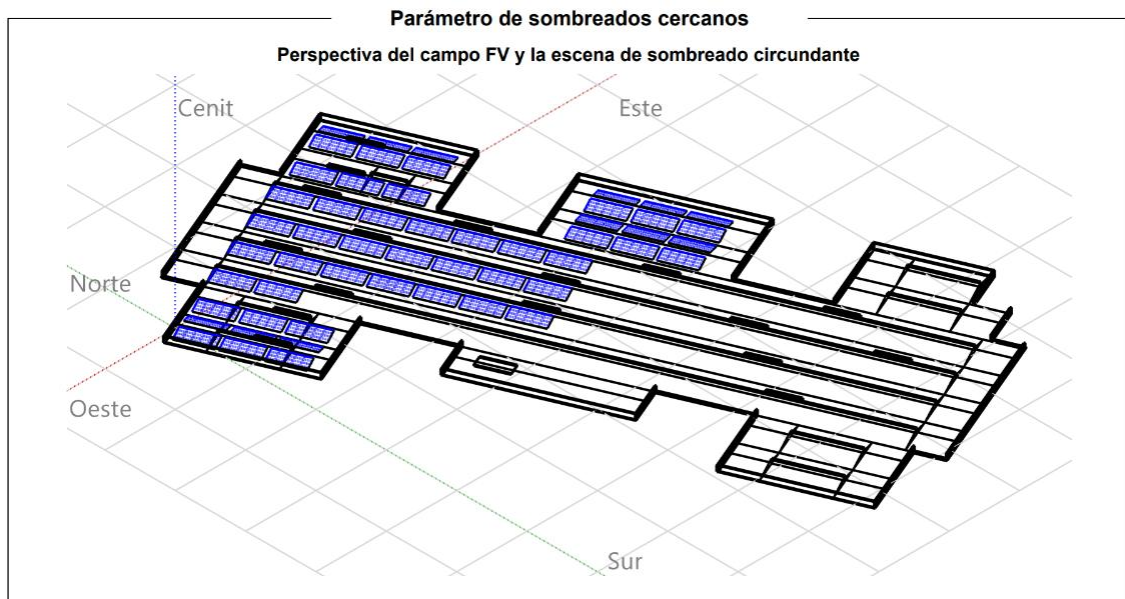
A continuación, vamos a analizar más detenidamente cada uno de las instalaciones seleccionadas.

#### 3.1.1. Instalación Generadora con excedentes. 500 kWn

La instalación proyectada contará con una potencia en módulos de 588,70 kWp y 500 kWn en inversores. Estará compuesta por lo siguientes equipos principales:

- 1.015 módulos fotovoltaicos de 580 Wp cada uno.
- 4 Inversores de 100 kW cada uno
- 2 inversores de 50 kW cada uno

La instalación ocupará una superficie aproximada de 2.436 m<sup>2</sup>, instalándose en ambas orientaciones de la cubierta existente. Se instala en ambas orientaciones para intentar aprovechar lo máximo posible el recorrido del sol y su radiación.

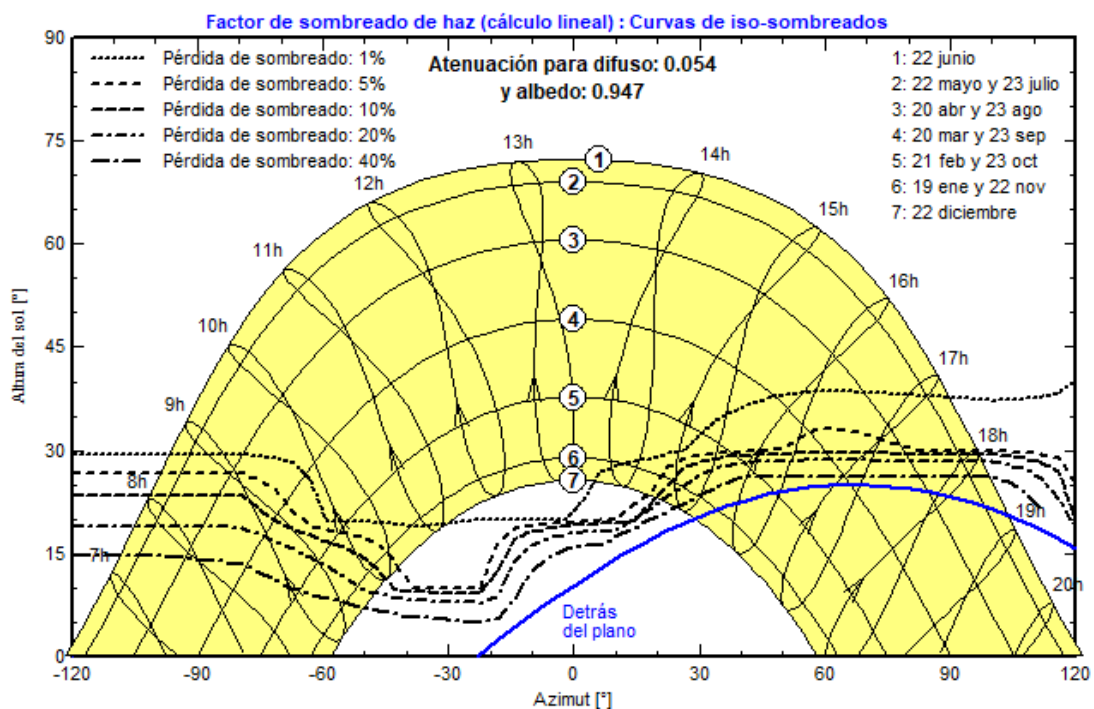


La imagen superior muestra una distribución inicial de la de la instalación fotovoltaica en cubierta. Esta distribución es preliminar, una vez se definida la instalación se adaptará de forma óptima a la cubierta existente.

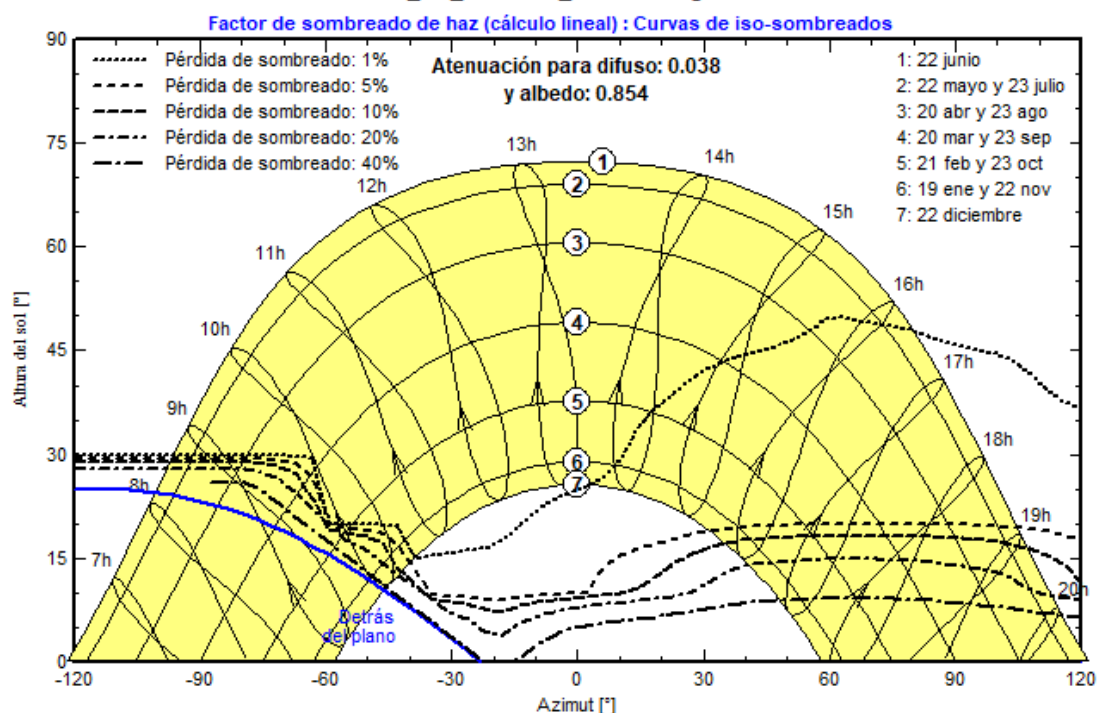
Debido a la geometría de las cubiertas existentes, la mayor superficie útil para la ubicación de los módulos fotovoltaicos es la cubierta con orientación suroeste, siendo solo disponibles por la incidencia de las sombras algunas de las cubiertas con orientación este.

A continuación se muestra una gráficas de las sombras estimadas que se van a producir en la instalación debido a la forma geometría de las cubiertas y los obstáculos existentes.

- Sombras cubierta Orientación Noreste (Azimut  $-113^{\circ}$ )



- Sombras cubierta Orientación Suroeste (Azimut 67°)



Como se puede observar en las gráficas superiores, las sombras se producen según el recorrido del sol. En las primeras horas de la mañana las zonas con mayor incidencia solar son los módulos orientados hacia el este, mientras que los orientados hacia el suroeste están parcialmente sombreados debido a que la geometría de la propia cubierta y los objetos existentes producen sombras. Por la tarde sucede lo contrario, la zona sombreada son los módulos orientados hacia el este.

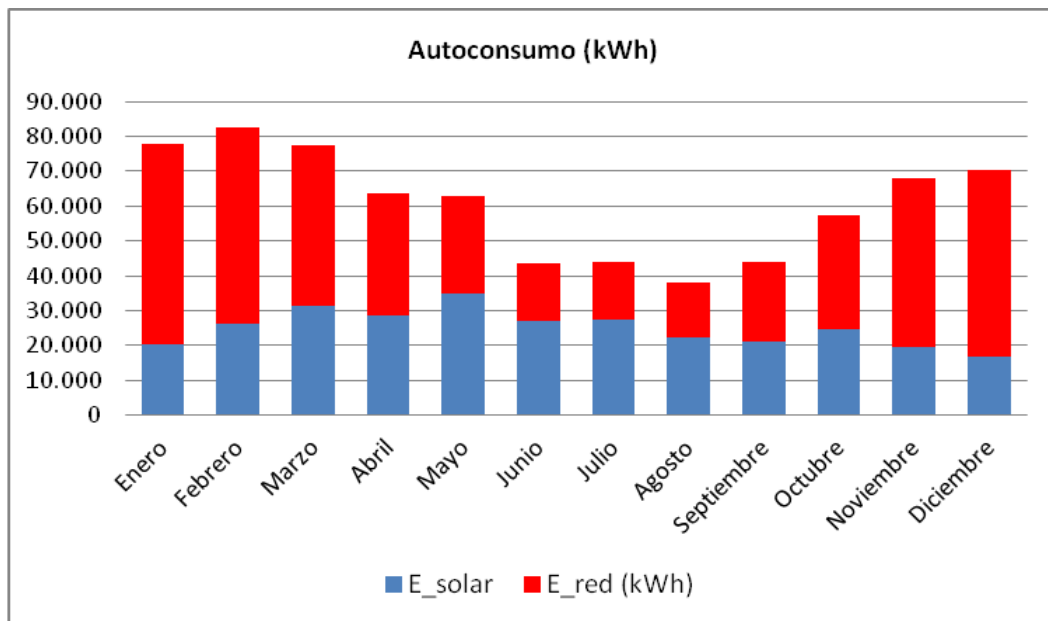
Estas orientaciones permiten que la generación se adapte a la necesidad energética del suministro, generando energía tanto en horas de mañana como de tarde.

Teniendo en cuenta la ubicación y la instalación propuesta, se puede estimar la generación anual media que se producirá. En la siguiente tabla resumen se pueden observar los principales datos energéticos de la instalación proyectada:

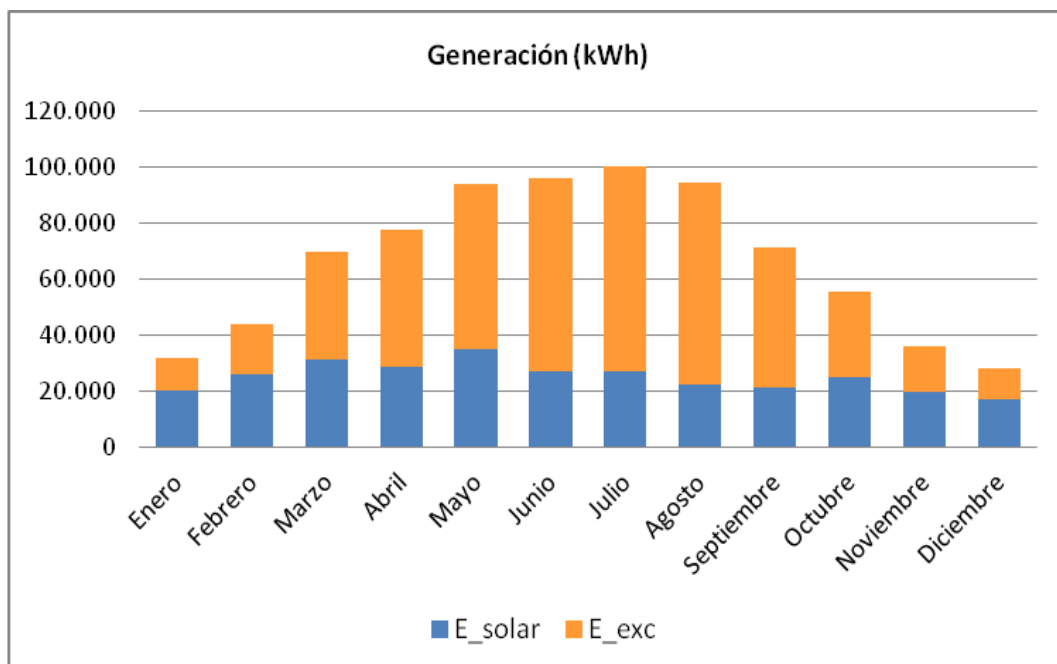
	E_user	E_PV	E_solar	E_exc	PV_Frac	Sol_Frac
Enero	77.790	31.883	20.538	11.346	40,99 %	26,40 %
Febrero	82.364	43.821	26.131	17.689	53,20 %	31,73 %
Marzo	75.652	69.548	31.259	38.289	91,93 %	41,32 %
Abril	65.524	77.580	28.682	48.898	118,40 %	43,77 %
Mayo	60.148	93.859	35.020	58.838	156,05 %	58,22 %
Junio	44.094	96.088	27.110	68.978	217,92 %	61,48 %
Julio	44.550	100.310	27.321	72.989	225,16 %	61,33 %
Agosto	37.327	94.097	22.404	71.693	252,09 %	60,02 %
Septiembre	45.794	71.135	21.278	49.856	155,34 %	46,47 %
Octubre	57.406	55.226	24.814	30.412	96,20 %	43,23 %
Noviembre	68.255	35.876	19.623	16.253	52,56 %	28,75 %
Diciembre	70.160	28.127	16.925	11.202	40,09 %	24,12 %
Total	<b>729.064</b>	<b>797.548</b>	<b>301.105</b>	<b>496.443</b>	<b>109,39 %</b>	<b>41,30 %</b>

El consumo total de las instalaciones de PCMASA 2 es 729.064 kWh. La instalación fotovoltaica genera 797.548 kWh, autoconsumiéndose 301.105 kWh; es decir, se provecha un 37,75% de la energía generada para autoconsumo.

El autoconsumo va a cubrir el 41,30 % de la energía consumida total, llegando a cubrir hasta el 60% del consumo de los meses de verano, tal y cómo se muestra en la tabla superior. La energía restante se consumirá de la red debido a que no puede ser cubierta por el autoconsumo.



A continuación, se muestra una grafica de la distribución de la generación:



Los excedentes suponen el 62,25 % de la generación total de la instalación fotovoltaica, suponiendo unos ingresos anuales aproximados de 27.607,77 €. Este valor se ha estimado según los precios futuros de mercado eléctrico.

A continuación se muestra el resumen económico de la instalación fotovoltaica propuesta en la modalidad con excedentes:

Instalación FV		588,70 kWp
Consumo Anual (E_User)	729.064 kWh	
Generación Anual (E_PV)	797.548 kWh	
Fracción Fovovoltaica (PV_Frac)	109,39 %	
Autoconsumo estimado (E_solar)	301.105 kWh	
Fracción solar (Sol_Frac)	41,30 %	
Coste Anual Consumo eléctrico (FE_sin_PV)	66.758,99 €	
Coste Anual Consumo eléctrico con FV (FE_con_PV)	38.752,19 €	
Ahorro obtenido por Autoconsumo (FE_sin_PV – FE_con_PV)	28.006,80 €	
Modalidad Inst. FV Autoconsumo	SIN EXCEDENTES	CON EXCEDENTES
Energía Excedentaria (E_exc)	0 kWh	496.443 kWh
Venta energía excedentaria (FE_exc)	0,00 €	27.605,77 €
Ahorro total (FE_sin_PV – FE_con_PV + FE_exc)	28.006,80 €	55.612,57 €
Inversión (Cost_PV)	428.581,80 €	447.228,75 €
Tiempo de amortización	15,30 años	8,04 años
TIR - 25 Años (%)	3,90 %	11,40 %
VAN - 25 Años (€)	248.642,80 €	911.921,51 €

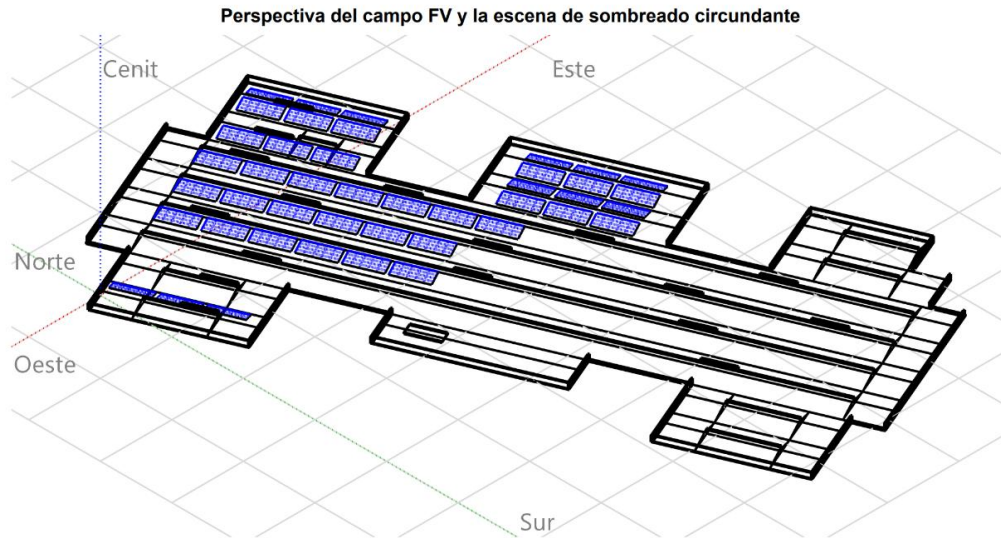
### 3.1.2. Instalación Generadora con excedentes. 400 kWn

La instalación proyectada contará con una potencia en módulos de 472,70 kWp y 400 kWn en inversores. Estará compuesta por lo siguientes equipos principales:

- 815 módulos fotovoltaicos de 580 Wp cada uno.
- 3 Inversores de 100 kW cada uno
- 2 inversores de 50 kW cada uno

La instalación ocupará una superficie aproximada de 1.860 m<sup>2</sup>, instalándose en ambas orientaciones de la cubierta existente. Se instala en ambas orientaciones para intentar aprovechar lo máximo posible el recorrido del sol y su radiación.

### Parámetro de sombreados cercanos

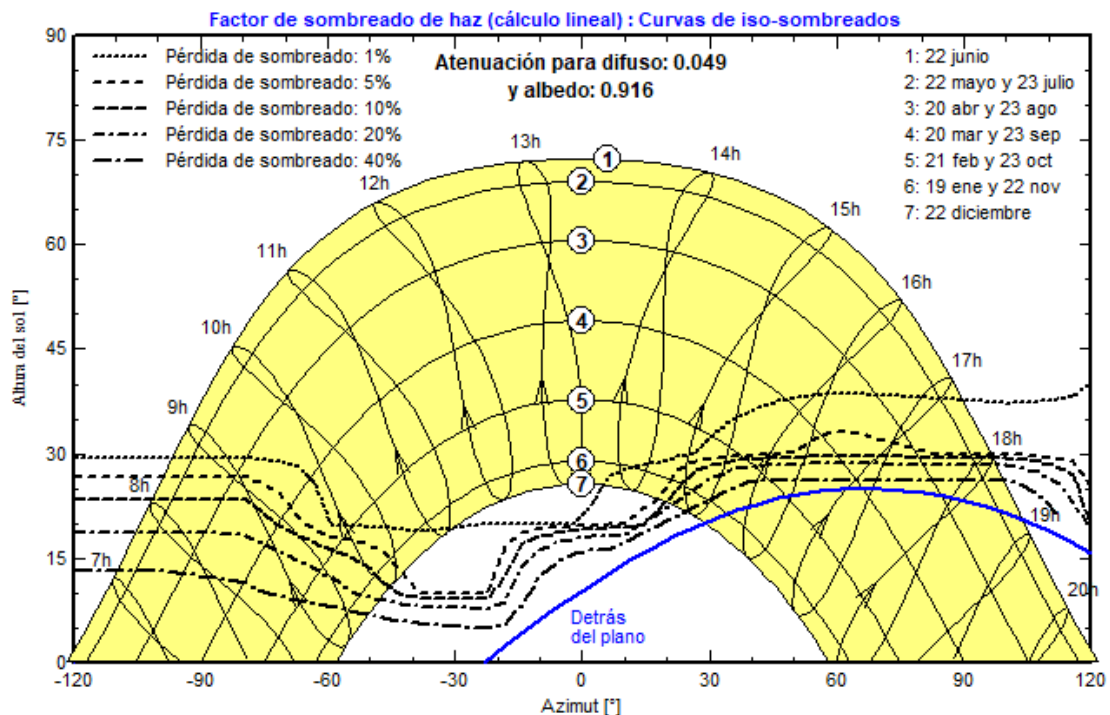


La imagen superior muestra una distribución inicial de la de la instalación fotovoltaica en cubierta. Esta distribución es preliminar, una vez se definida la instalación se adaptará de forma óptima a la cubierta existente.

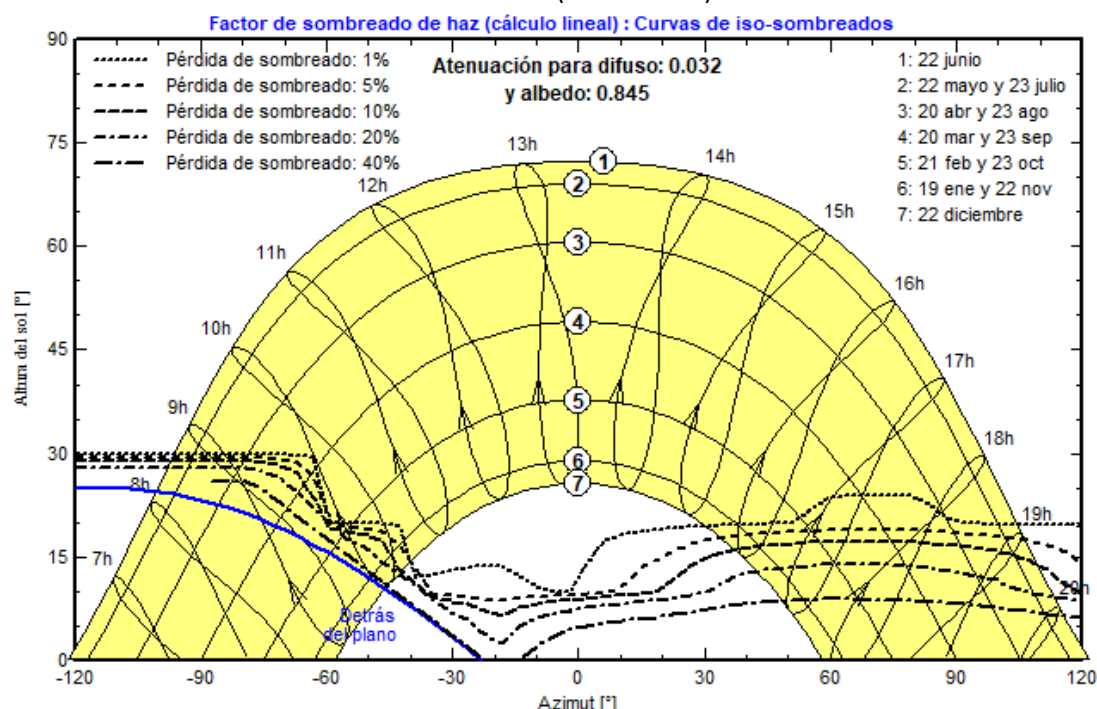
Debido a la geometría de las cubiertas existentes, la mayor superficie útil para la ubicación de los módulos fotovoltaicos es la cubierta con orientación suroeste, siendo solo disponibles por la incidencia de las sombras algunas de las cubiertas con orientación este.

A continuación se muestra una gráficas de las sombras estimadas que se van a producir en la instalación debido a la forma geometría de las cubiertas y los obstáculos existentes.

- Sombras cubierta Orientación Noreste (Azimut  $-113^\circ$ )



- Sombras cubierta Orientación Suroeste (Azimut 67 °)



Como se puede observar en las gráficas superiores, las sombras se producen según el recorrido del sol. En las primeras horas de la mañana las zonas con mayor incidencia solar son los módulos orientados hacia el este, mientras que los orientados hacia el suroeste están parcialmente sombreados debido a que la geometría de la propia cubierta y los objetos existentes producen sombras. Por la tarde sucede lo contrario, la zona sombreada son los módulos orientados hacia el este.

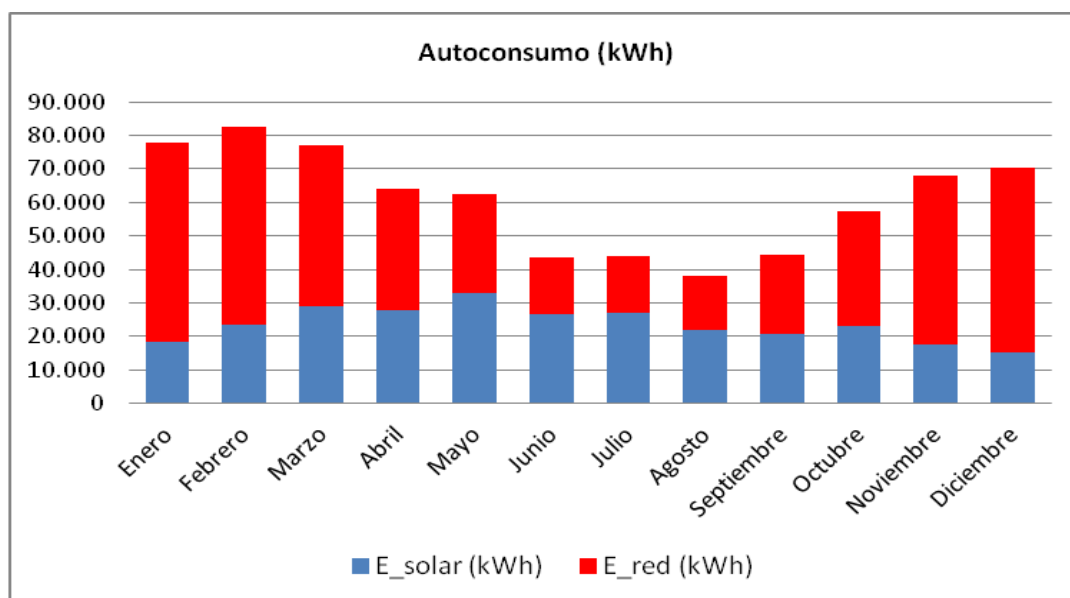
Estas orientaciones permiten que la generación se adapte a la necesidad energética del suministro, generando energía tanto en horas de mañana como de tarde.

Teniendo en cuenta la ubicación y la instalación propuesta, se puede estimar la generación anual media que se producirá. En la siguiente tabla resumen se pueden observar los principales datos energéticos de la instalación proyectada:

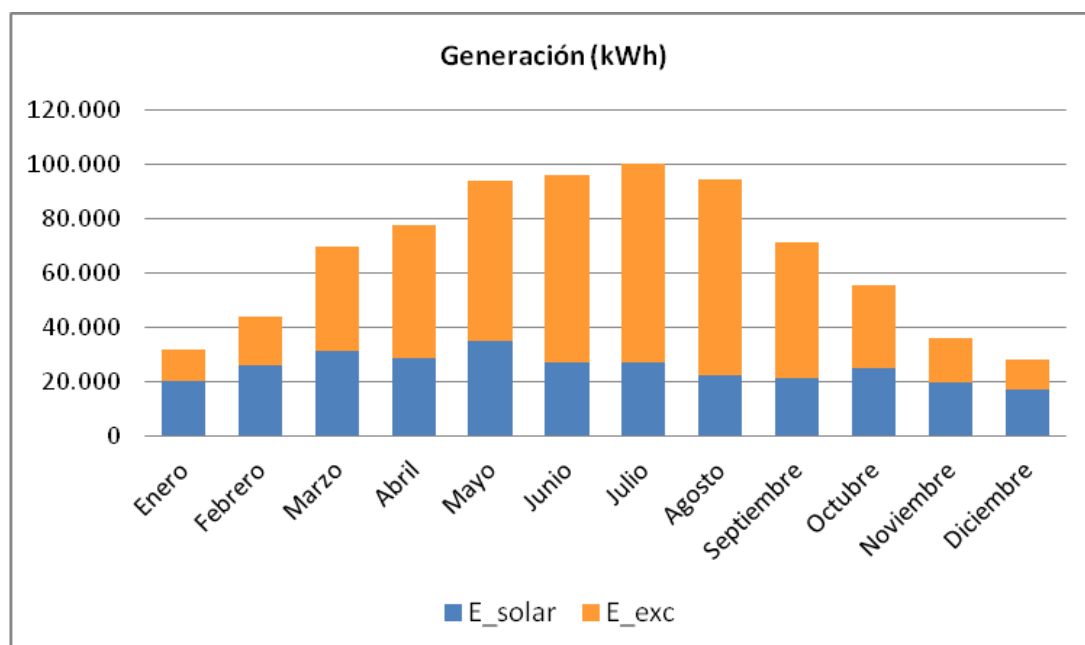
	E_user (kWh)	E_PV (kWh)	E_solar (kWh)	E_exc (kWh)	PV_Frac	Sol_Frac
Enero	77.790	25.378	18.370	7.008	32,62 %	23,61 %
Febrero	82.364	34.890	23.505	11.385	42,36 %	28,54 %
Marzo	75.652	55.582	28.847	26.735	73,47 %	38,13 %
Abril	65.524	62.361	27.801	34.560	95,17 %	42,43 %
Mayo	60.148	75.596	32.938	42.658	125,68 %	54,76 %
Junio	44.094	77.517	26.485	51.032	175,80 %	60,06 %
Julio	44.550	80.934	27.063	53.871	181,67 %	60,75 %
Agosto	37.327	75.685	22.013	53.672	202,76 %	58,97 %
Septiembre	45.794	57.004	20.766	36.238	124,48 %	45,35 %
Octubre	57.406	44.083	23.236	20.848	76,79 %	40,48 %
Noviembre	68.255	28.512	17.630	10.883	41,77 %	25,83 %
Diciembre	70.160	22.345	15.353	6.992	31,85 %	21,88 %
<b>Total</b>	<b>729.064</b>	<b>639.887</b>	<b>284.006</b>	<b>355.881</b>	<b>87,77 %</b>	<b>38,95 %</b>

El consumo total de las instalaciones de PCMASA 2 es 729.064 kWh. La instalación fotovoltaica genera 639.887kWh, autoconsumiéndose 284.006 kWh; es decir, se provecha un 44,38% de la energía generada para autoconsumo.

El autoconsumo va a cubrir el 38,95 % de la energía consumida, llegando a cubrir hasta el 60% del consumo de los meses de verano, tal y cómo se muestra en la tabla superior. La energía restante se consumirá de la red debido a que no puede ser cubierta por el autoconsumo.



A continuación, se muestra una grafica de la distribución de la generación:



Los excedentes suponen el 55,61 % de la generación total de la instalación fotovoltaica, suponiendo unos ingresos anuales aproximados de 19.789,52 €. Este valor se ha estimado según los precios futuros de mercado eléctrico.

A continuación se muestra el resumen económico de la instalación fotovoltaica propuesta en la modalidad con excedentes:

Instalación FV	472,70 kWp
Consumo Anual (E_User)	729.064 kWh
Generación Anual (E_PV)	639.887 kWh
Fracción Fotovoltaica (PV_Frac)	87,77 %
Autoconsumo estimado (E_solar)	284.006 kWh
Fracción solar (Sol_Frac)	38,95 %
Coste Anual Consumo eléctrico (FE_sin_PV)	66.758,99 €
Coste Anual Consumo eléctrico con FV (FE_con_PV)	40.368,12 €
Ahorro obtenido por Autoconsumo (FE_sin_PV – FE_con_PV)	26.390,87 €

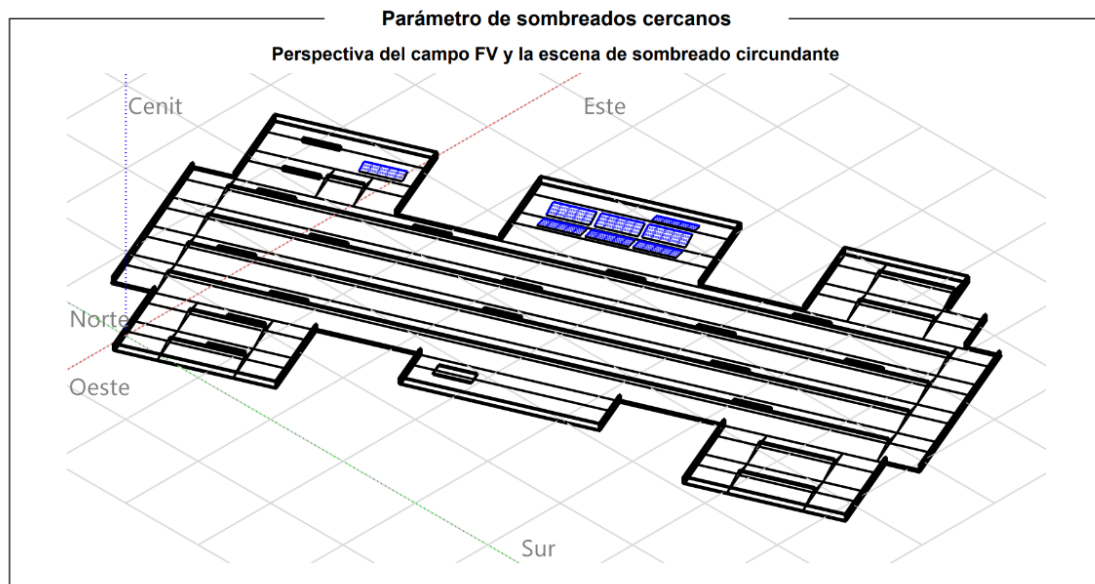
Modalidad Inst. FV Autoconsumo	SIN EXCEDENTES	CON EXCEDENTES
Energía Excedentaria (E_exc)	0 kWh	355.881 kWh
Venta energía excedentaria (FE_exc)	0,00 €	19.789,52 €
Ahorro total (FE_sin_PV – FE_con_PV + FE_exc)	26.390,87 €	46.180,39 €
Inversión (Cost_PV)	345.757,80 €	364.404,75 €
Tiempo de amortización	13,10 años	7,89 años
TIR - 25 Años (%)	5,42 %	11,64 %
VAN - 25 Años (€)	291.549,57 €	761.749,08 €

### 3.1.3. Instalación Generadora sin excedentes. 80 kWn

La instalación proyectada contará con una potencia en módulos de 87,00 kWp y 80 kWn en inversores. Estará compuesta por lo siguientes equipos principales:

- 150 módulos fotovoltaicos de 580 Wp cada uno.
- 2 inversores de 40 kW cada uno

La instalación ocupará una superficie aproximada de 360 m<sup>2</sup>, instalándose en ambas orientaciones de la cubierta existente. Se instala en ambas orientaciones para intentar aprovechar lo máximo posible el recorrido del sol y su radiación.

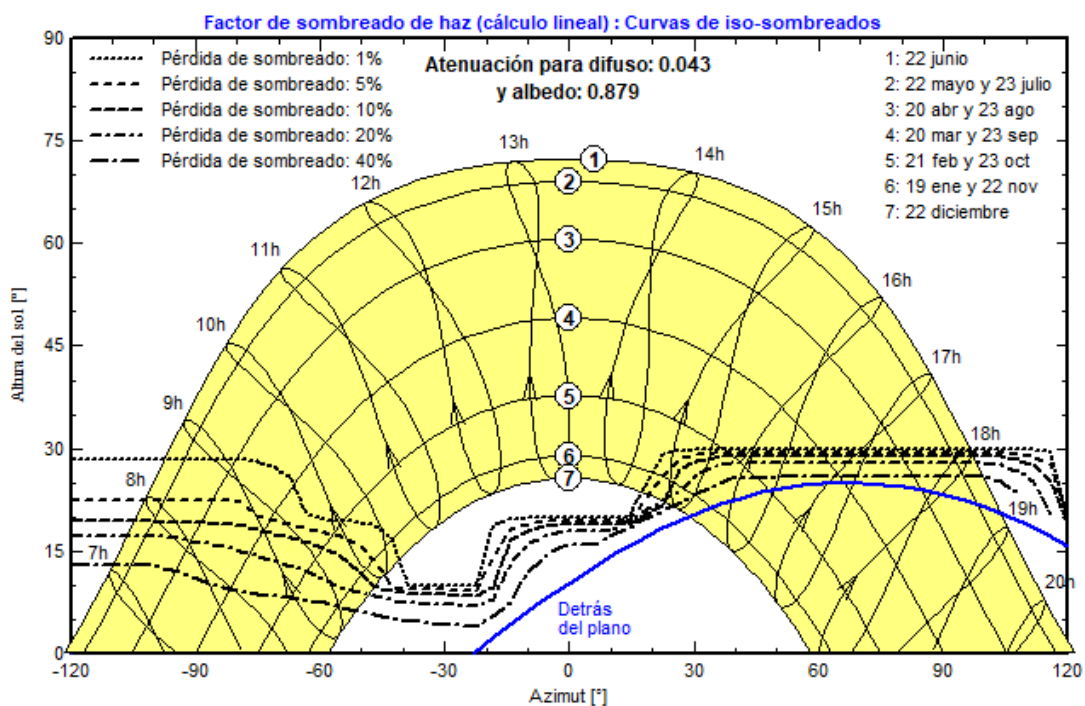


La imagen superior muestra una distribución inicial de la de la instalación fotovoltaica en cubierta. Esta distribución es preliminar, una vez se definida la instalación se adaptará de forma óptima a la cubierta existente.

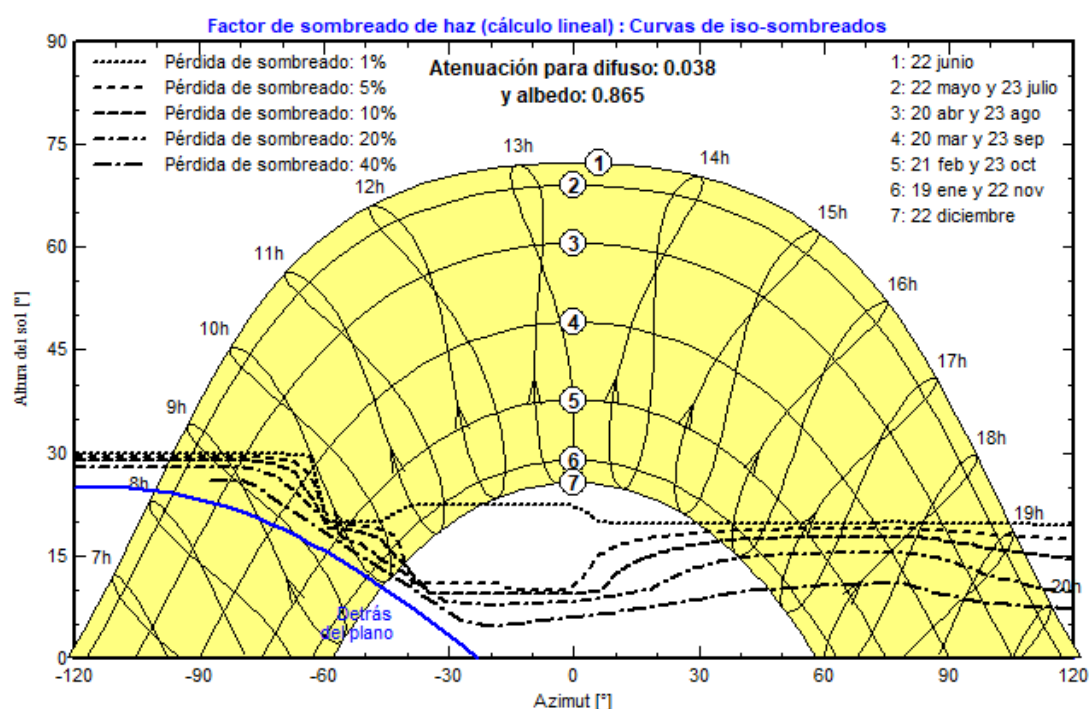
Debido a la geometría de las cubiertas existentes, la mayor superficie útil para la ubicación de los módulos fotovoltaicos es la cubierta con orientación suroeste, siendo solo disponibles por la incidencia de las sombras algunas de las cubiertas con orientación este.

A continuación se muestra una gráficas de las sombras estimadas que se van a producir en la instalación debido a la forma geometría de las cubiertas y los obstáculos existentes.

- Sombras cubierta Orientación Noreste (Azimut  $-113^\circ$ )



- Sombras cubierta Orientación Suroeste (Azimut 67 °)



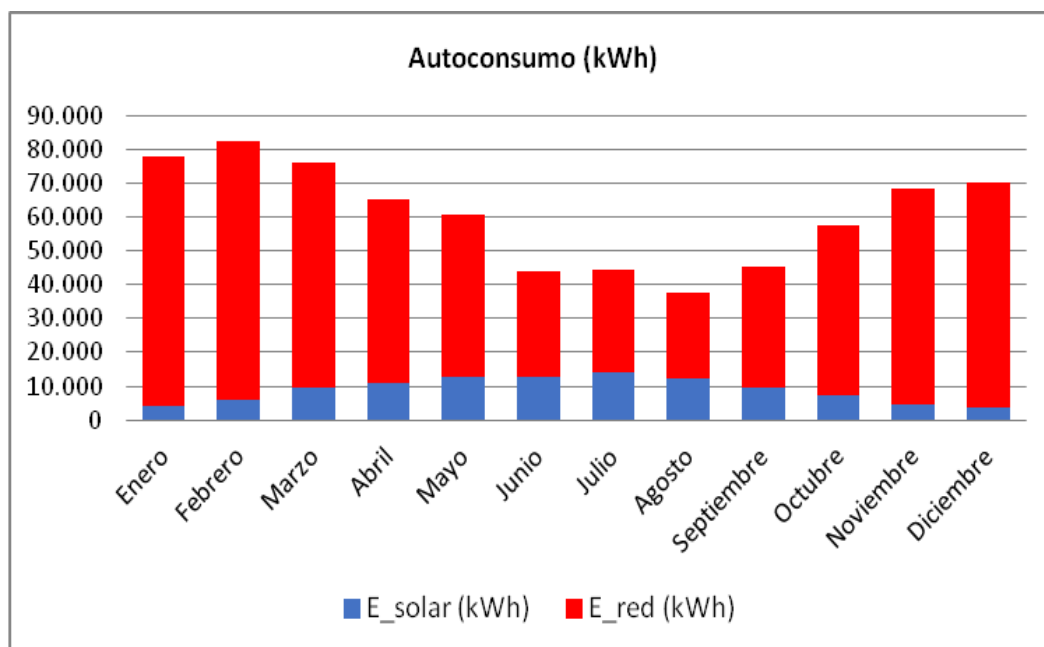
Como se puede observar en las gráficas superiores, las sombras se producen según el recorrido del sol. En las primeras horas de la mañana las zonas con mayor incidencia solar son los módulos orientados hacia el noreste, mientras que los orientados hacia el suroeste están parcialmente sombreados debido a que la geometría de la propia cubierta y los objetos existentes producen sombras. Por la tarde sucede lo contrario, la zona sombreada son los módulos orientados hacia el noreste.

Estas orientaciones permiten que la generación se adapte a la necesidad energética del suministro, generando energía tanto en horas de mañana como de tarde.

	E_user (kWh)	E_PV (kWh)	E_solar (kWh)	E_exc (kWh)	PV_Frac	Sol_Frac
Enero	77.790	4.110	4.110	0	5,28 %	5,28 %
Febrero	82.364	5.755	5.755	0	6,99 %	6,99 %
Marzo	75.652	9.580	9.422	0	12,66 %	12,45 %
Abril	65.524	11.338	11.131	0	17,30 %	16,99 %
Mayo	60.148	14.018	12.897	0	23,31 %	21,44 %
Junio	44.094	14.507	12.577	0	32,90 %	28,52 %
Julio	44.550	15.238	13.987	0	34,20 %	31,40 %
Agosto	37.327	13.870	12.357	0	37,16 %	33,10 %
Septiembre	45.794	10.122	9.394	0	22,10 %	20,51 %
Octubre	57.406	7.418	7.298	0	12,92 %	12,71 %
Noviembre	68.255	4.562	4.561	0	6,68 %	6,68 %
Diciembre	70.160	3.539	3.539	0	5,04 %	5,04 %
Total	<b>729.064</b>	<b>114.056</b>	<b>107.028</b>	<b>0</b>	<b>15,64 %</b>	<b>14,68 %</b>

El consumo total de las instalaciones de PCMASA 2 es 729.064 kWh. La instalación fotovoltaica genera 114.056 kWh, autoconsumiéndose 107.028 kWh; es decir, se provechará un 93,84% de la energía generada para autoconsumo.

El autoconsumo va a cubrir el 14,68 % de la energía consumida, llegando a cubrir hasta el 30% del consumo de los meses de verano, tal y cómo se muestra en la tabla superior. La energía restante se consumirá de la red debido a que no puede ser cubierta por el autoconsumo.



En este caso, la instalación es sin excedentes, por lo tanto, no se genera energía sobrante.

A continuación se muestra el resumen económico de la instalación fotovoltaica propuesta en la modalidad SIN excedentes:

Instalación FV	87,00 kWp
Consumo Anual (E_User)	729.064 kWh
Generación Anual (E_PV)	114.056 kWh
Fracción Fotovoltaica (PV_Frac)	15,64 %
Autoconsumo estimado (E_solar)	107.028 kWh
Fracción solar (Sol_Frac)	14,68 %
Coste Anual Consumo eléctrico (FE_sin_PV)	66.758,99 €
Coste Anual Consumo eléctrico con FV (FE_con_PV)	56.929,71 €
Ahorro obtenido por Autoconsumo (FE_sin_PV – FE_con_PV)	9.829,28 €

Modalidad Inst. FV Autoconsumo	SIN EXCEDENTES	CON EXCEDENTES
Energía Excedentaria (E_exc)	0 kWh	7.028 kWh
Venta energía excedentaria (FE_exc)	0,00 €	390,81 €
Ahorro total (FE_sin_PV – FE_con_PV + FE_exc)	9.829,28 €	10.220,09 €
Inversión (Cost_PV)	78.455,00 €	97.101,95 €
Tiempo de amortización	7,98 años	9,50 años
TIR - 25 Años (%)	10,81 %	8,60 %
VAN - 25 Años (€)	149.743,16 €	140.750,05 €

### 3.2. Instalaciones óptimas para una Base militar: Particularidades PCMASA 2

La Base militar mixta PCMASA 2 cuenta con una Guía elaborada por el Ministerio de Defensa referente al Desarrollo de este tipo de proyectos “Guía de buenas prácticas sobre el desarrollo de proyectos de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo en el Ministerio de Defensa”.

A continuación se detallan los puntos principales a tener en cuenta:

- Las recomendaciones indicadas en esta guía son aplicables a instalaciones solares fotovoltaicas de autoconsumo de hasta, aproximadamente, 100 kW, las cuales pueden disponer, o no, de sistemas de almacenamiento. Las instalaciones que superen esta capacidad deben ser objeto de estudios particularizados.
- Periodo de recuperación de la inversión: el periodo de amortización de los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo sin almacenamiento generalmente oscila entre 5 y 8 años, dependiendo de factores como la inversión inicial de la instalación, la ubicación y los “ahorros” previsto en la factura eléctrica. Cuando el sistema incluye almacenamiento, el periodo de amortización aumenta, entre 8 y 12 años, debido a una mayor inversión inicial.
- Se recomienda diseñar la instalación fotovoltaica para la modalidad de suministro con autoconsumo sin excedentes, diseñando la instalación de acuerdo a las necesidades existentes de consumo. En caso de considerar adecuado o en situaciones en las que el consumo sea muy fluctuante a lo largo del año y exista una cantidad de energía excedentaria considerable, se sugiere considerar sistemas de almacenamiento y otros sistemas

Teniendo en cuenta los criterios comentados en la guía, las instalaciones propuestas que mejor se adaptan son las siguientes:

- **Desde el punto de vista energético:**  
Instalación Fotovoltaica de 500 kW nominales en inversor y 588,70 kWp en módulos fotovoltaicos. Esta instalación es la más interesante desde el punto de vista energético, debido a que cubre el 41,30% del suministro eléctrico de PCMASA2.
- **Desde el punto de vista económico:**  
Instalación Fotovoltaica de 80 kW nominales en inversor y 87,00 kWp en módulos fotovoltaicos. Esta instalación cumpliría los criterios de potencia inferior a 100 y cubriría el 15,64% de las necesidades del suministro.

Ambas instalaciones se proponen en la modalidad sin excedentes, tal y cómo se recomienda en la Guía.

**La instalación que cumpliría con todas las recomendaciones de la guía de las propuestas en este apartado, sería la instalación con una potencia de 80 kW.**

### 3.3. Características del PCMASA 2 que condicionan la potencia óptima a instalar.

Como se puede observar, en los resultados de los estudios energéticos y económicos de esta instalación, el porcentaje de Fracción solar (Sol\_Frac) no son tan elevados como los obtenidos con otras potencias instaladas. Esto se debe a las características de la propia Instalación PCMASA 2 que vamos a estudiar a continuación:

#### 3.3.1. Distribución consumos

Según podemos observar en los datos de consumo aportados por el parque, los meses en los que el consumo es mayor es en los meses de invierno (Noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo), siendo en este periodo la generación de la instalación fotovoltaica menor debido a que hay menos hora de sol. Ocurre lo contrario en los meses de verano, el consumo es inferior pero la generación es mayor

A la hora de dimensionar la instalación fotovoltaica, se ve muy claro que al aumentar la potencia de la instalación fotovoltaica, aumenta la Fracción solar, es decir, aumenta la energía autoconsumida, pero también aumentan los excedentes que se generan en verano.

Para poder hacernos una idea más clara de como afectan la distribución de los consumos a la Fracción solar, se ha realizado la hipótesis de desplazar los consumos de inviernos a verano para que los mayores consumos se produzcan cuando más irradiancia de sol hay y más energía se genera. Para ello se han desplazado los consumos 5 meses, por ejemplo el consumo de febrero será el de julio y así sucesivamente.

A continuación, se muestra la tabla con los resultados obtenidos:

Potencia	80 kW		100 kW		200 kW	
Consumo	Original	Desplazado	Original	Desplazado	Original	Desplazado
PV_Frac	15,64%	15,64%	19,86%	19,863%	42,92%	42,92%
Sol_Frac	14,68%	15,43%	17,59%	18,86%	29,48%	30,62%
Aprovechamiento	93,84%	98,22%	88,57%	94,61%	68,68%	71,23%

Se puede observar como al desplazar los consumos de invierno a verano, la fracción solar mejora al desplazar los consumos, por el contrario la fracción fotovoltaica no varía debido a que la generación y el consumo se mantienen.

También se puede observar como mejora el aprovechamiento solar al desplazar los consumos.

#### 3.3.2. Inclinación y orientación cubiertas edificio

La inclinación y orientación de las cubiertas tienen un papel importante en la producción de energía. La orientación de los módulos nos permite adaptar ligeramente la producción de energía a los consumos del edificio, es decir, si nuestros consumos son principalmente por la mañana los módulos se orientarían al este; si por el contrario, los consumos principales fueran por la tarde, se orientarían hacia el oeste debido al recorrido del sol. Los consumos normalmente se encuentran distribuidos a lo largo del día, por ello se busca que la instalación fotovoltaica genere energía a lo largo de todo el día, orientándose hacia el sur o utilizando orientaciones este-oeste.

Si la instalación se ubica sobre una cubierta plana o sobre suelo, se puede adaptar tanto con la orientación o con la inclinación del sol a los datos óptimos para la producción.

En el caso del parque PCMASA 2 la cubierta del edificio dispone de dos orientaciones noreste (-113º azimut) y suroeste (67º azimut), ambos con una inclinación estimada de 25º respecto a la horizontal, no siendo posible variar la orientación ni la inclinación del tejado existente.

Para comprobar como esta orientación no óptima de las cubiertas afecta a la producción, se han realizado simulaciones modificando la orientación existente de los tejados buscando la orientación e inclinación óptima para el perfil de consumos del parque. La orientación óptima de esta instalación se ha calculado teniendo en cuenta que los consumos se producen principalmente en horario de mañana, los módulos deberían orientarse hacia el sureste, con un azimut de -30º, y una inclinación de 30º respecto la horizontal.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de los resultados obtenidos con los anteriores casos estudiados

Potencia	80 kW			100 kW			200 kW		
Consumo	Original	Desplazado	Orientacion Este	Original	Desplazado	Orientacion Este	Original	Desplazado	Orientacion Este
PV_Frac	15,64%	15,64%	20,09%	19,86%	19,86%	25,61%	42,92%	42,92%	54,45%
Sol_Frac	14,68%	15,43%	18,21%	17,59%	18,86%	21,82%	29,48%	30,62%	35,78%
Aprovechamiento	93,84%	98,22%	90,65%	88,57%	94,61%	85,19%	68,68%	71,23%	65,70%

Se puede observar como al modificar la inclinación e orientación con las óptimas para el perfil de consumo, la curva de producción se desplaza hacia la mañana, siendo mayor la coincidencia entre la generación y la demanda.

En este caso, el porcentaje de fracción solar y fracción fotovoltaica aumenta respecto al valor original.

#### 4. Conclusiones

Las propuestas se han adaptado a las necesidades energéticas de PCMASA 2, teniendo en cuenta el perfil de demanda existente en el parque y las características de los tejados donde se pretende ubicar la fotovoltaica.

La nave propuesta para ubicar la instalación fotovoltaica se ha elegido por su cercanía al punto de vertido de la energía, teniendo en cuenta pérdidas energéticas por longitud de cableado y ubicación de cuadro eléctrico.

Si comparamos la amortización de las instalaciones y el TIR obtenido, comprobamos que los datos obtenidos son similares. Este se debe a los valores de inversión a realizar y el ahorro que se produce debido a la diferencia en el dimensionamiento de las instalaciones.

La modalidad sin excedentes de la instalación fotovoltaica, a nivel legalización, conlleva un tiempo de tramitación más corto debido a que no se realiza trámite con la Distribuidora. Por el contrario, una instalación fotovoltaica con excedentes conlleva trámite con Distribuidora para obtener los permisos necesarios para realizar el vertido de los excedentes a red, por lo que el tiempo de tramitación es más largo.

Tras estudiar los resultados obtenidos, se considera que la instalación óptima, **desde un punto de vista económico**, para PCMASA 2 es la Instalación fotovoltaica de autoconsumo sin excedentes de 80 kWn, debido a que los datos obtenidos de amortización y TIR ofrecen mejores resultados. Además, cumple con las recomendaciones incluidas en la guía elaborada por el Ministerio de Defensa.

Si por el contrario, valoramos la instalación **desde un punto de vista energético**, la instalación que más se adapta a las necesidades energéticas de la instalación es la instalación de 500 kWn, debido a que los datos de la fracción solar a partir de este valor crecen más lentamente, representando que, aunque se aumente la potencia instalada, no va a aumentar la energía que se autoconsume.

Para cualquiera de las instalaciones propuestas, no se contemplaría un sistema de almacenamiento debido al aumento de inversión, conllevando un aumento de la amortización del proyecto, sin que se produzca un aumento significativo de la fracción solar.