



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Instituto
Ingeniería
Energética



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE

“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA VIABILIDAD DE INSTALACIONES HÍBRIDAS RENOVABLES EN EDIFICIOS MUNICIPALES DE BETXÍ”

AUTOR: PERIS PALAU, VÍCTOR

TUTOR: ALFONSO SOLAR, DAVID

Curso Académico: 2019-20

“Fecha 02/2020”

RESUMEN

El presente Trabajo de Fin de Máster se va a describir los sistemas híbridos eólicos y fotovoltaicos existentes, definiendo cuáles son los elementos clave a tener en cuenta en un estudio de viabilidad de una instalación híbrida renovable en un entorno urbano. Se analizarán 11 edificios del municipio de Betxí y mediante el software HOMER se determinará la solución óptima para 6 de ellos. Para ello se realizará una descripción del emplazamiento y de los edificios, se analizarán los recursos disponibles y la legislación de aplicación.

Una vez definida la solución técnico-económica idónea, se detallarán los componentes que la forman y se realizará un estudio de costes, analizando la viabilidad económica de la instalación.

Palabras Clave: Sistemas híbridos renovables, HOMER, energías renovables en entornos urbanos, instalaciones fotovoltaicas, instalaciones eólicas,

RESUM

Al present Treball de Fi de Master es va a descriure els sistemes híbrids eòlics i fotovoltaics existents, definint quins són els elements clau a tindre en compte en un estudi de viabilitat de una instal·lació híbrida renovable en un entorn urbà. S'analitzaran 11 edificis del municipi de Betxí i, mitjançant el software HOMER, es determinarà la solució òptima per a 6 d'ells.

Per tal d'aconseguir-ho es realitzarà una descripció de l'emplaçament i dels edificis, s'analitzaran el recursos disponibles i la legislació d'aplicació.

Una vegada definida la solució tecnico-econòmica idònia, es detallaran els component que la formen i es realitzarà un estudi de costos, analitzant la viabilitat econòmica de la instal·lació.

Paraules clau: Sistemes híbrids renovables, HOMER, energies renovables en entorns urbans, instal·lacions fotovoltaiques, instal·lacions eòliques.

ABSTRACT

In this TFM the Wind and photovoltaic renewable energy systems are going to be described, by defining which are the key element to take into account in the study of feasibility of a Hybrid renewable Energy systems in a an urban environment.

11 buidings are going to be analysed, and by using the software HOMER the best solutions Will be defined for 6 of them.

To do that the location and the buildings Will be described, analysing the available resources and the current legislation.

Once the solutions are defined, the components Will be detailed and the feasabilty of the installation Will be analysed.

.

Keywords: Hybrid renewable energy systems, HOMER, renewable energies in urban environment, photovoltaic installations, eólica installations

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN	8
1.1.	OBJETIVO	8
1.2.	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	8
2.	METODOLOGÍA EMPLEADA.....	9
2.1.	HERRAMIENTA UTILIZADA	9
2.2.	ANÁLISIS DEL MUNICIPIO	10
2.3.	RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONIBLES.....	12
2.3.1.	Recurso solar: radiación	12
2.3.2.	Recurso eólico	15
2.4.	DATOS DE PARTIDA	19
2.4.1.	Consumos eléctricos de los edificios municipales.....	19
2.4.2.	Tarifas eléctricas de los edificios municipales.....	32
2.5.	LEGISLACIÓN Y NORMATIVA VIGENTE	34
2.6.	ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES	37
2.6.1.	Módulos fotovoltaicos.....	38
2.6.2.	Aerogeneradores.....	38
2.6.3.	Inversores	40
2.6.4.	Baterías.....	41
2.6.5.	Reguladores de carga	41
2.6.6.	Generador Diesel.....	41
2.7.	ANÁLISIS DE COSTES.....	42
3.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	45
3.1.	ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS	45
3.1.1.	Análisis de afecciones por sombra en la cubierta del Ayuntamiento de Betxí ...	46
3.1.2.	Análisis del potencial de la instalación fotovoltaica.....	56
3.2.	SIMULACIONES CON HOMER	64
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	72
4.1.	Ayuntamiento.....	72
4.2.	Escuela infantil	84
4.3.	Almacén municipal	85
4.4.	Polideportivo	87
4.5.	Juzgado de paz	88

4.6.	Centro de día	90
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	91
5.1.	Estudio de costes.....	91
5.2.	Estudio de viabilidad	94
6.	CONCLUSIONES	95
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	96
8.	ANEXOS	97

Gráfica 1: Evolución de la población de Betxí. Fuente: INE	10
Gráfica 2: Datos climáticos de Betxí Fuente y elaboración: Meteoblue	11
Gráfica 3: Irradiación solar mensual en Betxí. Año 2016. Fuente y elaboración: PVGIS	12
Gráfica 4: Irradiancia global horizontal Fuente: HOMER	15
Gráfica 5: Velocidad media del viento en Betxí. Fuente: AEMET Elaboración: propia	16
Gráfica 6: Distribución de Weibull de la velocidad del viento. Fuente: Propia	17
Gráfica 7: Rosa de los vientos. Fuente: Meteoblue	18
Gráfica 8: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Ayuntamiento de Betxí. Fuente: I-DE	20
Gráfica 9: Perfil consumo diario del Ayuntamiento. Día 26/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE	20
Gráfica 10: Evolución del consumo diario del Ayuntamiento. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE	21
Gráfica 11: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Casal Jove. Fuente: I-DE	21
Gráfica 12: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh de la Casa de la cultura. Fuente: I-DE	22
Gráfica 13: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Centro de Ocio de la 3ª Edad. Fuente: I-DE	22
Gráfica 14: : Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh de la Escuela Infantil Municipal. Fuente: I-DE	23
Gráfica 15: Perfil consumo diario de la Escuela Infantil Municipal. Día 06/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE	23
Gráfica 16: Evolución del consumo diario de la Escuela Infantil Municipal. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE	24
Gráfica 17: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Almacén Municipal. Fuente: I-DE	24
Gráfica 18: Perfil consumo diario del Almacén Municipal. Día 18/01/2018. Fuente y elaboración: I-DE	25
Gráfica 19: Evolución del consumo diario del Almacén Municipal. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE	25
Gráfica 20: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh de la Escuela de Formación de Adultos. Fuente: I-DE	26
Gráfica 21: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Polideportivo. Fuente: I-DE	26
Gráfica 22: Perfil consumo diario del Polideportivo. Día 05/07/2018. Fuente y elaboración: I-DE	27
Gráfica 23: Evolución del consumo diario del Polideportivo. Julio 2018. Fuente y elaboración: I-DE	27
Gráfica 24: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Juzgado de Paz. Fuente: I-DE	28
Gráfica 25: Perfil consumo diario del Juzgado de Paz. Día 05/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE	28
Gráfica 26: Evolución del consumo diario del Juzgado de Paz. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE	28
Gráfica 27: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Cementerio. Fuente: I-DE	29
Gráfica 28 Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Centro de día. Fuente: I-DE	29
Gráfica 29: Perfil consumo diario del Centro de día. Día 28/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE	30
Gráfica 30: Evolución del consumo diario del Centro de día. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE	30
Gráfica 31: Precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada el 14/11/2019 (azul) y el 13/11/2019 (verde)	36

Gráfica 32: Curvas de funcionamiento del aerogenerador BORNAY WIND 25.3+.....	39
Gráfica 33: Ejemplo de carta solar cilíndrica.....	48
Gráfica 34: Patrón de sombras generado por la pared este en el punto A	50
Gráfica 35: Patrón de sombras en el punto A.....	50
Gráfica 36: Patrón de sombras en el punto B	52
Gráfica 37: Patrón de sombras en el punto c.....	53
Gráfica 38: Patrón de sombras en el punto A con la instalación de una estructura metálica	54
Gráfica 39: Patrón de sombras en el punto C con la instalación de una estructura metálica ...	55
Gráfica 40: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición vertical y 40º de inclinación	57
Gráfica 41: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición vertical y 20º de inclinación	58
Gráfica 42: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición horizontal y 40º de inclinación	58
Gráfica 43: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición horizontal y 20º de inclinación	59
Gráfica 44: perfiles de demanda del ayuntamiento	64
Gráfica 45: Evolución mensual de la producción de energía media en el ayuntamiento.....	65
Gráfica 46: perfiles de demanda de la escuela infantil	66
Gráfica 47: Evolución mensual de la producción de energía media en la escuela infantil	67
Gráfica 48: Producción de la instalación fotovoltaica a lo largo del año	67
Gráfica 49: perfiles de demanda del almacén municipal.....	67
Gráfica 50: Evolución mensual de la producción de energía media en el almacén.....	68
Gráfica 51: perfiles de demanda del polideportivo.....	69
Gráfica 52: Evolución mensual de la producción de energía media en el polideportivo.....	70
Gráfica 53: Evolución mensual de la producción de energía media en el juzgado de paz	70
Gráfica 54: Evolución mensual de la producción de energía media en el centro de día	71

Tabla 1: Irradiación global horizontal mensual en Betxí. Fuente: PVGIS	13
Tabla 2: Índice de nubosidad mensual en Betxí. Fuente: HOMER	14
Tabla 3: Velocidad media del viento en Almassora. Fuente: AEMET	16
Tabla 4: Distribución de velocidades medias por día. Elaboración: propia	16
Tabla 5: Listado de los edificios municipales de Betxí	19
Tabla 6: Edificios de Betxí cuya viabilidad será analizada	31
Tabla 7: Indicadores energéticos de los edificios municipales a analizar	31
Tabla 8: Costes de facturación para los edificios municipales que no se acogen al PVPC	32
Tabla 9: Costes de facturación para los edificios municipales que se acogen al PVPC	32
Tabla 10: Potencia máxima contratada y tarifa contratada de cada edificio	33
Tabla 11: Coste paneles solares. Fuente: Atersa shop	38
Tabla 12: Características técnicas aerogeneradores BORNAY. Fuente: BORNAY	39
Tabla 13: Costes aerogeneradores. Elaboración propia	40
Tabla 14: Costes interface Wind+. Elaboración propia	40
Tabla 15: Costes inversores. Fuente: Atersa.shop	40
Tabla 16: Costes asociados a las instalaciones fotovoltaicas	43
Tabla 17: Costes asociados a las instalaciones eólicas	44
Tabla 18: Edificios municipales objeto de análisis de viabilidad	45
Tabla 19: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared este respecto del punto A ...	49
Tabla 20: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared sur respecto del punto A	50
Tabla 21: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto A	50
Tabla 22: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared este respecto del punto B	51
Tabla 23: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared sur respecto del punto B	51
Tabla 24: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto B	51
Tabla 25: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared este del cubículo respecto del punto B	51
Tabla 26: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared oeste del cubículo respecto del punto B	51
Tabla 27: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto C	52
Tabla 28: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared este del cubículo respecto del punto C	52
Tabla 29: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared oeste del cubículo respecto del punto C	52
Tabla 30: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared oeste respecto del punto C ..	53
Tabla 31: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto A con la instalación de una estructura metálica	54
Tabla 32: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto B con la instalación de una estructura metálica	54
Tabla 33: Patrón de sombras en el punto B con la instalación de una estructura metálica	55
Tabla 34: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto C con la instalación de una estructura metálica	55
Tabla 35: Resultados obtenidos con HOMER para el Ayuntamiento con una inclinación de 40º	65
Tabla 36: Resultados obtenidos con HOMER para la escuela infantil	66
Tabla 37: Resultados de las simulaciones en HOMER para el almacén municipal	68
Tabla 38: Resultados de las simulaciones en HOMER para el polideportivo	69
Tabla 39: Resultados de las simulaciones en HOMER para el juzgado de paz	70
Tabla 40: Resultados de las simulaciones en HOMER para el centro de día	71

Tabla 41: Características técnicas del panel ATERSA A-330M	73
Tabla 42: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en el Ayuntamiento	74
Tabla 43: Intensidades máximas admisibles (A) por conductor	75
Tabla 44: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre el inversor y el cuadro de baja tensión	75
Tabla 45: Intensidades nominales (A) normalizadas de los fusibles de BT	76
Tabla 46: Corriente convencional de fusión (If) en función de la In.	76
Tabla 47: Valores de In (A) normalizados para interruptores magnetotérmicos	78
Tabla 48: tabla de valores característicos de las sobrecargas de uso. Fuente: CTE.....	81
Tabla 49: Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas. Fuente: CTE .	81
Tabla 50: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en el almacén municipal	85
Tabla 51: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre el inversor y el equipo de medida en el Almacén municipal	85
Tabla 52: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en el polideportivo.....	87
Tabla 53: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en la escuela infantil	88
Tabla 54: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre el inversor y el equipo de medida en la escuela infantil.....	88
Tabla 55: Valores de In (A) normalizados para interruptores magnetotérmicos	88
Tabla 56: Mediciones totales	91
Tabla 57: Coste teórico total del material.....	92
Tabla 58: Costes reales del material de cada uno de los edificios	92
Tabla 59: Costes de instalación totales	93
Tabla 60: Resultados del estudio de viabilidad	94

Ilustración 1: Esquema genérico de la instalación	37
Ilustración 2: Vista aérea del Ayuntamiento de Betxí. Fuente: Google Maps	46
Ilustración 3: Cálculo de la elevación	47
Ilustración 4: Puntos sobre los que se realiza el análisis de sombras	48
Ilustración 5: Acotaciones para el cálculo de las sombras producidas por la pared este en el punto A	49
Ilustración 6: Vista de la azotea del edificio del Ayuntamiento de Betxí	56
Ilustración 7: Distancia entre paneles	57
Ilustración 8: Vista aérea de la Escuela Municipal Infantil de Betxí. Fuente: Google Maps	60
Ilustración 9: Vista aérea del Almacén Municipal de Betxí. Fuente: Google Maps	60
Ilustración 10: Vista aérea del pabellón municipal de Betxí	61
Ilustración 11: Vista aérea del Juzgado de Paz.....	62
Ilustración 12: Vista aérea del centro de día.....	62
Ilustración 13: Esquema tipo de la instalación.....	64
Ilustración 14: Orientación del pabellón municipal	69
Ilustración 16: Esquema de la instalación de generación de energía. Fuente: Iberdrola Distribución Eléctrica	72
Ilustración 17: Esquema de instalación del protector sobretensiones.....	77
Ilustración 18: Diseño de la estructura metálica para soportar los paneles solares del Ayuntamiento.....	79
Ilustración 19: Sección tubular seleccionada para el cálculo de la estructura del Ayuntamiento	80
Ilustración 20: Resultados obtenidos en SAP2000.....	82
Ilustración 21: Deformaciones máximas admisibles. Fuente: CTE.....	82
Ilustración 22: Planta estructura y posición de los paneles	83
Ilustración 23: Resultado final de la estructura. Fuente: vazquezconsuegra.com	83

MEMORIA DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO

El objetivo del presente Trabajo de Fin de Master es el de realizar un estudio de viabilidad para la elaboración de un plan de promoción del uso de energías de fuentes renovables en edificios municipales del municipio castellonense de Betxí.

Para ello, se realizará un análisis de los consumos de los edificios municipales, los recursos renovables disponibles para la generación de energía eléctrica (solar y eólico), así como de los posibles Sistemas Híbridos Renovables a implantar en cada uno de ellos en función de la tecnología disponible y de las características de cada edificio.

Para hallar la solución óptima en cada caso se hará uso del software HOMER.

1.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

En el presente documento, en primer lugar, se va a detallar cuál es la metodología empleada para la elaboración del análisis técnico-económico, explicando las herramientas utilizadas, analizando los recursos energéticos disponibles, los datos de partida con los que se cuenta, la legislación y normativa vigente, las tecnologías disponibles, así como el estudio de costes.

Seguidamente, se analizarán cada uno de los edificios y se realizarán las simulaciones en HOMER.

Por último, se analizarán los resultados obtenidos, especificando la solución técnico-económica que se ha escogido para cada edificio, realizando un estudio detallado de costes y de viabilidad, y se extraerán las conclusiones.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA

2.1. HERRAMIENTA UTILIZADA

La principal herramienta que se ha utilizado para la realización del presente Trabajo de Fin de Máster es HOMER Energy. Se trata de un software creado para modelar sistemas energéticos obteniendo la manera óptima de funcionamiento en función de las necesidades concretas de cada caso.

Para modelar el sistema HOMER hace un balance de energía cada hora, comparando las demandas eléctricas y térmicas con la energía que el sistema definido puede generar a esa hora y calculando los flujos de energía en cada uno de los elementos del sistema. HOMER también es capaz de definir las horas de funcionamiento y carga de los sistemas de almacenamiento de energía.

HOMER realiza estos balances de energía teniendo en cuenta todas las posibles configuraciones con los elementos definidos, determinando si la configuración es factible (se puede cubrir toda la energía demandada), y cuál sería el coste de instalación, operación y mantenimiento del sistema durante la vida útil de la instalación.

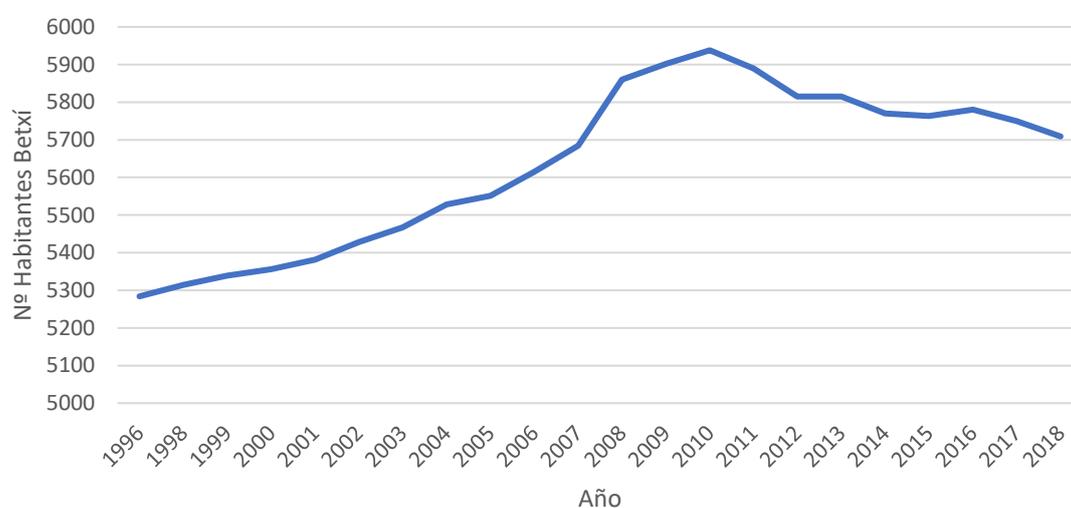
Una vez realizadas las simulaciones HOMER ofrece una lista con todas las posibles configuraciones y su COE (Cost of electricity). El COE es el coste medio del kWh consumido teniendo en cuenta todos los gastos asociados a la instalación durante su vida útil, y es uno de los principales elementos de comparación entre alternativas.

2.2. ANÁLISIS DEL MUNICIPIO

Betxí es un municipio que se encuentra en la provincia de Castellón, en la comarca de la Plana Baja. Está ubicado en la llanura que se encuentra entre la Sierra de Espadán y el Mar Mediterráneo, y limita con las localidades de Onda, Villareal, Nules y Artana.

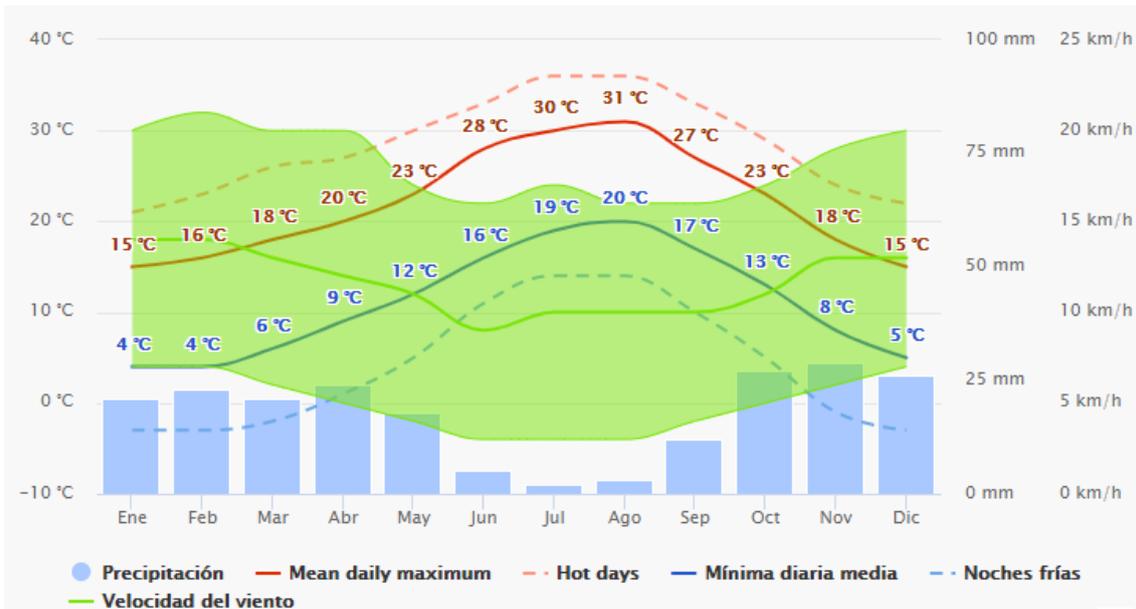
Se encuentra a una altura de 100 metros sobre el nivel del mar y tiene un clima marcadamente mediterráneo.

A fecha de 2018, Betxí contaba con una población de 5.709 habitantes, pero su máximo histórico lo alcanzó en 2010 con 5.938 habitantes. En la siguiente gráfica se puede observar la evolución de la población del municipio en los últimos 22 años, según los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE).



Gráfica 1: Evolución de la población de Betxí. Fuente: INE

Respecto a la climatología, Betxí se encuentra a menos de 15 km de la costa mediterránea, por lo que las temperaturas no suelen ser muy extremas. En la siguiente gráfica se pueden observar las temperaturas medias, precipitaciones y la velocidad del viento media a lo largo de un año:



Gráfica 2: Datos climáticos de Betxí Fuente y elaboración: Meteoblue

Como se puede observar, los meses de verano son los que tienen una mayor temperatura, debido a una mayor radiación, y las precipitaciones son mínimas, lo que conlleva menos días nublados. Sin embargo, es en estos meses cuando la velocidad del viento es menor, por lo que, presumiblemente, una combinación de fuentes de energía renovables eólica y solar será una buena opción ya que el recurso solar y el eólico se complementarían. No obstante, esto será analizado pormenorizadamente en el siguiente apartado.

2.3. RECURSOS ENERGÉTICOS DISPONIBLES

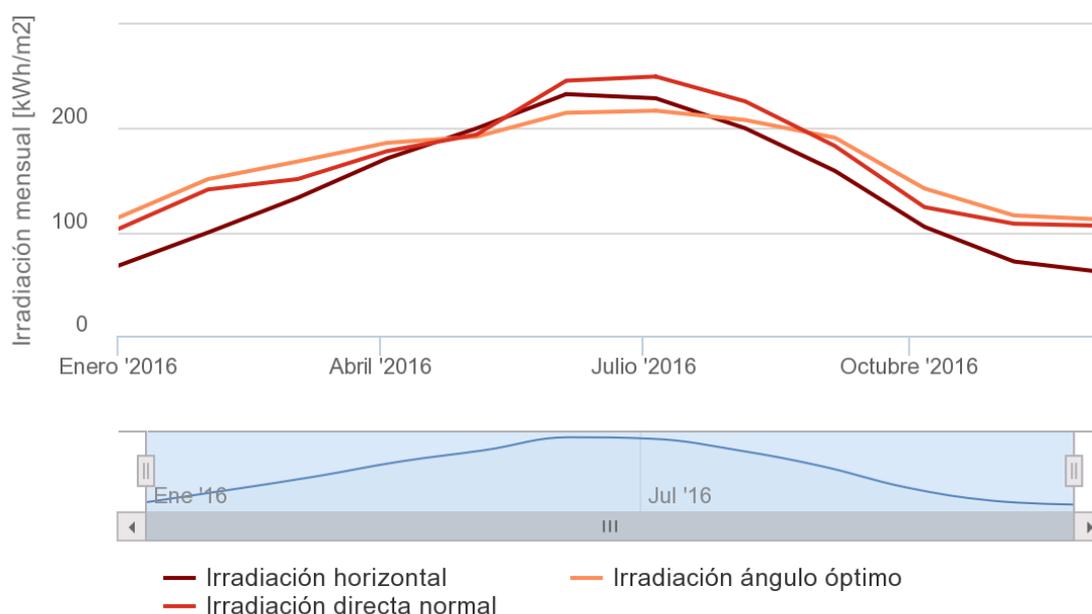
En el presente apartado se va a analizar cuáles son los recursos que se disponen en Betxí. Únicamente se han estudiado el recurso solar y el recurso eólico, ya que son aquellos que pueden ser implementados en un edificio público de las características de los que actualmente existen en Betxí.

2.3.1. Recurso solar: radiación

Para introducir los datos de recurso solar en la herramienta HOMER se ha optado por utilizar los datos que proporciona PVGIS (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM).

PVGIS es un proyecto desarrollado durante más de 10 años en el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea. El objetivo de PVGIS es la investigación en la evaluación del recurso solar, en el funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas y en la difusión de conocimiento y datos sobre radiación solar y funcionamiento de las instalaciones.

PVGIS proporciona, entre mucha otra información, los datos mensuales de irradiación solar. En la siguiente gráfica se pueden observar los datos del año 2016, que es el más reciente de entre los disponibles.



Gráfica 3: Irradiación solar mensual en Betxí. Año 2016. Fuente y elaboración: PVGIS

La irradiación global horizontal es la suma mensual de la radiación solar que llega, por metro cuadrado, a un plano horizontal, expresado en kWh/m2.

La irradiación directa normal es la suma mensual de la radiación solar que llega, por metro cuadrado, a un plano perpendicular en todo momento a los rayos del sol, expresado en kWh/m2, incluyendo únicamente la radiación que llega directamente desde el disco solar.

La irradiación global con el ángulo óptimo es la suma mensual de la radiación solar que llega, por metro cuadrado, a un plano orientado hacia el ecuador con un ángulo de inclinación que permita maximizar la radiación solar recibida a lo largo del año, expresado en kWh/m2-

Los valores que se deben considerar en HOMER son los correspondientes a la Irradiación global horizontal. Se han considerado los valores de irradiación de los últimos 5 años y se ha calculado la media aritmética, de manera que el valor utilizado para el cálculo en HOMER es más cercano al valor promedio histórico de los últimos años.

En la siguiente tabla se pueden observar los valores de la irradiación global horizontal en kWh/m²/día de los últimos 5 años y la media utilizada para las simulaciones en HOMER:

Mes	Año					Media (kWh/m ² /día)
	2012	2013	2014	2015	2016	
Enero	2.387	2.419	2.097	2.548	2.161	2.323
Febrero	4.036	3.250	2.929	3.107	3.214	3.307
Marzo	5.290	4.194	4.645	4.032	4.484	4.529
Abril	5.867	5.367	6.200	6.033	5.333	5.760
Mayo	7.129	6.548	6.710	7.355	6.355	6.819
Junio	7.767	7.700	7.400	7.600	7.867	7.667
Julio	7.452	7.645	7.355	7.161	7.387	7.400
Agosto	6.613	5.871	6.290	6.129	7.032	6.387
Septiembre	4.800	5.200	4.867	4.600	5.233	4.940
Octubre	3.710	3.742	3.903	3.194	3.387	3.587
Noviembre	2.233	2.667	2.400	2.700	2.367	2.473
Diciembre	2.258	2.032	2.129	2.129	2.097	2.129

Tabla 1: Irradiación global horizontal mensual en Betxí. Fuente: PVGIS

Adicionalmente a la irradiación solar, también es posible definir el recurso solar en HOMER gracias al *clearness index* o índice de nubosidad (K_t). Este índice es una medida de la claridad de la atmósfera. Es la fracción de radiación solar que es transmitida, a través de la atmósfera, a una superficie en la tierra. Es un número adimensional entre 0 y 1, y se define como la radiación en la superficie dividida entre la radiación extraterrestre. El índice de nubosidad es mayor cuanto más claro y soleado es el ambiente.

Los valores típicos oscilan entre 0,25 (un mes de invierno muy lluvioso en Londres, Reino Unido) y 0,75 (mes de verano soleado en Phoenix, E.E.U.U.).

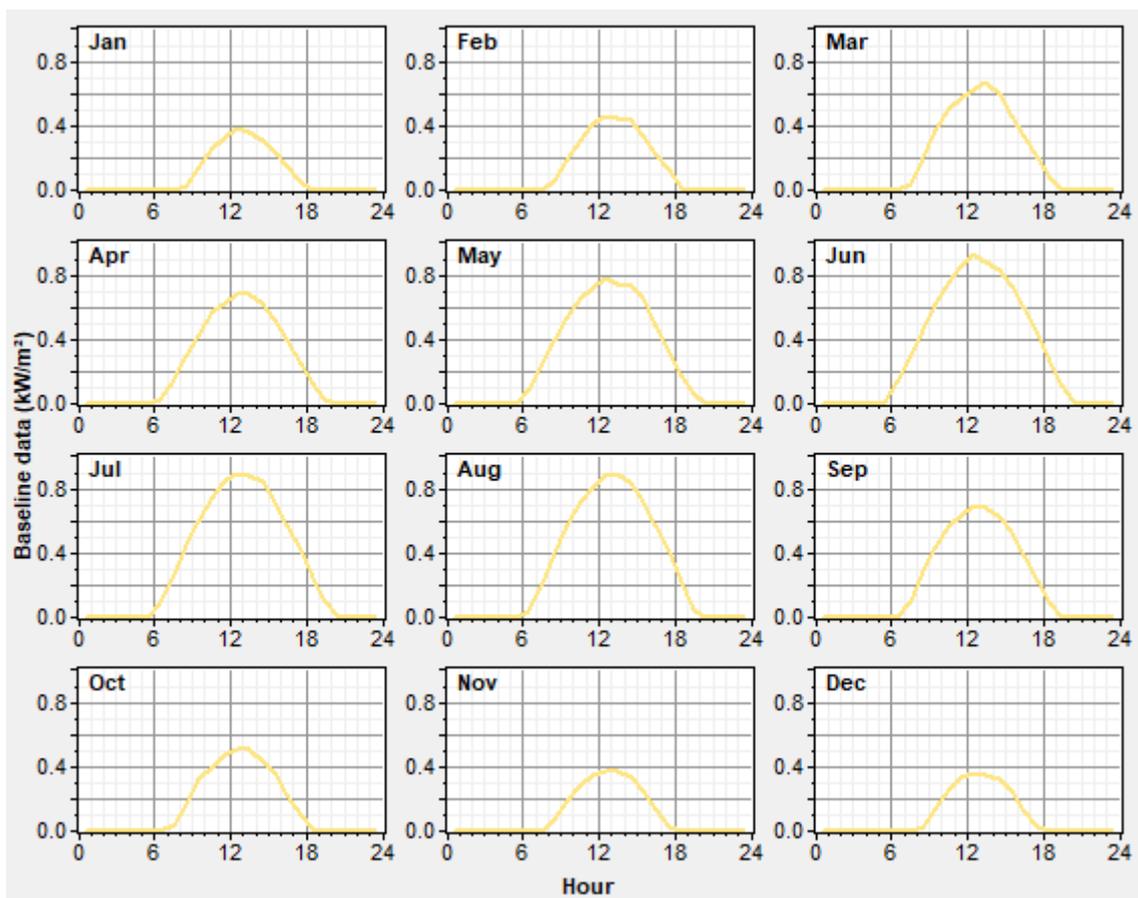
HOMER ofrece una tabla con los índices de nubosidad mensuales de muchas localizaciones en el mundo. Para el caso del estudio que se pretende realizar en Betxí la localización más cercana es Almería, cuyos índices de nubosidad son:

Mes	Índice de nubosidad (Kt)
Enero	0,57
Febrero	0,56
Marzo	0,53
Abril	0,56
Mayo	0,6
Junio	0,62
Julio	0,66
Agosto	0,64
Septiembre	0,61
Octubre	0,6
Noviembre	0,57
Diciembre	0,58

Tabla 2: Índice de nubosidad mensual en Betxí. Fuente: HOMER

Para la realización de las simulaciones en HOMER se ha optado por considerar los datos de irradiación global mensuales obtenidos de PVGIS ya que son más precisos y se ajustan más a la ubicación objeto de estudio. A partir de estos datos, HOMER es capaz de obtener los valores correspondientes a las 8760 horas del año.

A modo resumen, en las siguientes gráficas se puede observar la distribución de la radiación solar media de todos los meses del año:



Gráfica 4: Irradiancia global horizontal Fuente: HOMER

Por otra parte, PVGIS también indica que, teniendo en cuenta la longitud y latitud del municipio, la inclinación óptima de los paneles será de 35°.

2.3.2. Recurso eólico

Tal y como se ha adelantado en el apartado 2.2 ANÁLISIS DEL MUNICIPIO, los meses más ventosos son de enero a abril. Para definir el recurso eólico se ha partido de las mediciones de la velocidad del viento realizada por AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) desde enero de 2014 hasta diciembre de 2018 en la estación meteorológica de Almassora, ya que es la más cercana a Betxí.

Los datos de velocidad media obtenidos son:

Mes	Vm (m/s)
Enero	4,99
Febrero	5,43
Marzo	4,99
Abril	4,49
Mayo	4,47
Junio	4,39
Julio	4,33
Agosto	4,32

Septiembre	4,16
Octubre	3,82
Noviembre	4,49
Diciembre	4,18

Tabla 3: Velocidad media del viento en Almassora. Fuente: AEMET

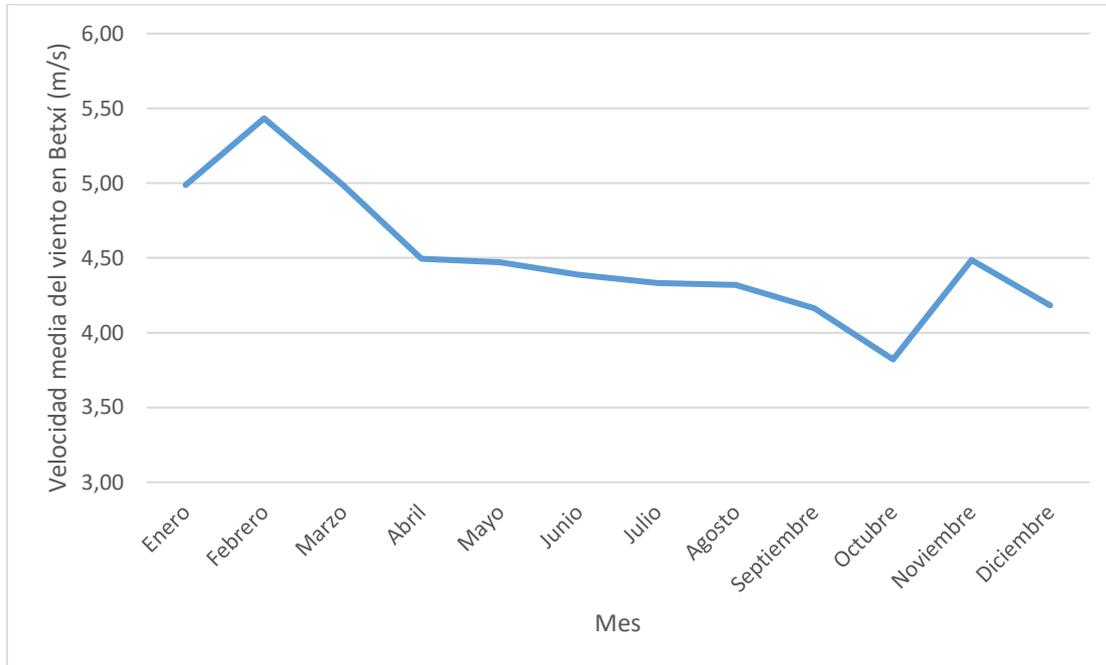


Gráfico 5: Velocidad media del viento en Betxí. Fuente: AEMET Elaboración: propia

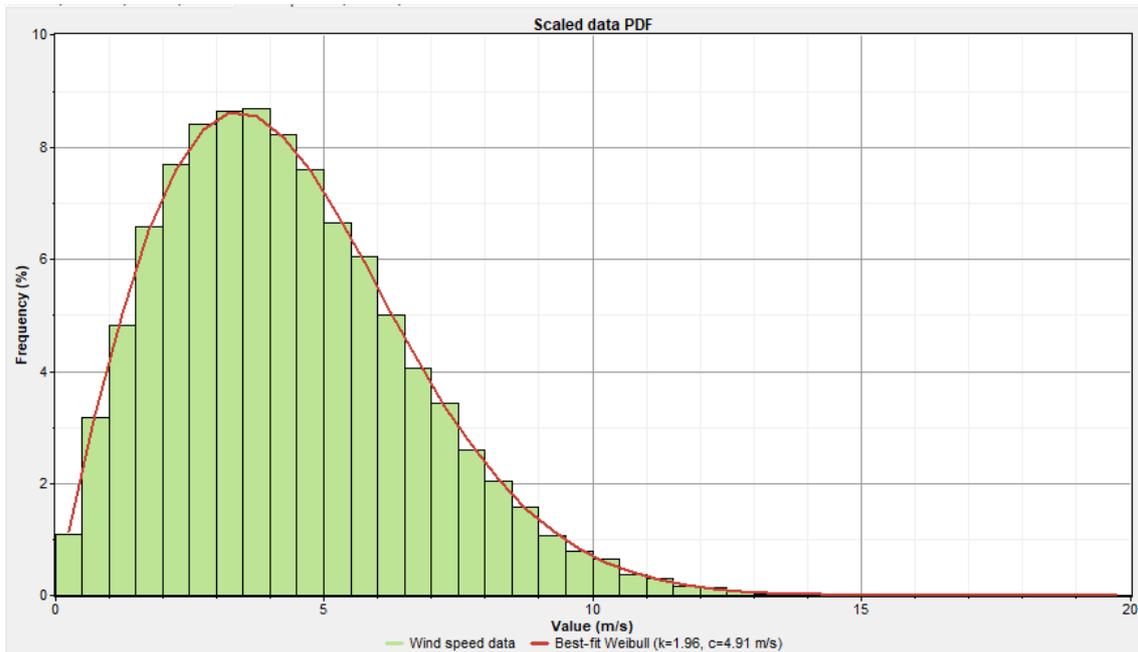
Analizando los datos proporcionados por AEMET se puede saber también cuáles son las velocidades medias más habituales. Si se consideran todas las medidas desde enero de 2014 hasta diciembre de 2018 (1822 en total), se puede comprobar que únicamente el 6,5% de los días la velocidad media no supera los 3 m/s, que es la velocidad a la que empiezan a trabajar muchos aerogeneradores de pequeño tamaño.

	Nº Días	% Total
Vm<3	119	6,5%
3<Vm<4	698	38,3%
4<Vm<5	589	32,3%
5<Vm<6	212	11,6%
6<Vm<7	93	5,1%
7<Vm<8	60	3,3%
8<Vm<9	34	1,9%
9<Vm<10	8	0,4%
Vm>10	9	0,5%

Tabla 4: Distribución de velocidades medias por día. Elaboración: propia

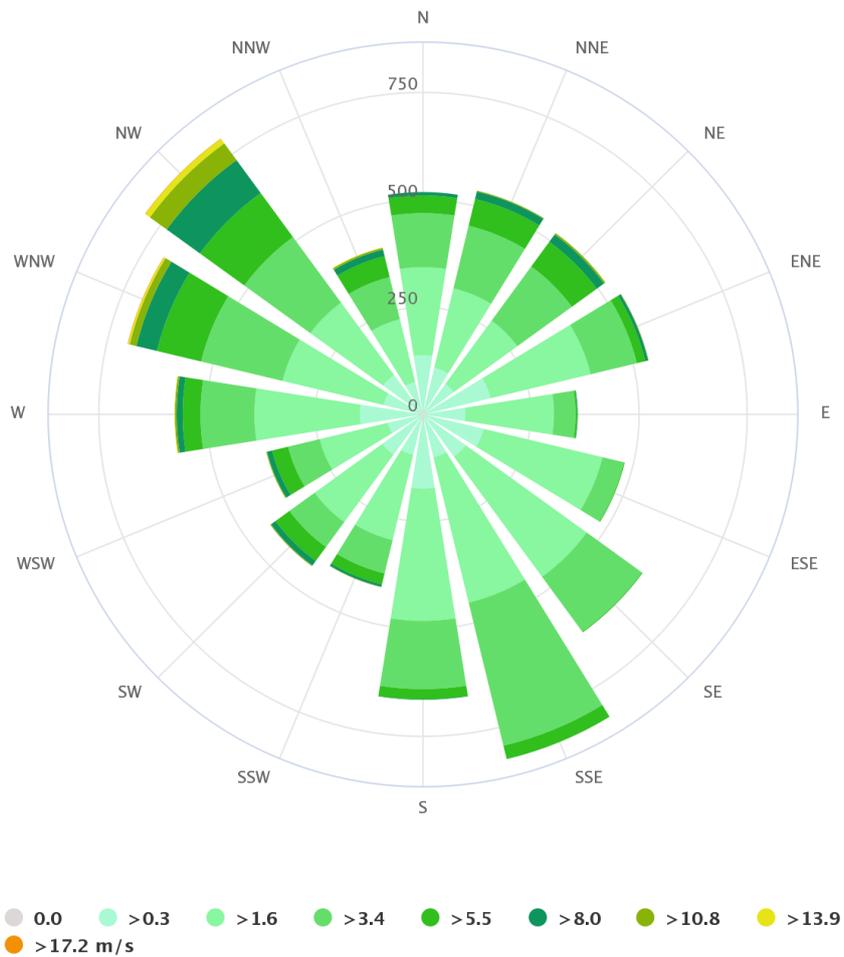
Según la distribución de Weibull obtenida a través de HOMER, aproximadamente el 35% de las horas del día no se superará el umbral de los 3 m/s, por lo que los aerogeneradores no podrían funcionar durante esas horas. Sin embargo, también cabe destacar que las horas en las que se superan los 11 m/s, que es cuando el aerogenerador debe parar por exceso de viento, son residuales.

En la siguiente gráfica se puede observar la frecuencia de diferentes valores de velocidad del aire con un intervalo de 0,5 m/s.



Gráfica 6: Distribución de Weibull de la velocidad del viento. Fuente: Propia

Por último, es necesario analizar la dirección del viento para determinar cuál es la ubicación y orientación óptima:



Gráfica 7: Rosa de los vientos. Fuente: Meteoblue

Como se puede observar, las principales direcciones que sigue el viento en Betxi son Noroeste (NW) y sursureste (SSE). Sin embargo, la velocidad del viento en las direcciones noroeste y nornoroeste son mucho mayores que en sursuroeste, que escasamente superan los 3,4 m/s.

2.4. DATOS DE PARTIDA

2.4.1. Consumos eléctricos de los edificios municipales

Para realizar el estudio de viabilidad técnico-económica de la implantación de un Sistema Renovable Híbrido es necesario, en primer lugar, acceder a los datos de consumo horario de un año completo, en este caso, de los edificios municipales de Betxí.

Para ello, es necesario que la compañía distribuidora de la zona haya realizado el cambio de contadores analógicos por contadores telegestionados, ya que ninguno de los edificios cuenta con equipos de telemedida adicionales.

En el caso de Betxí, la compañía distribuidora es Iberdrola Distribución Eléctrica, que recientemente ha cambiado su nombre por I-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U, y que puso en marcha el proyecto STAR (Sistemas de Telegestión y Automatización de la Red) cuyo objetivo es llevar a cabo una transformación tecnológica en el campo de las redes inteligentes instalando contadores inteligentes en todos sus puntos de suministro, entre otras medidas.

En resumen, los puntos de suministro de Betxí que tienen instalado un contador inteligente desde enero de 2018 son los siguientes:

DIRECCIÓN CUPS	EDIFICIO	Potencia máxima (kW)	Consumo 2018 (kWh)
1. Plza MAYOR, 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	AYUNTAMIENTO	17,49	22.635,17
2. Plza MANUEL ESCOBEDO, 7 , BAJO , 1 12549-BETXI - CASTELLON	CASAL JOVE	5,01	654,89
3. C/ DOCTOR ORTELLS, 1 12549-BETXI - CASTELLON	CASA DE LA CULTURA	16,38	9.287,74
4. CAMINO ONDA, 2 12549-BETXI - CASTELLON	CENTRE D'OCI 3ª EDAT	35,09	13.684,07
5. C/ ONDA, 32 12549-BETXI - CASTELLON	ESCOLA INFANTIL	6,37	10.292,89
6. C/ PIO XII, 47 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	ALMACÉN MUNICIPAL	9,47	11.841,08
7. Avda SANT JOSEP OBRER, 40 12549-BETXI - CASTELLON	ESCOLA FORMACIÓ ADULTS	12,11	3.856,63
8. C/ ALFONSO FRANCH, 50 12549-BETXI - CASTELLON	POLIDEPORTIVO	19,89	30.299,14
9. Avda PRIMERO DE MAYO, 1 , 1 12549-BETXI - CASTELLON	JUZGADO DE PAZ	6,14	7.995,05
10. Avda REINA APOSTOLES, 99 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	CEMENTERIO	5,23	285,34
11. C/ MONCOFAR, S/N 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	CENTRO DE DÍA	10,77	9.950,88

Tabla 5: Listado de los edificios municipales de Betxí

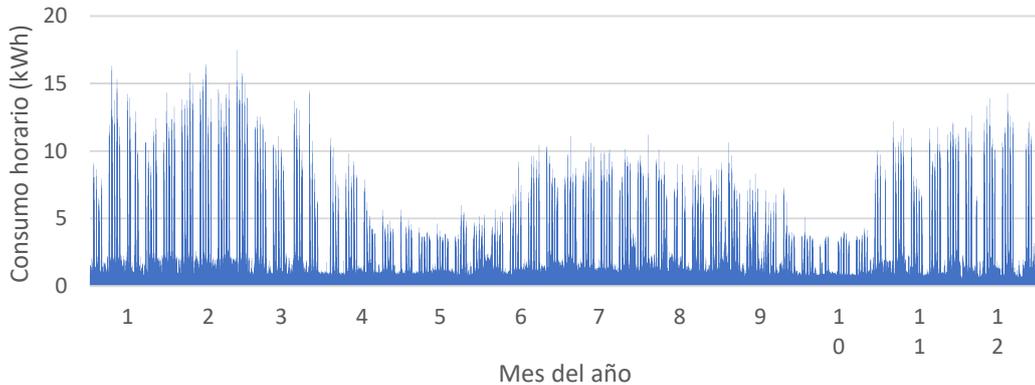
Como se puede observar, existe una gran diversidad entre los distintos edificios, tanto en Potencia Máxima demandada como en el consumo energético anual durante todo el 2018.

Sin embargo, también cabe tener en cuenta que los contadores inteligentes pueden presentar errores en la medida o perder la comunicación durante varios días, incluso semanas. Por lo que también será necesario analizar las medidas obtenidas de cada uno de ellos para descartar todos aquellos puntos de suministro que presenten anomalías en las lecturas. A continuación, se va a proceder a analizar uno a uno todos los suministros comprobando los datos de consumo que se dispone y comparando una serie de indicadores energéticos.

1. Ayuntamiento

Situado en el número 1 de la Plaza Mayor de Betxí, este edificio es el centro administrativo y político del municipio. Cuenta con una planta baja y dos alturas.

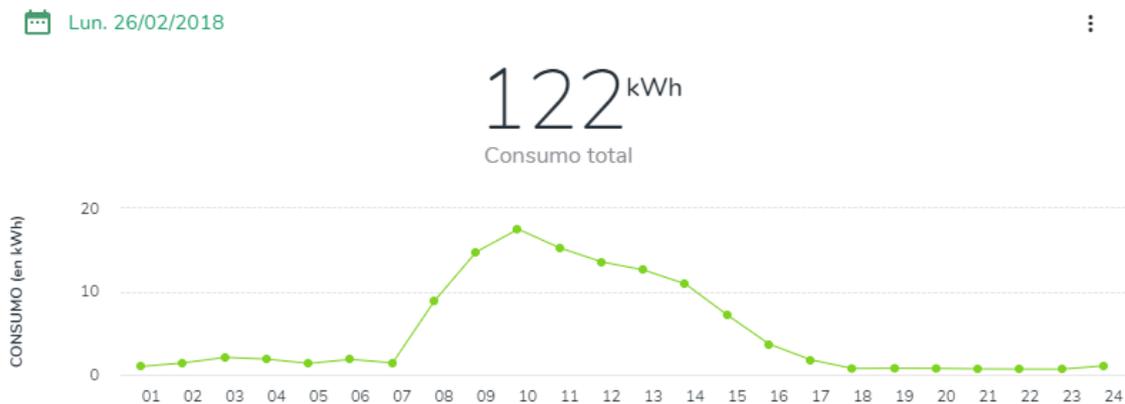
En este caso se tiene una curva anual continua con únicamente 72 horas al año con una medida igual a 0, por lo que esos datos podrían ser estimados teniendo en cuenta el día y hora del año en los que se han producido:



Gráfica 8: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Ayuntamiento de Betxí. Fuente: I-DE

El valor máximo de potencia demandada se produjo el 26 de febrero a las 10:00h con 17,488 kW.

Si se analizan los consumos a lo largo del año se puede observar unos perfiles muy definidos. En cuanto al perfil diario, se puede observar que, al tratarse de un edificio de oficinas, el consumo comienza a aumentar progresivamente desde las 07:00h hasta las 10:00h en el que se suele alcanzar el máximo diario. A partir de las 10:00h va reduciéndose el consumo, probablemente porque el edificio ya haya alcanzado la temperatura de confort y se reduzca el consumo energético en calefacción, hasta las 15:30 aproximadamente.



Gráfica 9: Perfil consumo diario del Ayuntamiento. Día 26/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE

Si analizamos el perfil semanal se puede comprobar que el consumo es relativamente constante de lunes a viernes, mientras que durante los fines de semana únicamente hay un consumo remanente:

2680 kWh
Consumo total



Gráfica 10: Evolución del consumo diario del Ayuntamiento. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE

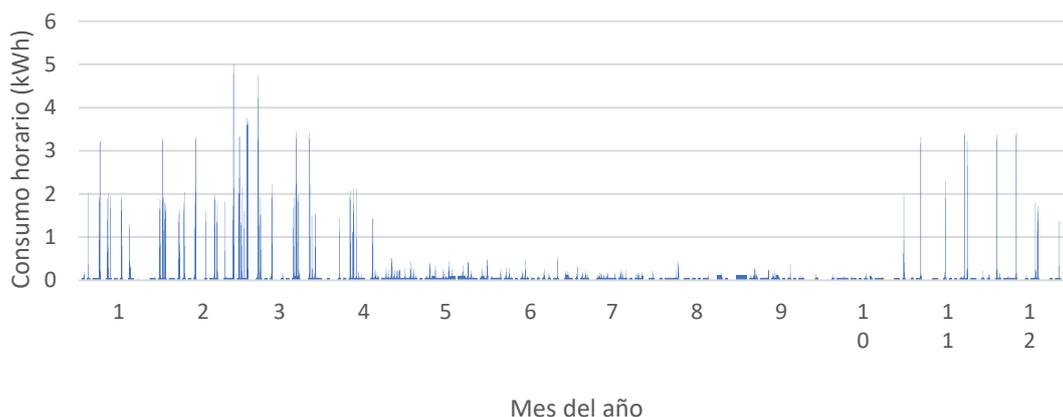
Por lo tanto, el edificio del Ayuntamiento es susceptible de ser analizado para la instalación de un Sistema Renovable Híbrido.

De la energía total consumida en el Ayuntamiento, el 76% se consume en las horas del día en las que en la mayor parte del año hay radiación solar (de 08:00 a 20:00h), mientras que el 45% se consume en los meses de abril a septiembre, que son aquellos con una mayor radiación solar.

2. Casal Jove

Se trata de un edificio municipal con poco uso en la actualidad, situado en el número 7 de la Plaza Manuel Escobedo.

En el Casal Jove los consumos registrados no siguen ningún tipo de patrón, y existen 3.549 lecturas nulas, lo que supone más de un 40% de las lecturas anuales. Adicionalmente, el consumo energético anual es de 654,89 kWh, que es realmente bajo.



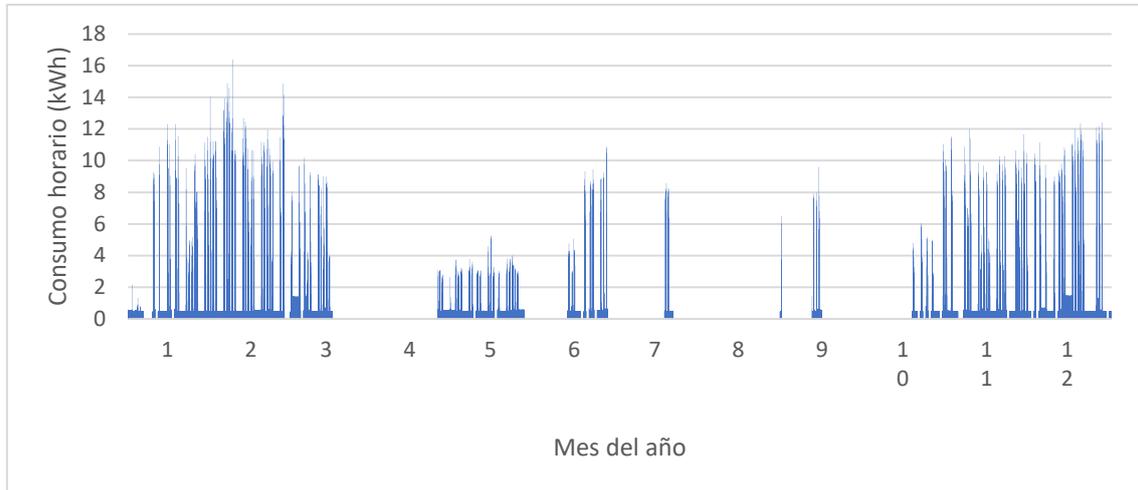
Gráfica 11: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Casal Jove. Fuente: I-DE

Por lo tanto, la instalación de un Sistema Renovable Híbrido no es viable.

3. Casa de la Cultura

En la C/ Doctor Ortells, 1 se encuentra la Casa de la Cultura de Betxí, que a su vez alberga la Biblioteca Municipal Alfonso Franch Mira.

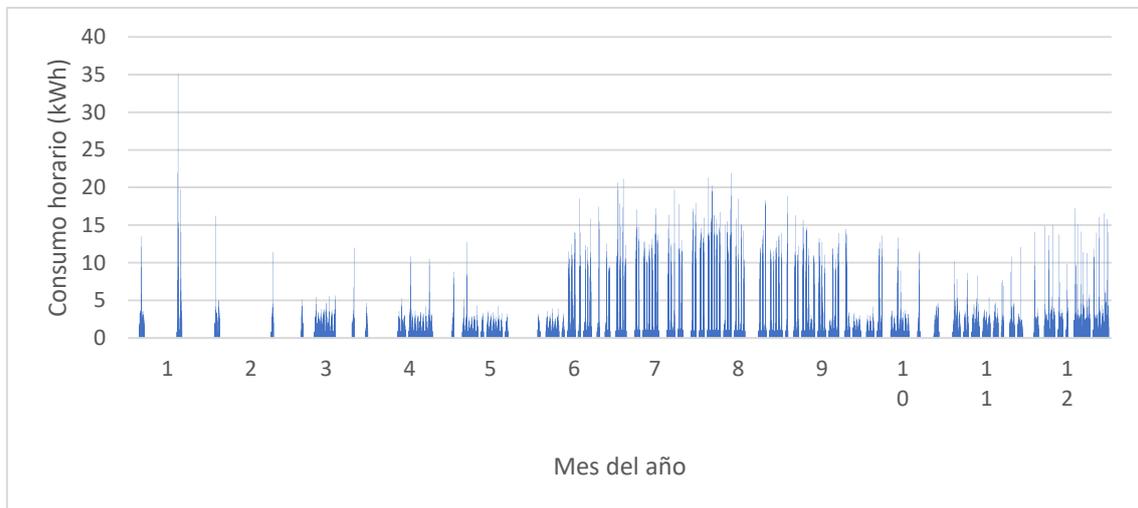
En este caso, de nuevo, la curva anual de consumo presenta muchos registros nulos (4.426), por lo que tampoco es un edificio válido para realizar un análisis sobre la viabilidad de la instalación de un Sistema Híbrido Renovable.



Gráfica 12: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh de la Casa de la cultura. Fuente: I-DE

4. Camino de Onda, 2: Centro de Ocio de la 3ª Edad

En el caso del Centro de Ocio de la 3ª Edad, también existe una gran discontinuidad en los datos de lectura, especialmente en la primera mitad del año. Por lo tanto, se descarta su estudio.

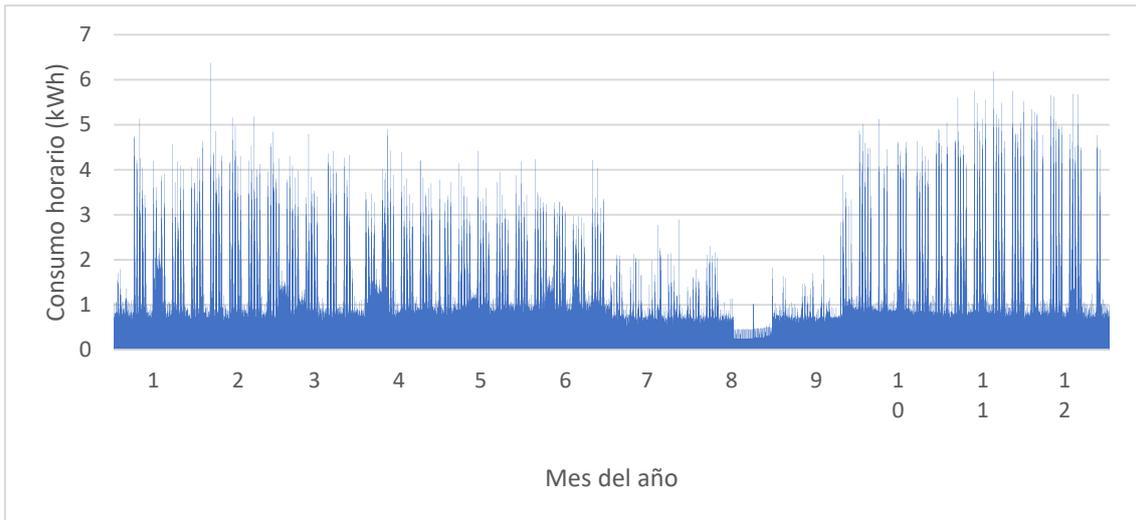


Gráfica 13: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Centro de Ocio de la 3ª Edad. Fuente: I-DE

5. Escuela Infantil Municipal

En el número 32 del Camino de Onda se encuentra la Escuela Infantil de Primer Ciclo Municipal "Pequelar".

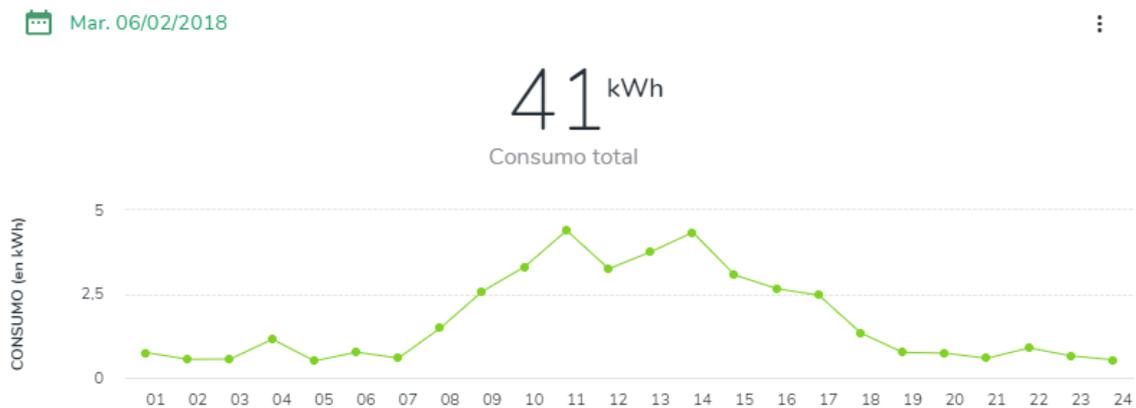
En el caso de la Escuela Infantil Municipal sí que se ha registrado correctamente la curva anual, ya que únicamente existen 24 registros nulos en todo el año.



Gráfica 14: : Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh de la Escuela Infantil Municipal. Fuente: I-DE

Se puede observar que el consumo es bastante constante durante todo el año menos en la temporada estival, coincidiendo con las vacaciones escolares, que se ve reducido.

Adicionalmente, si se analizan los perfiles de consumo se puede observar que siguen un patrón definido. Respecto al consumo diario, el consumo comienza a aumentar a partir de las 07:00h hasta alcanzar el máximo en las horas centrales del día. Posteriormente, el consumo se va reduciendo paulatinamente hasta las 18:30h aproximadamente.



Gráfica 15: Perfil consumo diario de la Escuela Infantil Municipal. Día 06/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE

Respecto al perfil mensual, el consumo es prácticamente constante de lunes a viernes, mientras que en los fines de semana únicamente se registra un consumo remanente:

943^{kWh}

Consumo total



Gráfica 16: Evolución del consumo diario de la Escuela Infantil Municipal. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE

El consumo anual de la Escuela Infantil Municipal durante el año 2018 fue de 10.292,89 kWh, y el día en el que se demandó una mayor potencia fue el 2 de marzo a las 11:00h, con 3,373 kW.

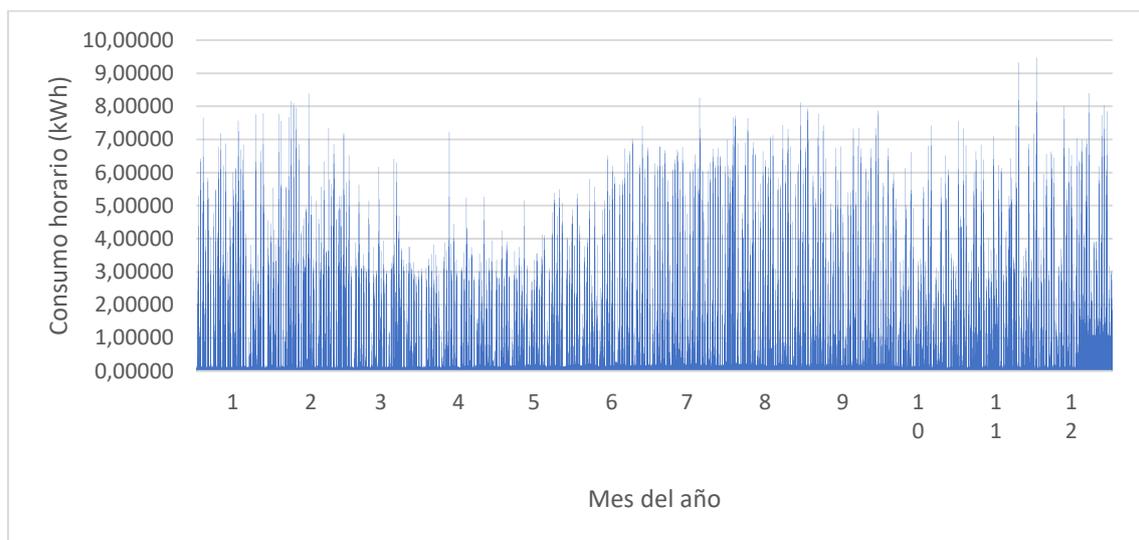
Por lo tanto, la Escuela Infantil Municipal es un edificio que deberá ser analizado con mayor profundidad para determinar la viabilidad técnico-económica de la instalación de un Sistema Renovable Híbrido.

De la energía total consumida en el Ayuntamiento, el 67% se consume en las horas del día en las que en la mayor parte del año hay radiación solar (de 08:00 a 20:00h), mientras que la mayor parte del consumo (57%) se produce en aquellos meses con menor radiación solar (de octubre a abril).

6. Almacén Municipal

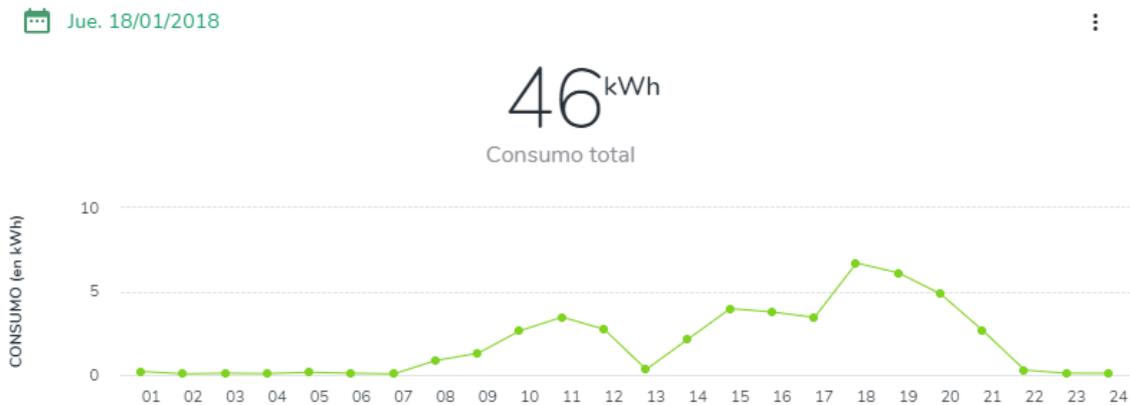
El almacén municipal es una nave de grandes dimensiones situada en el número 45 de la C/ Pío XII.

El almacén municipal también presenta unos valores de consumo regulares durante todo el año, ya que únicamente se han registrado 46 valores nulos en todo el año.



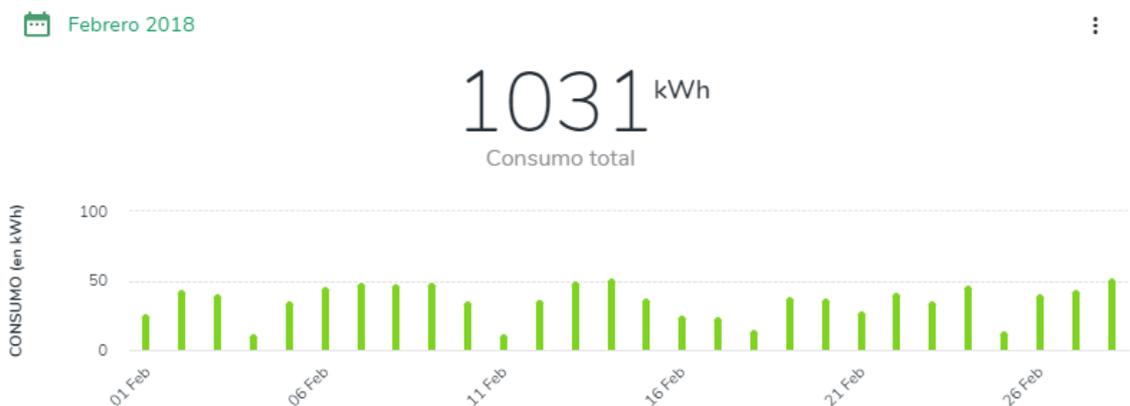
Gráfica 17: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Almacén Municipal. Fuente: I-DE

En el Almacén municipal no se sigue un patrón de consumo diario constante, pero sí que cabe resaltar siempre que se registra consumo hasta, al menos, las 21:00h. Por lo que, por lo general, siempre habrá una demanda elevada en períodos en los que la radiación solar es nula.



Gráfica 18: Perfil consumo diario del Almacén Municipal. Día 18/01/2018. Fuente y elaboración: I-DE

Respecto al perfil del consumo mensual, sí que se puede concluir que, a diferencia de los edificios anteriores, sí que se produce un consumo de energía los sábados, pese a que suele ser menor que de lunes a viernes. Los domingos el consumo es residual.



Gráfica 19: Evolución del consumo diario del Almacén Municipal. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE

La máxima demanda se produjo el 01/12/2018, con 9,468 kW.

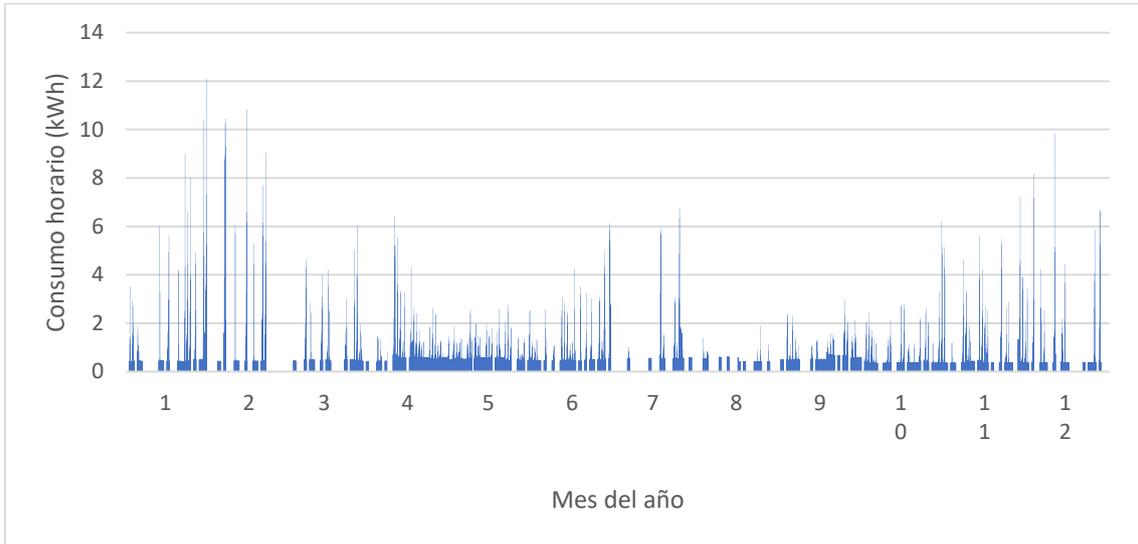
Teniendo en cuenta la continuidad de los datos de consumo anuales y que existen un patrón de consumo definido, el Almacén Municipal es un edificio que será analizado para estudiar la viabilidad de la instalación de un Sistema Renovable Híbrido.

La gran parte de la energía consumida en el almacén municipal (75%) se consume en las horas del día en la que durante la mayor parte del año hay radiación solar. Aproximadamente la mitad de esta energía (47%) es consumida en los meses con mayor radiación solar (de abril a septiembre).

7. Escuela de Formación de Adultos

La Escuela de Formación de Adultos es un edificio de grandes dimensiones situada en el número 40 de la Avenida Sant Josep Obrer en el que desde hace más de 40 años se imparten cursos de formación a personas adultas.

La curva de demanda anual de la Escuela de Formación de Adultos presenta una gran discontinuidad, ya que hay registrados 3.868 valores nulos, por lo que, con los datos que se disponen, no es un edificio que pueda ser analizado.

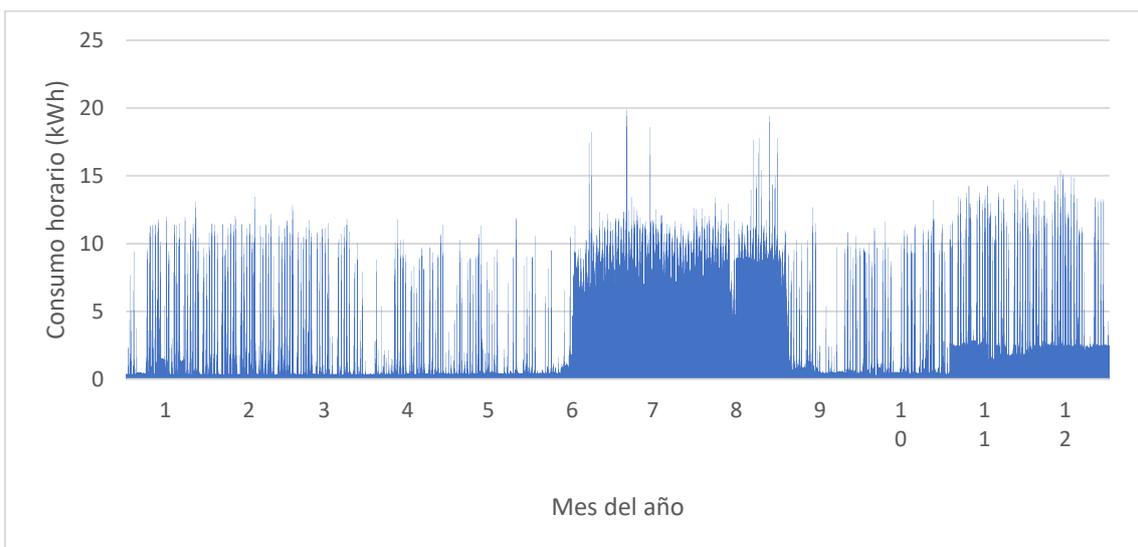


Gráfica 20: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh de la Escuela de Formación de Adultos. Fuente: I-DE

8. Polideportivo

El complejo deportivo Robert Fernández Bonillo se encuentra en el número 50 de la calle Alfonso March y cuenta con dos piscinas exteriores un pabellón polideportivo.

En el caso del complejo deportivo se pueden diferenciar perfectamente dos periodos a lo largo del año. Por una parte, el periodo de verano, desde mediados de junio hasta septiembre, con un uso intensivo y continuado. Por otra parte, el resto del año, en el que la energía diaria máxima es similar, pero hay muchos más días en los que el consumo es menor. En total hay 490 valores nulos en los datos registrados, por lo que, al no ser un número excesivamente elevado (5% del total), éstos pueden ser estimados considerando el consumo del resto de días.



Gráfica 21: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Polideportivo. Fuente: I-DE

A continuación, se adjuntan los perfiles de consumo diario y mensual de la temporada estival, que es cuando se produce un mayor consumo:

📅 Jue. 05/07/2018



275 kWh

Consumo total



Gráfica 22: Perfil consumo diario del Polideportivo. Día 05/07/2018. Fuente y elaboración: I-DE

📅 Julio 2018



6913 kWh

Consumo total



Gráfica 23: Evolución del consumo diario del Polideportivo. Julio 2018. Fuente y elaboración: I-DE

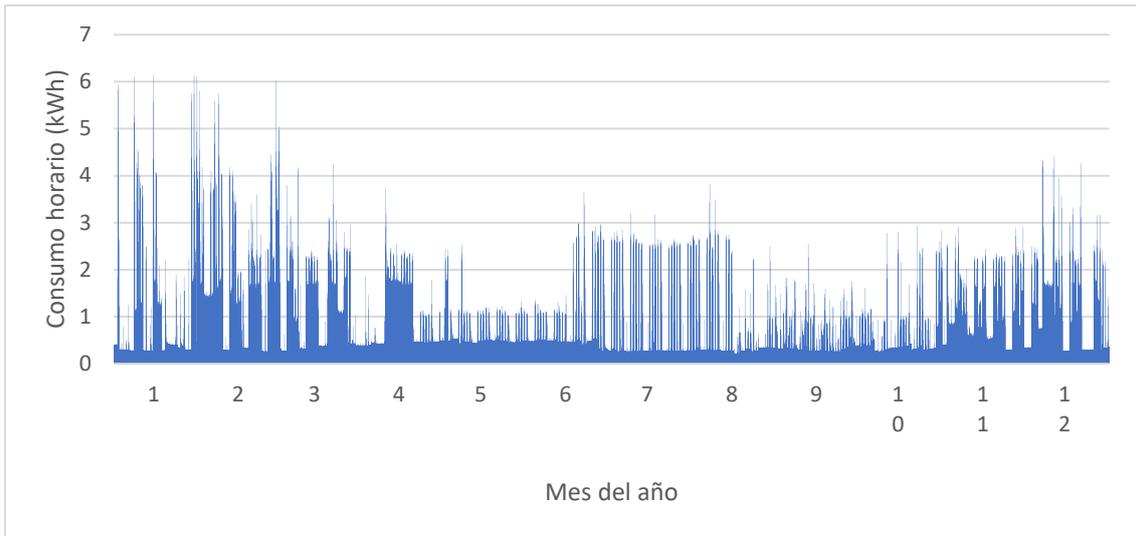
Como se puede observar, existen un consumo mínimo bastante elevado, cercano a los 10 kWh, que aumenta por la tarde. El consumo es muy regular a lo largo del mes, incluyendo sábados y domingos.

El consumo es bastante constante a lo largo del día, por lo que el consumo durante las horas con radiación solar (de 08:00 a 20:00h) únicamente suponen el 51% del total. Sin embargo, el 63% del consumo se concentra en los meses con mayor radiación solar, esto es, de abril a septiembre.

9. Avda. Primero de Mayo, 1: Juzgado de Paz

El Juzgado de Paz de Betxí es un pequeño edificio municipal que cuenta con dos plantas y una pequeña azotea. Se encuentra en el número 1 de la Avenida Primero de Mayo y en él se hacen las funciones de Registro Civil.

La curva de demanda del Juzgado de Paz es bastante continua, ya que únicamente se han registrado valores nulos en 48 ocasiones. Los consumos más elevados se producen en los primeros meses del año y durante el verano, debido a los equipos de calefacción y refrigeración.

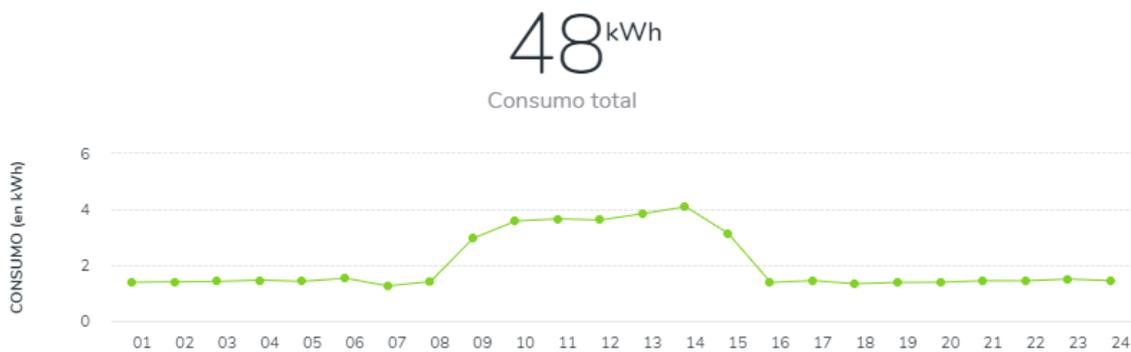


Gráfica 24: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Juzgado de Paz. Fuente: I-DE

Por lo general, el consumo energético se produce de 08:00h a 16:00, existiendo el resto de las horas del día un consumo residual de menos de 2 kWh:

 Lun. 05/02/2018

⋮

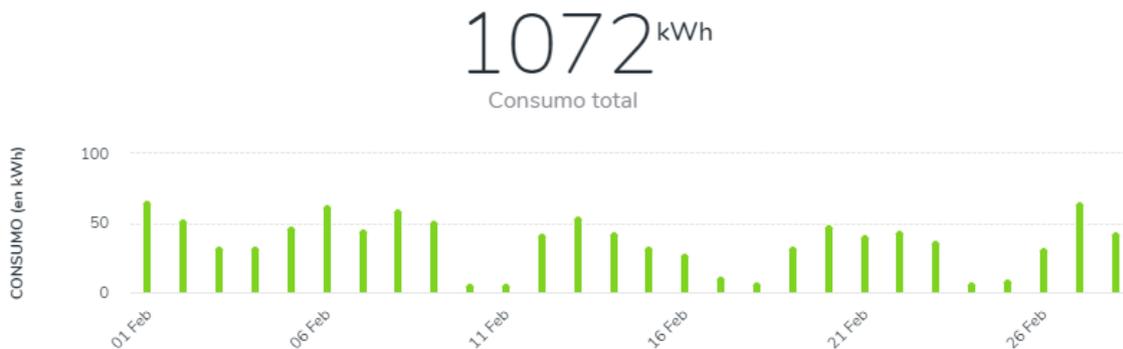


Gráfica 25: Perfil consumo diario del Juzgado de Paz. Día 05/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE

Este consumo se produce de lunes a viernes:

 Febrero 2018

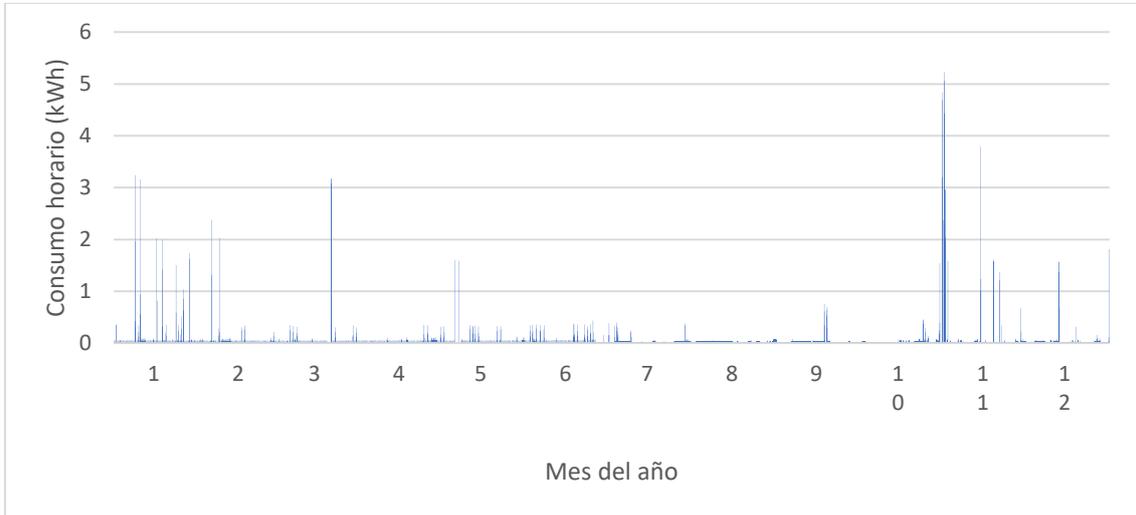
⋮



Gráfica 26: Evolución del consumo diario del Juzgado de Paz. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE

10. Avenida de la Reina de los Apóstoles, 99: Cementerio

El cementerio de Betxí se encuentra en la Avenida de la Reina de los Apóstoles. En él, el consumo es prácticamente nulo durante todo el año. El pico de consumo se produce el día de Todos Los Santos (1 de noviembre), y los días adyacentes, ya que es el día en el que es tradición visitar a los difuntos y el cementerio recibe más visitantes.



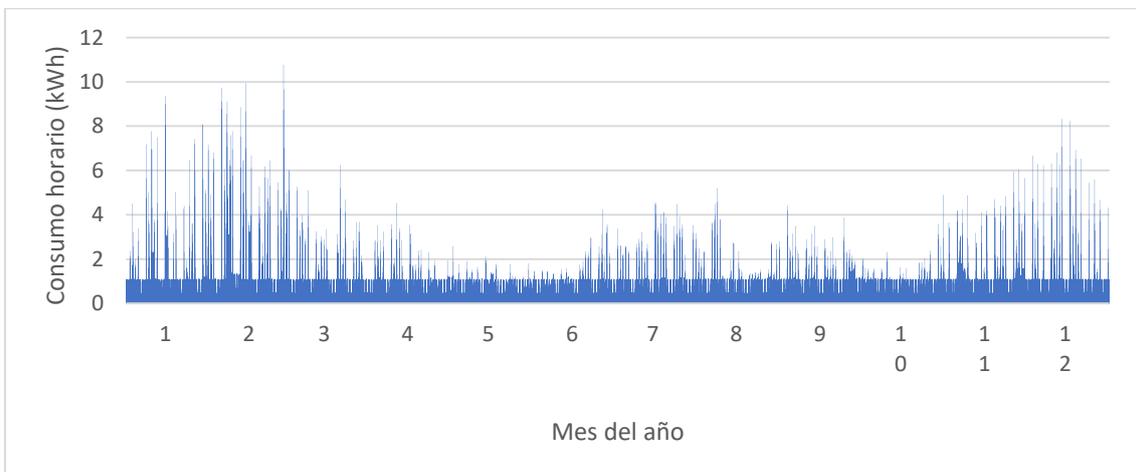
Gráfica 27: Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Cementerio. Fuente: I-DE

Dado que el consumo es prácticamente nulo a lo largo del año, se descarta la realización del estudio de viabilidad de la implantación de un Sistema Híbrido Renovable.

El Juzgado de Paz consume el 64% de su energía en las horas en las que hay radiación solar en la mayor parte del año (de 08:00 a 20:00h), sin embargo, la mayoría del consumo (61%) se produce en aquellos meses con una radiación solar menor (de septiembre a abril).

11. Centro de día

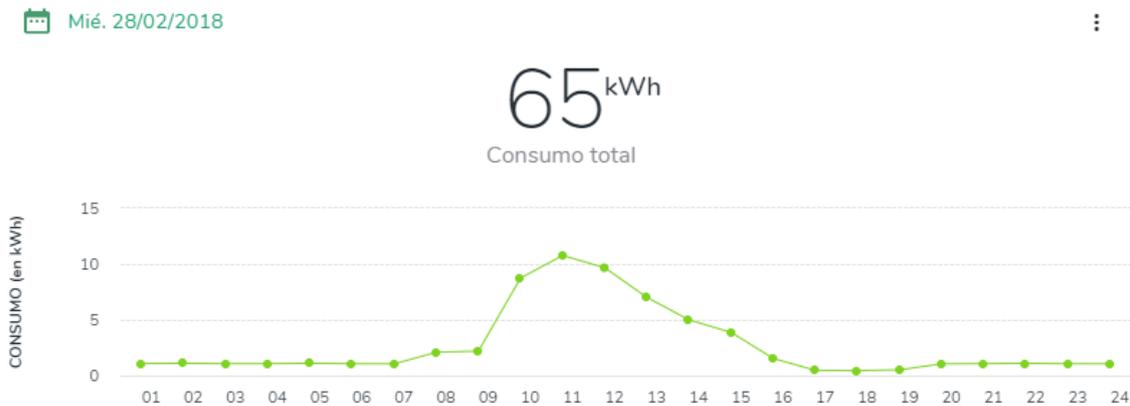
El centro de día de Betxí se encuentra en la Calle Moncofa, 1. Los datos de la curva de demanda del Centro de Día de Betxí indican que existe un consumo base constante durante todo el año cercano a 1 kWh, y que durante algunos meses del año éste aumenta, alcanzando los valores máximos en los primeros meses del año.



Gráfica 28 Consumo horario a lo largo de 2018 en kWh del Centro de día. Fuente: I-DE

Se puede observar en la gráfica algunas lecturas nulas, pero únicamente son 98 de las 8.760 lecturas anuales, lo que supone aproximadamente el 1%. Estas lecturas erróneas, como en algunos de los edificios anteriores, pueden ser estimadas en base a los valores registrados el resto de los días del año.

Analizando el consumo de varios días se puede observar que principalmente éste se produce desde las 09:00h hasta las 16:00h:



Gráfica 29: Perfil consumo diario del Centro de día. Día 28/02/2018. Fuente y elaboración: I-DE

Si se analiza el consumo a lo largo del mes, se puede comprobar que el consumo es mayor de lunes a viernes, mientras que disminuye los fines de semana. No obstante, existe bastante variabilidad de consumo entre varios días del mismo mes, llegando incluso a duplicarse.



Gráfica 30: Evolución del consumo diario del Centro de día. Febrero 2018. Fuente y elaboración: I-DE

En el Centro de Día casi la mitad de la energía consumida (46%) se consume en horas sin radiación solar (de 20:00 a 08:00h). Sin embargo, la mayoría (58%) se consume en los meses con menor radiación solar.

En resumen, del listado inicial de edificios, teniendo en cuenta las consideraciones que se han tenido en cuenta, únicamente se va a analizar la viabilidad técnico-económica de la instalación de un Sistema Renovable Híbrido de 6 edificios:

DIRECCIÓN CUPS	EDIFICIO	Potencia máxima (kW)	Consumo 2018 (kWh)	Análisis viabilidad
1. Plza MAYOR, 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	AYUNTAMIENTO	17,49	22.635,17	SÍ
2. Plza MANUEL ESCOBEDO, 7 , BAJO , 1 12549-BETXI - CASTELLON	CASAL JOVE	5,01	654,89	NO
3. C/ DOCTOR ORTELLS, 1 12549-BETXI - CASTELLON	CASA DE LA CULTURA	16,38	9.287,74	NO
4. CAMINO ONDA, 2 12549-BETXI - CASTELLON	CENTRE D'OCI 3ª EDAT	35,09	13.684,07	NO
5. C/ ONDA, 32 12549-BETXI - CASTELLON	ESCOLA INFANTIL	6,37	10.292,89	SÍ
6. C/ PIO XII, 47 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	ALMACÉN MUNICIPAL	9,47	11.841,08	SÍ
7. Avda SANT JOSEP OBRER, 40 12549-BETXI - CASTELLON	ESCOLA FORMACIÓ ADULTS	12,11	3.856,63	NO
8. C/ ALFONSO FRANCH, 50 12549-BETXI - CASTELLON	POLIDEPORTIVO	19,89	30.299,14	SÍ
9. Avda PRIMERO DE MAYO, 1 , 1 12549-BETXI - CASTELLON	JUZGADO DE PAZ	6,14	7.995,05	SÍ
10. Avda REINA APOSTOLES, 99 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	CEMENTERIO	5,23	285,34	NO
11. C/ MONCOFAR, S/N 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	CENTRO DE DÍA	10,77	9.950,88	SÍ

Tabla 6: Edificios de Betxí cuya viabilidad será analizada

EDIFICIO	% Energía consumida entre las 08:00 y las 20:00h	% Energía consumida de abril a septiembre
AYUNTAMIENTO	76%	45%
ESCOLA INFANTIL	67%	43%
ALMACÉN MUNICIPAL	75%	47%
POLIDEPORTIVO	51%	63%
JUZGADO DE PAZ	64%	39%
CENTRO DE DÍA	54%	42%

Tabla 7: Indicadores energéticos de los edificios municipales a analizar

2.4.2. Tarifas eléctricas de los edificios municipales

Otro parámetro que es necesario conocer para poder comparar económicamente las diferentes opciones de Sistemas Renovables Híbridos es el coste de la electricidad que se está pagando en la actualidad. Para los edificios municipales, el Ayuntamiento de Betxí tienen contratados dos tipos de suministros eléctricos en función de la potencia instalada.

Para aquellos puntos de suministro que supera los 10 kW de potencia contratada, el Ayuntamiento de Betxí tiene contratados sus suministros eléctricos con el tipo de contrato "TUR para consumidores sin derecho a PVPC que transitoriamente no disponen de un contrato de suministro".

Este tipo de contrato se aplica a aquellos consumidores que no tienen derecho al Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC), ya que tienen más de 10kW contratados, pero que no han formalizado un contrato de suministro en libre mercado con cualquier empresa comercializadora. En estos casos la energía eléctrica es suministrada por la comercializadora de referencia correspondiente a la distribuidora de la zona.

En España en la actualidad existen ocho comercializadoras de referencia repartidas por toda la geografía. En el caso de Betxí, en la Provincia de Castellón, la comercializadora de referencia es Iberdrola Comercializadora de Último Recurso S.A.U.

Los suministros del Ayuntamiento de Betxí que cuentan con este tipo de contrato tienen una tarifa de acceso 3.0A. De los edificios municipales que se están analizando, los que cuentan con este tipo de contrato son el Ayuntamiento, el Polideportivo y el Centro de Día.

Los costes de facturación que se aplican en estos puntos de suministro son los siguientes:

Periodo	Peaje acceso potencia (€/kW)	Término de energía (€/kWh)
Punta	4,4164	0,1209
Llano	2,7737	0,1115
Valle	1,9523	0,0994

Tabla 8: Costes de facturación para los edificios municipales que no se acogen al PVPC

Por otra parte, aquellos puntos de suministro con una potencia contratada menor a 10kW se acogen al PVPC. El PVPC es el sistema que ha implantado la Administración para establecer un sistema de fijación del precio de la energía.

El precio de la energía fluctúa cada día y cada hora y lo establece el Ministerio de Industria Comercio y Turismo.

Dado que el precio varía en función de cada hora y día, para realizar las simulaciones en HOMER será necesario realizar una aproximación y se considerará como precio de la energía la media anual del año 2018. El precio del término de potencia está fijado en 38,043426 €/kW-año correspondiente al peaje de acceso, más 4 €/kW-año correspondiente al margen de comercialización.

Peaje acceso potencia (€/kW)	Término de energía (€/kWh)
4,2394	0,1507

Tabla 9: Costes de facturación para los edificios municipales que se acogen al PVPC

Como se puede observar, el precio de la energía es más elevado en el contrato PVPC, sin embargo, el término de potencia es algo menor. De entre los edificios analizados, los que cuentan con un contrato tipo PVPC son la Escuela Infantil, el almacén municipal y el juzgado de paz.

En resumen:

DIRECCIÓN CUPS	EDIFICIO	Potencia máxima contratada (kW)	Tarifa contratada
1. Plza MAYOR, 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	AYUNTAMIENTO	15	TUR 3.0A
5. C/ ONDA, 32 12549-BETXI - CASTELLON	ESCOLA INFANTIL	8	PVPC 2.0A
6. C/ PIO XII, 47 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	ALMACÉN MUNICIPAL	9.2	PVPC 2.0A
8. C/ ALFONSO FRANCH, 50 12549-BETXI - CASTELLON	POLIDEPORTIVO	19.8	TUR 3.0A
9. Avda PRIMERO DE MAYO, 1 , 1 12549-BETXI - CASTELLON	JUZGADO DE PAZ	6.6	PVPC 2.0A
13. C/ MONCOFAR, S/N 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	CENTRO DE DÍA	20	TUR 3.0A

Tabla 10: Potencia máxima contratada y tarifa contratada de cada edificio

2.5. LEGISLACIÓN Y NORMATIVA VIGENTE

Adicionalmente al análisis de viabilidad técnico-económico, también es necesario estudiar y analizar la legislación vigente que es de aplicación a este tipo de instalaciones, ya que en muchas ocasiones presentan tanto limitaciones como incentivos.

España fue uno de los primeros países del mundo en incentivar la producción de energía mediante fuentes de energía renovables, ofreciendo primas a aquellos usuarios que decidieran instalar placas solares fotovoltaicas. Sin embargo, con el RD 900/2015 se estableció el peaje de respaldo que era obligatorio pagar al permanecer conectado a la red eléctrica, pese a que no se hiciera uso de ella, lo que ocasionó un gran desincentivo entre los usuarios debido a la incertidumbre que existía respecto al alcance real de dicho peaje.

Este peaje de respaldo (llamado comúnmente “impuesto al sol”) no era necesario pagarlo en el caso de que la instalación estuviera completamente aislada de la red eléctrica, ya que, al no existir capacidad física de conexión a la red eléctrica, el RD no le es de aplicación.

Para aquellas instalaciones que sí que lo estuvieran, el RD 900/2015 contemplaba dos tipos de autoconsumo:

- Autoconsumo Tipo 1: aquellas destinadas al consumo propio, no inscrita en el Registro de Productores. El punto de suministro y las instalaciones de generación deben estar a nombre de la misma persona, por lo que no es posible contar con una instalación común que suministre energía a todos los vecinos de un bloque de viviendas o una urbanización. Se precisa de un punto de conexión a red, y en el caso de que se vierta energía ésta no será remunerada.
- Autoconsumo Tipo 2: en este caso sí que se diferencian dos sujetos, el consumidor y el productor, por lo que será necesario que la instalación esté inscrita en el Registro de Productores. La instalación deberá estar conectada a la red eléctrica, pero esta vez sí que podrá cobrar por el excedente energético volcado a la red.

El 5 de octubre de 2018 entró en vigor el Real Decreto-Ley 15/2018 de “Medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores” que presenta una serie de novedades enfocadas, entre otros aspectos, a impulsar el autoconsumo energético. A continuación, se va a proceder a analizar los principales cambios introducidos, sin embargo, cabe destacar que el nuevo decreto permite el autoconsumo compartido por varios consumidores, pone fin a los cargos o peajes a la energía autoconsumida de origen renovable y permite el balance neto.

Respecto a los tipos y clasificación de autoconsumos el nuevo RD dice lo siguiente en el artículo 9:

“1. A los efectos de esta Ley, se entenderá por autoconsumo el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de producción próximas a las de consumo y asociadas a los mismos.

- a) *Modalidades de suministro con autoconsumo sin excedentes. Cuando los dispositivos físicos instalados impidan la inyección alguna de energía excedentaria a la red de transporte o distribución. En este caso existirá un único tipo de sujeto de los previstos en el artículo 6, que será el sujeto consumidor*

b) *Modalidades de suministro con autoconsumo con excedentes. Cuando las instalaciones de generación puedan, además de suministrar energía para autoconsumo, inyectar energía excedentaria en las redes de transporte y distribución. En estos casos existirán dos tipos de sujetos de los previstos en el artículo 6, el sujeto consumidor y el productor.*

2. Reglamentariamente se desarrollará el concepto de instalaciones próximas a efectos de autoconsumo. En todo caso se entenderán como tales las que estén conectadas en la red interior de los consumidores asociados, estén unidas a estos a través de líneas directas o estén conectadas a la red de baja tensión derivada del mismo centro de transformación.”

Únicamente se diferencian los tipos de autoconsumo en si se producen o no excedentes en el autoconsumo, y en si existe un sujeto productor o no.

El principal cambio que establece el nuevo RD es el autoconsumo compartido por instalaciones próximas. Se considerarán instalaciones próximas las conectadas a la red interior de los consumidores asociados para consumir y producir, las líneas directas entre el consumidor y el productor o las conectadas a un mismo centro de transformación.

De esta manera, se abre la posibilidad de que los vecinos de un mismo bloque, urbanización, polígono, etc. se llegue a un acuerdo para la producción de energía mediante fuentes renovables, o incluso mediante la utilización de espacio público (azoteas de edificios, pérgolas en parques, etc.).

Respecto a los peajes y el balance neto, en el mismo artículo, pero más adelante se indica lo siguiente:

“5. La energía autoconsumida de origen renovable, cogeneración o residuos estará exenta de todo tipo de cargos y peajes. [...]

Sin perjuicio de lo anterior, reglamentariamente podrán desarrollarse mecanismos de compensación simplificada entre déficits de los autoconsumidores y excedentes de sus instalaciones de producción asociadas, que en todo caso estarán limitados a potencias de estas no superiores a 100 kW.”

De esta manera se elimina el llamado “impuesto al sol” y se abre la puerta a la implantación del Balance Neto, que permitiría compensar la energía demandada a la red en momentos puntuales con el excedente que se ha vertido a la red en las horas de mayor producción.

También cabe destacar que con los cambios introducidos se han agilizado los trámites, tanto con la administración como con las empresas distribuidoras, especialmente en las instalaciones de menos de 100kW de potencia instalada, que son el caso que aplica en los edificios municipales de Betxí.

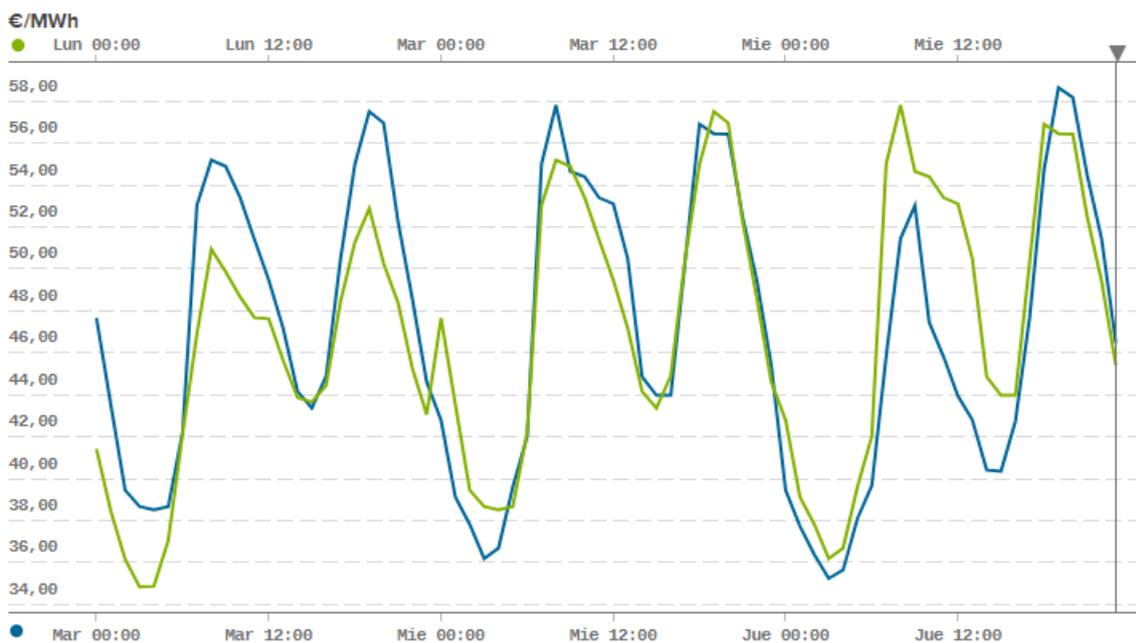
En el caso que se está analizando en el presente trabajo (edificios municipales de Betxí), al tratarse de un entorno urbano, el tipo de autoconsumo que se contempla es el conectado a red. Ya que en un entorno urbano el acceso a la red está garantizado, por lo que aislar la instalación supondría un sobrecoste innecesario debido a los sistemas de almacenamiento de energía. Por otra parte, todos los edificios analizados son de titularidad municipal de uso exclusivo por parte del Ayuntamiento de Betxí, por lo que se descarta el autoconsumo compartido.

Por otra parte, pese a que con los últimos cambios se ha abierto la puerta al Balance Neto, éste aún no es una realidad en España, por lo que a la hora de realizar las simulaciones en HOMER se ha optado por considerar la compensación simplificada.

El mecanismo de compensación simplificada se define en el artículo 14 del Real Decreto 244/2019 del 5 de abril, y establece que para aquellos suministros que dispongan de contrato con una comercializadora de referencia (como es el caso de los del Ayuntamiento de Betxí) la energía horaria excedentaria “será valorada al precio medio horario, Pmh; obtenido a partir de los resultados del mercado diario e intradiario en la hora h, menos el coste de los desvíos CDSVh, definidos en los artículos 10 y 11 respectivamente del Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo.”

El Sistema de Información del Operador del Sistema (E-SIOS), ya recoge en la página web de Red Eléctrica de España las estadísticas del precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada

Como se puede observar a continuación, el precio es variable, por lo que se ha considerado un precio medio de 45€/MWh.



Gráfica 31: Precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada el 14/11/2019 (azul) y el 13/11/2019 (verde)

Los precios medios de la energía excedentaria son 46,47 €/MWh el 14/11/2019 (azul) y 45,40 €/MWh el 13/11/2019 (verde).

2.6. ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DISPONIBLES

Una vez se ha realizado un análisis del municipio, de los recursos que se dispone, y de las demandas de los diferentes edificios, el siguiente paso a seguir es realizar un análisis, tanto técnico como económico, de las diferentes alternativas que ofrece el mercado para las tecnologías que se ha optado por estudiar: solar fotovoltaica y eólica. En ambos casos será necesaria la instalación de un inversor de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA), ya que tanto los aerogeneradores como los módulos fotovoltaicos producen electricidad en corriente continua, pero la demandada en los edificios municipales es en alterna.

También se estudiará la posibilidad de instalar generadores diesel como sistemas auxiliares, para comprobar qué es más ventajoso, o bien la instalación del generador o bien mantenerse conectado a la red eléctrica.

Por último, también se estudiará la viabilidad técnico-económica de la instalación de baterías que absorban un posible exceso de producción.

Por lo tanto, los elementos que deben contemplarse son:

- Módulos fotovoltaicos
- Aerogeneradores
- Inversores
- Baterías
- Reguladores de carga
- Generador Diesel

Estos elementos seguirían la siguiente disposición. Por una parte, los paneles fotovoltaicos y los aerogeneradores generarían energía en corriente continua. Dicha energía o bien cargaría las baterías, o bien alimentaría el inversor, que transformaría la energía a corriente alterna. El consumo del edificio se supliría gracias a la energía en alterna aportada por el inversor, por la red, y por el generador Diesel.

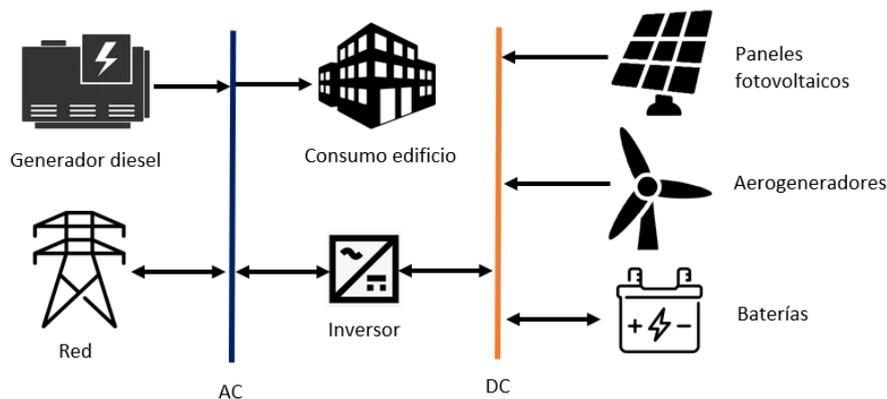


Ilustración 1: Esquema genérico de la instalación

A continuación, se va a proceder a describir brevemente en qué consiste cada elemento, cuál es su función y cuál es su coste aproximado. El estudio detallado de los costes se realizará una vez se defina cuál es la solución en cada uno de los edificios.

2.6.1. Módulos fotovoltaicos

Los paneles solares son los elementos capaces de producir energía eléctrica gracias a la radiación solar que incide sobre ellos gracias al efecto fotoeléctrico. Existen varios tipos de paneles, pero para el caso de estudio se ha optado por módulos monocristalinos, ya que, pese a que su coste es mayor, también lo es su eficiencia. Por lo tanto, dado que en algunos edificios municipales el espacio disponible para su instalación es realmente bajo, se ha optado por aquéllos que tienen una mayor eficiencia.

En concreto se ha optado por la Placa Solar A-330M ATERSA ULTRA. ATERSA es una empresa líder en el sector fotovoltaico, con más de 35 años de experiencia, tanto en la producción y distribución de componentes, como en el desarrollo, diseño y construcción de instalaciones.

El panel seleccionado pertenece a la gama de paneles más potentes de su catálogo y es el más utilizado para instalaciones de alto rendimiento bajo cualquier nivel de irradiación.

El módulo solar fotovoltaico ULTRA A330M de 330Wp monocristalino tiene una eficiencia del 16,96% y se compone de 72 células de silicio monocristalino, encapsuladas entre un cristal de alta transmisividad, que le permite aprovechar toda la luz proyectada por el sol, y una capa posterior de poliéster modificado.

El coste de los paneles es el siguiente:

Modelo	Potencia (W)	Coste equipo
A-330M ATERSA ULTRA	330	256,69 €

Tabla 11: Coste paneles solares. Fuente: Atersa shop

2.6.2. Aerogeneradores

Un aerogenerador es un dispositivo cuyo fin es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice, que a su vez es transformada en energía eléctrica gracias a un alternador.

La instalación que se propone para el estudio en los edificios municipales de Betxí es lo que se denomina minieólica. La energía minieólica se caracteriza por el aprovechamiento del recurso utilizando aerogeneradores de potencia menor a 100kW y con un área de barrido inferior a los 200 m².

Debido a su versatilidad y fácil instalación, esta tecnología presenta numerosas ventajas como pueden ser el suministro de energía en zonas aisladas de la red eléctrica y el fomento de los sistemas de generación distribuida (reduciendo así las pérdidas por transporte).

Los aerogeneradores seleccionados para el estudio de los diferentes escenarios son del fabricante BORNAY. Se trata de un fabricante valenciano (Castalla), con 45 años de experiencia en el sector y que mantiene acuerdos de colaboración con la Universitat Politècnica de València (UPV) para el desarrollo de sus productos.

En concreto, se ha seleccionado la gama Wind+, ya que son unos aerogeneradores de última generación que cuentan con la más avanzada tecnología en minieólica.

A continuación, se adjuntan las principales características de los modelos disponibles:

Especificaciones técnicas	Wind 13+	Wind 25.2+	Wind 25.3+
Número de hélices	2	2	3
Diámetro	2,86 m	4,05 m	4,05 m
Material	Fibra de vidrio / Fibra de carbono		
Dirección de rotación	En sentido contrario a la agujas del reloj		

Especificaciones eléctricas

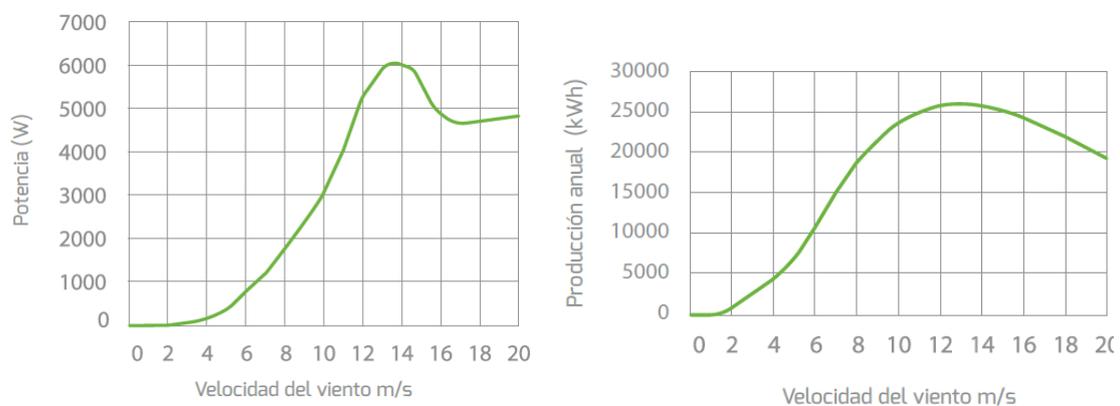
Alternador	Trifásico de imanes permanentes		
Imanes	Neodimio		
Potencia nominal	1500 W	3000 W	5000 W
Voltaje nominal	220 v	220 v	220 v
RPM nominal	600	400	400

Velocidad de viento

Rango de funcionamiento	2 - 30m/s
Arranque	3 m/s
Potencia nominal	12 m/s
Frenado automático	14 m/s
Máxima	60 m/s

Tabla 12: Características técnicas aerogeneradores BORNAY. Fuente: BORNAY

La producción de energía de los aerogeneradores depende de la energía del viento en cada momento. Se adjuntan a continuación las curvas de funcionamiento del modelo IND 25.3+. Como se puede observar, las velocidades de viento que en el apartado 3.2.2. Recurso eólico se ha visto que son mayoritarias (entre 3 y 6 m/s) entran dentro del rango de trabajo del aerogenerador.



Gráfica 32: Curvas de funcionamiento del aerogenerador BORNAY WIND 25.3+

Respecto a los costes asociados a la inversión inicial, al reemplazo del aerogenerador y a la operación y mantenimiento (OM), se ha considerado los costes del material, de la mano de

obra y del pequeño material necesario para la instalación. Una de las principales ventajas que presentan las instalaciones minieólicas es su poco mantenimiento; según el propio fabricante, únicamente es necesaria una visita anual consistente en una inspección visual de los elementos móviles y un reapriete de toda la tornillería.

Modelo	Potencia (kW)	Coste equipos
BORNAY WIND 13+	1,5	4.718,00 €
BORNAY WIND 25,2+	3	6.218,00 €
BORNAY WIND 25,3+	5	8.518,00 €

Tabla 13: Costes aerogeneradores. Elaboración propia

Adicionalmente, es necesario añadir el dispositivo Wind+ Interface que es el encargado de controlar la energía producida por el aerogenerador y entregarla en corriente continua al inversor de conexión a red. Existen dos modelos en función del aerogenerador que se desee instalar:

Modelo	Coste equipos
Interface Wind 13 + Conexión Red	995,00 €
Interface Wind 25 + Conexión Red	1.095,00 €

Tabla 14: Costes interface Wind+. Elaboración propia

2.6.3. Inversores

Los inversores son un elemento de vital importancia en las instalaciones de autoconsumo, ya que son los encargados de transformar la corriente continua producida por el sistema renovable de producción de energía (módulos fotovoltaicos o aerogeneradores) y la almacenada en las baterías en corriente alterna, que es la demandada por las instalaciones de los diferentes edificios municipales de Betxí y por la red eléctrica.

Se ha seleccionado un inversor de conexión a red, ya que son los más adecuados para un sistema sin baterías.

El inversor seleccionado es el modelo SUNNY BOY del fabricante SMA. Se ha optado por este inversor debido a su alto rendimiento con un precio muy competitivo y al amplio rango de potencias que ofrece, lo que permite cubrir una gran variedad de instalaciones. Presenta varias opciones con potencias desde 1,5 hasta 5 kW de salida. Los precios de cada una de ellas son:

Modelo	Coste equipos
SUNNY BOY 1,5kW	655,44 €
SUNNY BOY 2,5kW	882,09 €
SUNNY BOY 3kW	1.091,25 €
SUNNY BOY 4kW	1.220,59 €
SUNNY BOY 5kW	1.309,56 €

Tabla 15: Costes inversores. Fuente: Atersa.shop

2.6.4. Baterías

En los sistemas de generación de energía basados en energías renovables aislados de la red se requiere de sistemas de almacenamiento de energía que hagan posible el aprovechamiento total de la energía producida, ya que no se puede acoplar la generación (que depende de los recursos naturales) a la demanda.

Sin embargo, tal y como se ha indicado en el apartado anterior, debido a que las localizaciones que se están contemplando en el presente trabajo se encuentran en todos los casos en entornos urbanos, no se ha contemplado la posibilidad de instalar sistemas de almacenamiento de energía, ya que encarecen la instalación de manera innecesaria. Al tratarse de edificios que ya cuentan con conexión a la red, en el caso de que los sistemas de generación de energía renovable no pudieran cubrir la demanda en algún momento del día, ésta será cubierta gracias a la energía aportada por la red.

2.6.5. Reguladores de carga

Al no considerarse la instalación de baterías tampoco será necesaria la instalación de reguladores de carga.

2.6.6. Generador Diesel

Los generadores Diesel son elementos que generan energía eléctrica a través de la combustión de combustible Diesel. Este tipo de elementos son utilizados en instalaciones aisladas de la red como sistema auxiliar para aquellas ocasiones en las que los sistemas de generación eléctrica renovables no pueden cubrir la demanda y los sistemas de almacenamiento (si los hubiere) se encuentren descargados.

Como se ha indicado en el apartado correspondiente al análisis de la legislación y la normativa vigente, el 5 de octubre de 2018 entró en vigor el Real Decreto-Ley 15/2018 de “Medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores” en el que se eliminaban los peajes a las instalaciones de autoconsumo y en el que se abría la puerta al Balance Neto.

Es por ello por lo que, como los edificios que se van a estudiar se encuentran en zonas electrificadas, no se contempla la necesidad de instalación de generadores auxiliares, ya que la instalación estará conectada a la red y consumirá de ella cuanto energía necesite.

2.7. ANÁLISIS DE COSTES

En el apartado anterior se han descrito los diferentes componentes de la instalación que se han considerado para realizar las simulaciones y se ha indicado cuál es el precio de dichos equipos.

Sin embargo, a la hora de realizar las simulaciones en HOMER es necesario realizar un análisis de costes previos que permita a la herramienta establecer cuál es la mejor solución posible y cuál es su rentabilidad.

Para ello, más allá del coste de los equipos que ya se ha indicado, es necesario contemplar todos los costes asociados a la instalación (maquinaria y mano de obra), material auxiliar, etc. En el presente apartado se va a realizar un análisis de costes previo que será común a todos los escenarios y edificios que se van a analizar. Una vez realizadas las simulaciones y establecidas las soluciones óptimas, se realizará un presupuesto completo de cada una de ellas tenidas en cuenta en su conjunto. De esta manera, teniendo en cuenta todas las soluciones finales en su conjunto se pueden aprovechar sinergias, tanto en la compra de material como en la instalación de los elementos, ya que cuanto mayor es el volumen de compra de material mayores descuentos pueden aplicar los fabricantes y distribuidores.

Por otra parte, cabe destacar que cuanto mayor sea el tamaño de la instalación, más se podrán aprovechar algunos costes, reduciendo de esta manera el coste unitario del kW instalado. Esto se debe o bien a que muchos de los costes son fijos, por lo que, al repercutirse en el total de la instalación, el coste unitario se reduce. O bien a que, al realizar compras de mayor volumen a un fabricante, éste aplica descuentos directos en el precio. Todos los materiales que se han considerado son del mismo proveedor (Atersa), posibilitando de esta manera la aplicación de mayores descuentos.

A continuación, se adjunta el estudio de costes preliminar para instalaciones fotovoltaicas- En él se han considerado el coste de los paneles fotovoltaicos, así como de las estructuras necesarias para su sustentación e inclinación, el coste de los inversores, así como el material auxiliar como cableado, herrajes, etc. (estimado en el 5% del total del material).

Por otra parte, se ha tenido en cuenta el coste del camión-grúa necesario para elevar todo el material al lugar de la instalación (azoteas y tejados). El coste del camión-grúa es por día, por lo que se ha considerado el mismo coste para una instalación con 16 paneles y para una instalación para 62.

También se ha considerado el coste de mano de obra. El rendimiento medio de una brigada de 3 trabajadores es de instalar 50 paneles fotovoltaicos (y su estructura) al día. Sin embargo, un inconveniente de las instalaciones pequeñas es que el tiempo de trabajo es tan bajo, que la mayor parte del tiempo se emplea en el traslado al lugar de la instalación y subiendo los materiales a la azotea.

Potencia	5,28	10,56	15,84	20,46
Nº Paneles	16	32	48	62
Coste paneles	4.107,04 €	8.214,08 €	12.321,12 €	15.914,78 €
Coste inversor	1.091,25 €	2.182,50 €	3.273,75 €	3.928,68 €
Coste estructuras	1.051,82 €	2.090,24 €	3.097,27 €	4.018,76 €
Mat. Auxiliar (5%)	340,11 €	666,14 €	933,54 €	1.161,55 €
Coste materiales	7.142,30 €	13.988,84 €	19.604,39 €	24.392,49 €
Dto volumen de compra	2%	5%	5%	8%
Coste materiales REAL	6.453,82 €	12.455,60 €	18.656,29 €	23.050,90 €

Camión-Grúa	150,00 €	150,00 €	150,00 €	150,00 €
Mano de obra	312,00 €	624,00 €	624,00 €	936,00 €
Coste instalación	462,00 €	774,00 €	774,00 €	1.086,00 €

Coste total	6.915,82 €	13.229,60 €	19.430,29 €	24.136,90 €
Coste unitario (€/kW)	1.309,81 €	1.252,80 €	1.226,66 €	1.179,71 €

Tabla 16: Costes asociados a las instalaciones fotovoltaicas

Como se puede observar, el coste unitario del kW instalado se ve sensiblemente reducido conforme mayor es el tamaño de la instalación, debido a la optimización de costes y al descuento en la compra del material.

Respecto a las instalaciones de minieólica, además del coste de los aerogeneradores, deben de tenerse en cuenta los costes de los soportes y de la obra civil asociada.

En el caso del soporte se ha considerado una columna de plástico reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V.). Este material presenta una serie de ventajas respecto a los soportes metálicos que, pese a que tiene un mayor coste, lo hace más apropiado para el tipo de aplicaciones que se está considerando.

La principal ventaja es la seguridad eléctrica, ya que es al ser un material aislante eléctrico (clase II) se evita por completo el riesgo de electrocución por contacto indirecto. El riesgo eléctrico por contacto directo está descartado debido a la altura de la instalación del aerogenerador. Este hecho es especialmente importante en el caso que se está estudiando ya que estaría ubicado en entornos urbanos e incluso en recintos cerrados al alcance de las personas que hacen uso de ellos.

Otras ventajas que presenta este material es su durabilidad, ya que no puede corroerse, y su ligereza, lo que facilita su transporte e instalación.

Potencia (kW)	1.5	3	5	10
Coste aerogeneradores	4.718,00 €	6.218,00 €	8.518.00 €	17.036,00 €
Columna PRFV 12m	780,00 €	780,00 €	780.00 €	1.560,00 €
Portes	400,00 €	400,00 €	400.00 €	400,00 €
Interface Wind	995,00 €	1.095,00 €	1.095.00 €	1.095,00 €
Mat. Auxiliar (5%)	344,65 €	424,65 €	539.65 €	1.004,55 €
Coste materiales	7.237,65 €	8.917,65 €	11.332.65 €	21.095,55 €

Cimentación	120,00 €	120,00 €	120,00 €	240,00 €
Arqueta	90,00 €	90,00 €	90,00 €	180,00 €
Canalización subterránea	500,00 €	500,00 €	500,00 €	500,00 €
Camión-grúa	120,00 €	120,00 €	120,00 €	121,00 €
Mano de obra	416,00 €	416,00 €	416,00 €	832,00 €
Coste instalación	1.246,00 €	1.246,00 €	1.246,00 €	1.873,00 €

Coste total	8.483,65 €	10.163,65 €	12.578,65 €	22.968,55 €
€/kW	5.655,77 €	3.387,88 €	2.515,73 €	2.296,86 €

Tabla 17: Costes asociados a las instalaciones eólicas

Se han considerado los costes para la instalación de un aerogenerador de 1,5, 3 y 5 kW, así como dos de 5 kW. En este caso, también se produce un descenso sensible en el coste unitario del kW instalado debido a la optimización de costes como el soporte o la obra civil asociada (arqueta de registro, cimentación y canalización subterránea).

3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.1. ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS

En el apartado **2.4. Datos de partida** se realizó un primer análisis de cada uno de los edificios municipales de Betxí que contaban con contador inteligente durante todo el año 2018 en el cual, teniendo en cuenta el número de valores nulos existentes en la curva de demanda anual y los patrones de consumo diario y mensual, se seleccionaron aquéllos que eran candidatos a realizar un estudio de viabilidad técnico-económica para la implantación de un Sistema Renovable Híbrido de generación de energía.

Por otra parte, en el apartado **2.2. Análisis del municipio** se estudiaron las posibles fuentes de energía renovables que podrían tomarse en consideración y se concluyó que las más factibles por disponibilidad, recurso disponible y tecnología eran la solar fotovoltaica y la eólica.

Por lo tanto, el primer paso a realizar en el estudio de viabilidad de la instalación de un Sistema Renovable Híbrido es analizar la posibilidad de instalación de una instalación solar fotovoltaica o eólica en cada uno de los edificios municipales.

A modo recordatorio, los edificios municipales que se habían considerado válidos para la realización de un análisis de la viabilidad técnico-económica son:

DIRECCIÓN CUPS	EDIFICIO	Potencia máxima (kW)	Consumo 2018 (kWh)	Análisis viabilidad
1. Plza MAYOR, 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	AYUNTAMIENTO	17,49	22.635,17	SÍ
5. C/ ONDA, 32 12549-BETXI - CASTELLON	ESCOLA INFANTIL	6,37	10.292,89	SÍ
6. C/ PIO XII, 47 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	ALMACÉN MUNICIPAL	9,47	11.841,08	SÍ
8. C/ ALFONSO FRANCH, 50 12549-BETXI - CASTELLON	POLIDEPORTIVO	19,89	30.299,14	SÍ
9. Avda PRIMERO DE MAYO, 1 , 1 12549-BETXI - CASTELLON	JUZGADO DE PAZ	6,14	7.995,05	SÍ
11. C/ MONCOFAR, S/N 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	CENTRO DE DÍA	10,77	9.950,88	SÍ

Tabla 18: Edificios municipales objeto de análisis de viabilidad

1. Ayuntamiento

El edificio del Ayuntamiento de Betxí se encuentra ubicado en el centro de la población, y no dispone de un terreno adyacente disponible para la instalación de paneles solares fotovoltaicos o aerogeneradores. La única opción factible sería la instalación de los paneles solares en la azotea del edificio.

El ayuntamiento cuenta con dos plantas y una azotea de 100 m² de superficie. Sin embargo, en la azotea cuenta también con un lucernario y un habitáculo de unos 30 m², por lo que la superficie útil para la instalación fotovoltaica sería de 70 m².



Ilustración 2: Vista aérea del Ayuntamiento de Betxí. Fuente: Google Maps

Como se puede observar en la imagen, el lucernario se encuentra en la esquina suroeste de la azotea, por lo que, al tener una altura elevada será necesario realizar un análisis de las sombras ocasionadas y estudiar la posible afección que tendría a las horas de incidencia solar a los paneles solares fotovoltaicos.

3.1.1. Análisis de afecciones por sombra en la cubierta del Ayuntamiento de Betxí

Para el estudio de instalaciones fotovoltaicas en entornos urbanos, más allá de la radiación disponible en la zona (recurso solar) y de la disponibilidad de una superficie sobre la que instalar los paneles fotovoltaicos, también es de vital importancia la realización de un análisis de las posibles pérdidas que pueden generar las sombras producidas por otros elementos del entorno o edificios cercanos de mayor altura. Un entorno no adecuado puede reducir considerablemente la radiación que incide sobre los paneles fotovoltaicos, haciendo que una instalación sea rentable o no.

Observando la ilustración anterior de la vista aérea del Ayuntamiento de Betxí se puede ver la existencia de un lucernario instalado sobre un cubículo que da acceso a la azotea. A su vez, dadas las pequeñas dimensiones de la azotea, también será necesario analizar las sombras ocasionadas por las paredes que la delimitan.

Las sombras se calculan estableciendo la elevación (β) y el azimut (α) de cada uno de los puntos que definen un obstáculo respecto del punto que se desea analizar.

La elevación se calcula de la siguiente manera:

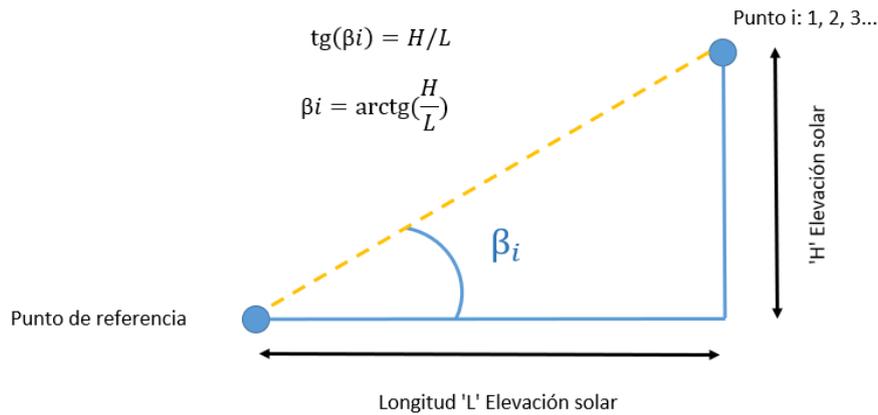
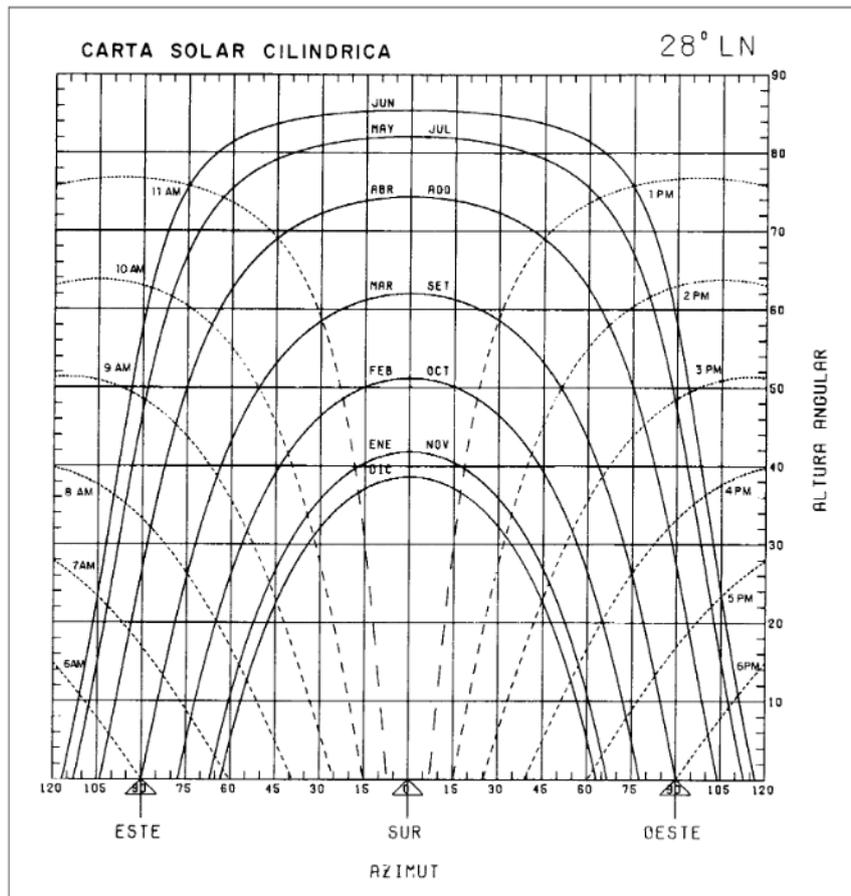


Ilustración 3: Cálculo de la elevación

Y el azimut es el ángulo que forma la posición de un punto respecto del sur. Si el objeto está al este, el ángulo será negativo, y si está oeste será positivo.

Una vez establecidos los valores de elevación y azimut, gracias a una carta solar cilíndrica se puede establecer el patrón de sombras y conocer en qué horas y en qué meses un objeto producirá sombras sobre un punto. El software CE3X proporciona un patrón de sombras en función de la localidad en la que se desee realizar la instalación y los valores de inclinación y azimut introducidos.

La carta solar cilíndrica es un diagrama que representa posición del sol durante todo el año vista desde un plano horizontal. Las curvas parabólicas representan los 12 meses del año y las transversales las horas solares. El eje vertical son las 12h.



Gráfica 33: Ejemplo de carta solar cilíndrica

Para realizar el análisis de las sombras se han establecido tres puntos diferentes y se han calculado las sombras en cada uno de ellos. Los puntos considerados son los siguientes:



Ilustración 4: Puntos sobre los que se realiza el análisis de sombras

Se ha realizado el plano en un software CAD y se han medido las distancias desde estos puntos hasta los puntos que conforman cada uno de los obstáculos.

En el caso del punto A, se han tenido en cuenta los siguientes obstáculos: pared este, pared sur y el lucernario. Gracias al software CAD se han calculado todas las distancias y ángulos que conforman con la dirección sur.

A modo de ejemplo, las sombras producidas por la pared este en el punto A se calcularían de la siguiente manera:

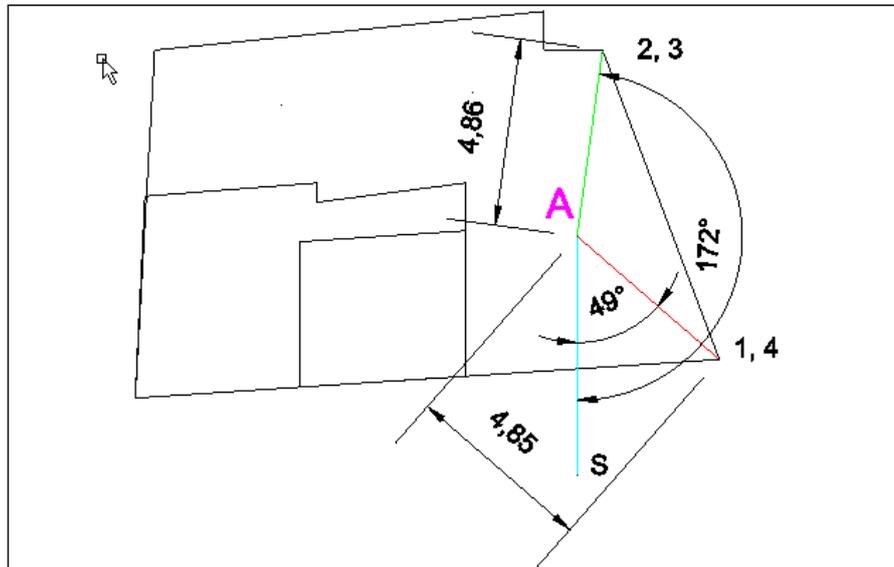


Ilustración 5: Acotaciones para el cálculo de las sombras producidas por la pared este en el punto A

En azul cian se ha establecido la dirección Sur y en verde y rojo se han marcado las líneas que unen el punto A con los 4 puntos que definen la pared oeste (1, 2, 3 y 4). Por último, se han medido las distancias entre los puntos A y 1, 2, 3 y 4, y el ángulo que forman respecto al sur.

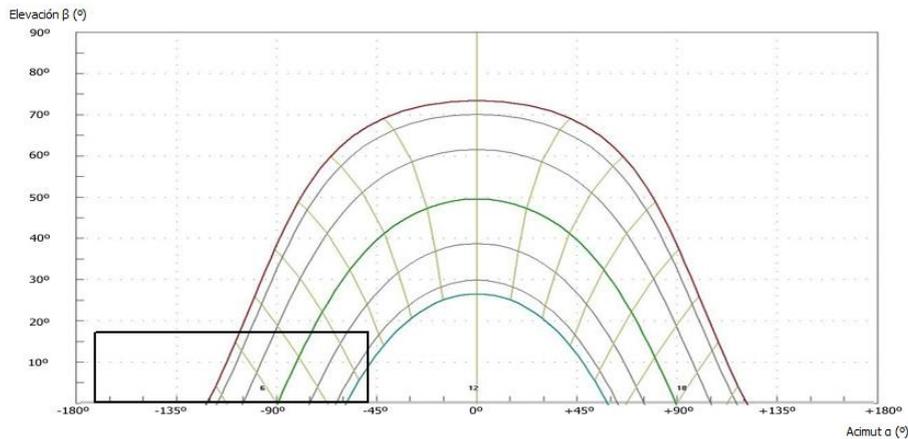
El siguiente valor que debemos considerar es la altura de cada punto respecto del punto A. En este caso los puntos 3 y 4 tienen una altura de 1,50 metros mayor que el punto A, mientras que los puntos 1 y 2 están a la misma altura.

Aplicando las relaciones trigonométricas que se han indicado anteriormente se pueden obtener fácilmente los valores de elevación y azimut de los 4 puntos.

PARED ESTE	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	4.85	0.00	0.00	0.00	-49.00
2	0.00	4.86	0.00	0.00	0.00	-172.00
3	1.50	4.86	0.31	0.30	17.15	-172.00
4	1.50	4.85	0.31	0.30	17.19	-49.00

Tabla 19: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared este respecto del punto A

Al introducir estos valores en el software para la certificación energética de edificios existentes CE3X se puede observar el patrón de sombras que generará la pared oeste.



Gráfica 34: Patrón de sombras generado por la pared este en el punto A

Como se puede observar, durante todos los meses del año se producirán sombras en las primeras horas de la mañana.

Si se repite el mismo proceso para el resto de obstáculos, se obtienen los siguientes valores de elevación y acimut.

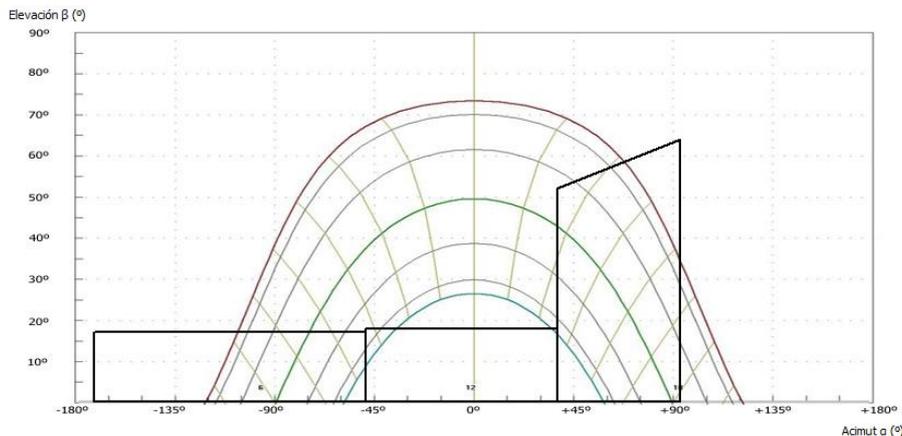
PARED SUR	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	4.85	0.00	0.00	0.00	-49.00
2	0.00	4.62	0.00	0.00	0.00	38.00
3	1.50	4.62	0.32	0.31	17.99	38.00
4	1.50	4.85	0.31	0.30	17.19	-49.00

Tabla 20: Elevación y acimut de los puntos que definen la pared sur respecto del punto A

LUCERNARIO	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	4.62	0.00	0.00	0.00	38.00
2	0.00	2.87	0.00	0.00	0.00	93.00
3	6.00	2.87	2.09	1.12	64.44	93.00
4	6.00	4.62	1.30	0.91	52.40	38.00

Tabla 21: Elevación y acimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto A

El patrón de sombras que generan los tres obstáculos es el siguiente:



Gráfica 35: Patrón de sombras en el punto A

Como se puede observar, la pared sur prácticamente no tiene ninguna incidencia, pero el lucernario sí, debido principalmente a su altura.

Aplicando el mismo procedimiento para el punto B se obtienen los siguientes valores de azimut y elevación.

PARED ESTE	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	9.36	0.00	0.00	0.00	-43.00
2	0.00	9.36	0.00	0.00	0.00	-108.00
3	1.50	3.51	0.43	0.40	23.14	-108.00
4	1.50	3.51	0.43	0.40	23.14	-43.00

Tabla 22: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared este respecto del punto B

PARED SUR	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	9.36	0.00	0.00	0.00	-43.00
2	0.00	7.33	0.00	0.00	0.00	2.00
3	1.50	7.33	0.20	0.20	11.57	2.00
4	1.50	9.36	0.16	0.16	9.10	-43.00

Tabla 23: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared sur respecto del punto B

LUCERNARIO	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	3.57	0.00	0.00	0.00	3.00
2	0.00	5.88	0.00	0.00	0.00	49.00
3	6.00	5.88	1.02	0.80	45.58	49.00
4	6.00	3.57	1.68	1.03	59.25	3.00

Tabla 24: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto B

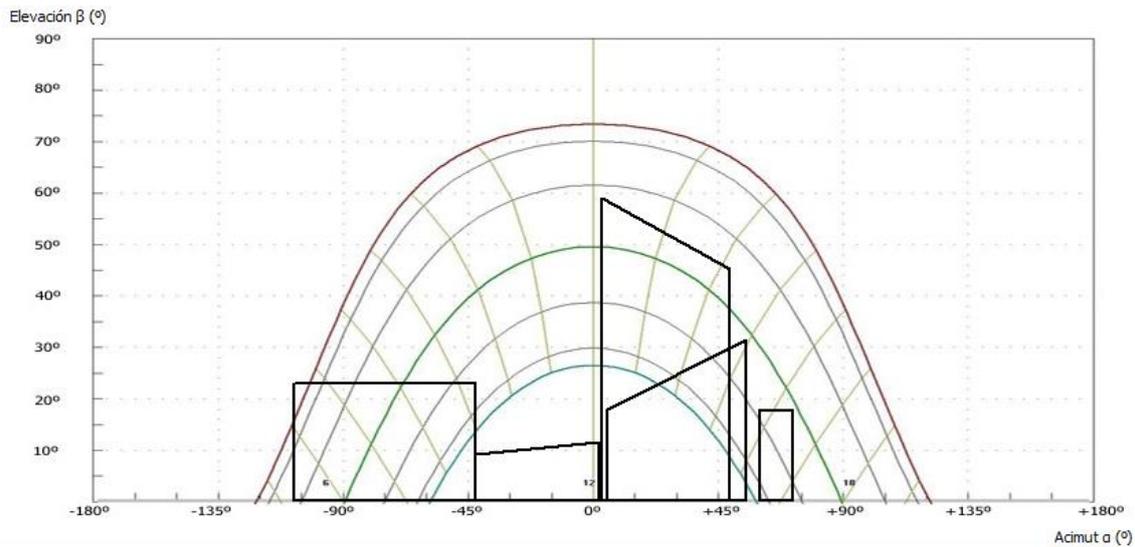
CUBICULO ESTE	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	2.33	0.00	0.00	0.00	5.00
2	0.00	4.90	0.00	0.00	0.00	55.00
3	3.00	4.90	0.61	0.55	31.48	55.00
4	3.00	2.33	0.32	0.31	17.99	5.00

Tabla 25: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared este del cubículo respecto del punto B

CUBICULO OESTE	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	4.60	0.00	0.00	0.00	60.00
2	0.00	8.83	0.00	0.00	0.00	72.00
3	3.00	8.83	0.34	0.33	18.77	72.00
4	3.00	4.60	0.32	0.31	17.99	60.00

Tabla 26: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared oeste del cubículo respecto del punto B

El patrón de sombras que se genera es el siguiente:



Gráfica 36: Patrón de sombras en el punto B

Se puede observar que, de nuevo, se producen sombras a primera hora de la mañana todos los meses del año, pero que también se producen en las horas posteriores al mediodía exceptuando los meses entre abril y agosto.

Por último, se ha analizado el punto C:

LUCERNARIO	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	5.72	0.00	0.00	0.00	-8.00
2	0.00	3.76	0.00	0.00	0.00	-55.00
3	6.00	3.76	1.60	1.01	57.93	-55.00
4	6.00	5.72	1.05	0.81	46.37	-8.00

Tabla 27: Elevación y acimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto C

CUBICULO ESTE	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	5.14	0.00	0.00	0.00	-20.00
2	0.00	2.68	0.00	0.00	0.00	-67.00
3	3.00	2.68	1.12	0.84	48.22	-67.00
4	3.00	5.14	0.32	0.31	17.99	-20.00

Tabla 28: Elevación y acimut de los puntos que definen la pared este del cubículo respecto del punto C

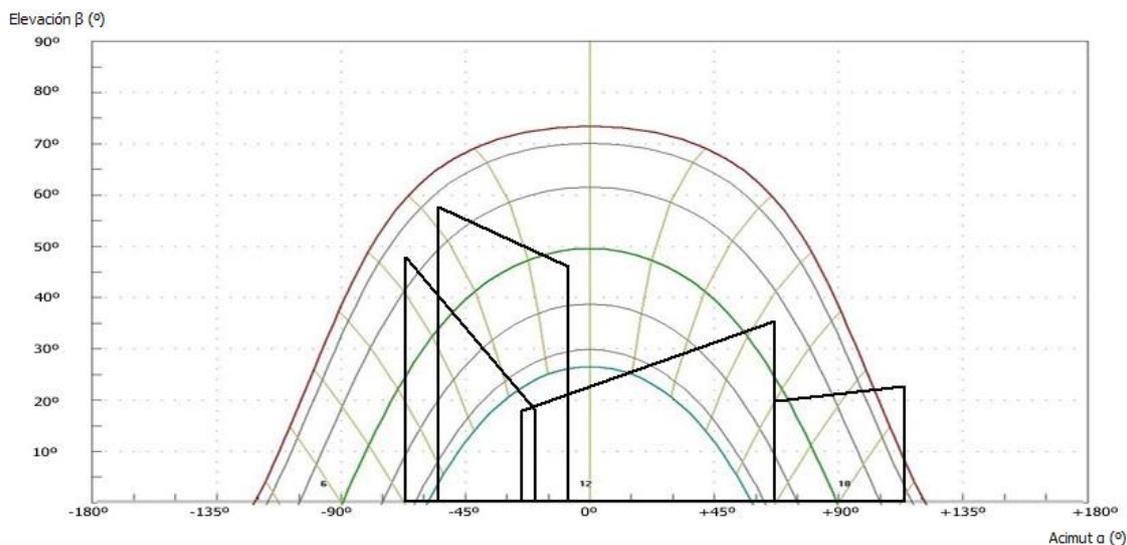
CUBICULO OESTE	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	2.21	0.00	0.00	0.00	-25.00
2	0.00	4.18	0.00	0.00	0.00	67.00
3	3.00	4.18	0.72	0.62	35.67	67.00
4	3.00	2.21	0.32	0.31	17.99	-25.00

Tabla 29: Elevación y acimut de los puntos que definen la pared oeste del cubículo respecto del punto C

PARED OESTE	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0.00	3.55	0.00	0.00	0.00	114.00
2	0.00	4.18	0.00	0.00	0.00	67.00
3	1.50	4.18	0.36	0.34	19.74	67.00
4	1.50	3.55	0.42	0.40	22.91	-43.00

Tabla 30: Elevación y azimut de los puntos que definen la pared oeste respecto del punto C

El patrón de sombras que se obtiene al introducir los valores anteriores en CE3X es el siguiente:



Gráfica 37: Patrón de sombras en el punto c

Como se puede observar, todos los elementos arrojan sombras en el punto C, especialmente de septiembre a marzo. Asimismo, en las últimas horas de la tarde se producen sombras en todos los meses del año, dada la cercanía del punto C a la pared oeste.

Una vez obtenidos todos los patrones de sombras se puede calcular el porcentaje de pérdidas en cada punto haciendo uso de las tablas de referencia incluidas en el apéndice de la sección HE 4 del Documento Básico HE Ahorro de Energía.

No obstante, todos los puntos analizados, que representan una aproximación de la totalidad de la azotea, presentan problemas por sombras. Este hecho, sumado al poco espacio disponible, provoca que la construcción de una instalación fotovoltaica sobre el tejado del edificio del Ayuntamiento de Betxí no sea viable. Es por ello por lo que es necesario hallar una solución técnica que reduzca la sombras.

Dada la naturaleza de la terraza, se ha optado por las siguientes soluciones, que son complementarias.

- Instalación de los paneles sobre una estructura metálica

Tal y como se ha desarrollado en el apartado anterior, la terraza del edificio del Ayuntamiento de Betxí presenta una serie de obstáculos que están a mayor altura que los paneles, por lo que generarían sombras a los mismos, provocando de este modo pérdidas en la producción de energía.

Una manera sencilla de evitar los efectos ocasionados por dichos obstáculos sería la construcción de una estructura metálica en la azotea sobre la cual se instalaran los paneles fotovoltaicos.

Dicha estructura metálica debería de tener la misma altura que el cubículo (3 metros), de manera que ninguna de las paredes pudiera ocasionar ninguna sombra a los paneles instalados. El único obstáculo que continuaría produciendo sombras sería el lucernario, ya que es de una

altura mayor (6 metros), pese a que, como se puede comprobar en las gráficas siguientes, las pérdidas ocasionadas son menores.

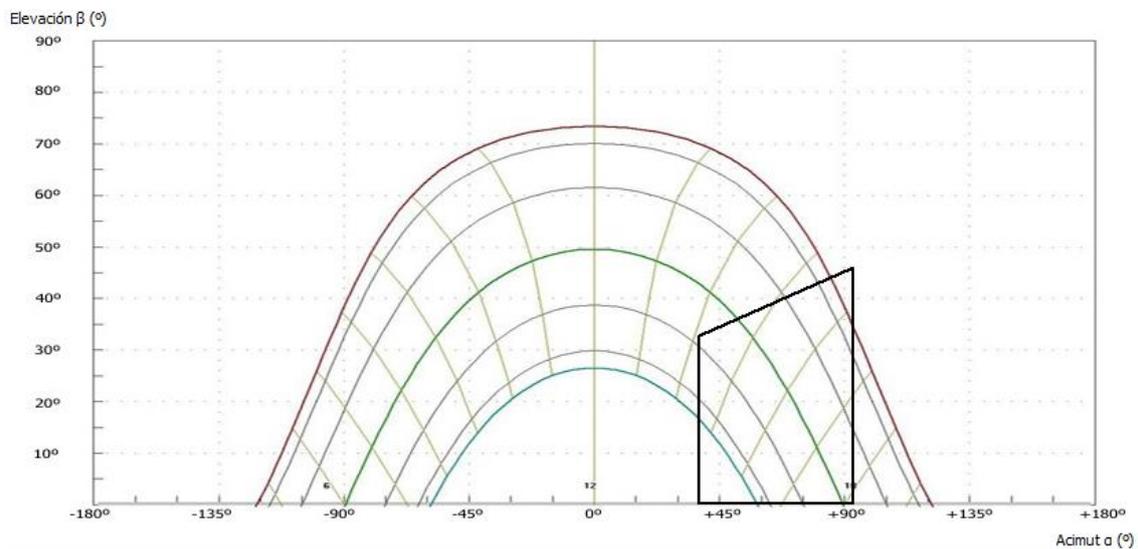
Se ha repetido el procedimiento anterior para el cálculo del patrón de sombras, pero contando únicamente el lucernario, y reduciendo su altura de 6 a 3 metros.

Para el punto A se obtienen los siguientes valores:

LUCERNARIO	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0,00	4,62	0,00	0,00	0,00	38,00
2	0,00	2,87	0,00	0,00	0,00	93,00
3	3,00	2,87	1,05	0,81	46,27	93,00
4	3,00	4,62	0,65	0,58	33,00	38,00

Tabla 31::Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto A con la instalación de una estructura metálica

Que generan el siguiente patrón de sombras:



Gráfica 38: Patrón de sombras en el punto A con la instalación de una estructura metálica

En el punto B:

LUCERNARIO	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0,00	3,57	0,00	0,00	0,00	3,00
2	0,00	5,88	0,00	0,00	0,00	49,00
3	3,00	5,88	0,51	0,47	27,03	49,00
4	3,00	3,57	0,84	0,70	40,04	3,00

Tabla 32: Elevación y azimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto B con la instalación de una estructura metálica

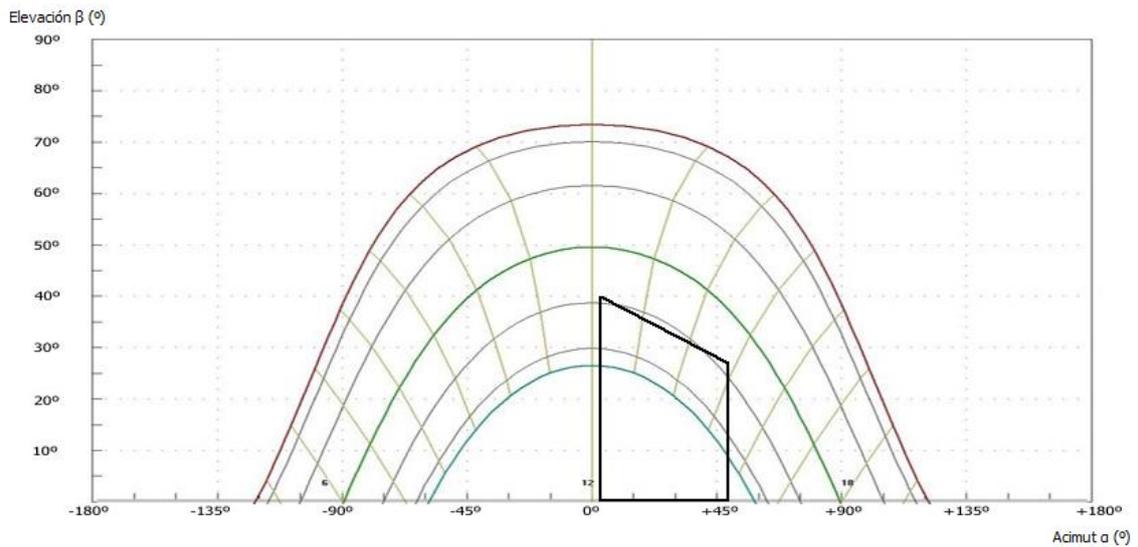
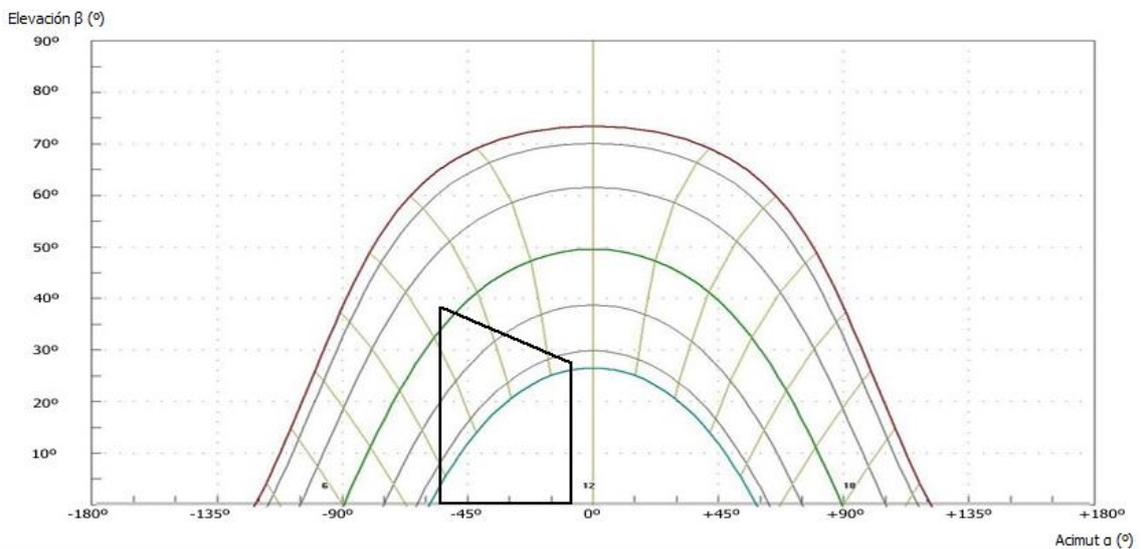


Tabla 33: Patrón de sombras en el punto B con la instalación de una estructura metálica

Y en el C:

LUCERNARIO	H	L	H/L	β (rad)	β (grad)	α (grad)
1	0,00	5,72	0,00	0,00	0,00	-8,00
2	0,00	3,76	0,00	0,00	0,00	-55,00
3	3,00	3,76	0,80	0,67	38,59	-55,00
4	3,00	5,72	0,52	0,48	27,68	-8,00

Tabla 34: Elevación y acimut de los puntos que definen el lucernario respecto del punto C con la instalación de una estructura metálica



Gráfica 39: Patrón de sombras en el punto C con la instalación de una estructura metálica

Como se puede observar, dado que el lucernario sigue estando a una mayor altura que la estructura metálica, éste sigue generando sombras, pese a que, si se comparan los patrones de sombras en un punto con y sin estructura, se puede observar fácilmente que los meses en los que se producen sombras se han reducido.

No obstante, dado el poco espacio disponible se ha optado por adoptar otra solución, complementaria, que reduce las pérdidas por sombra provocadas por elementos ajenos a la instalación a cero.

- Sustitución del lucernario por claraboya plana

Como se puede observar en la siguiente imagen, el lucernario tiene una estructura arqueada que le proporciona una altura innecesaria. Si se sustituye dicho lucernario por una claraboya plana o de pequeña altura, ésta continuaría permitiendo la entrada de luz natural al edificio, pero no arrojaría sombras sobre los paneles solares instalados sobre la nueva estructura metálica.



Ilustración 6: Vista de la azotea del edificio del Ayuntamiento de Betxi

3.1.2. Análisis del potencial de la instalación fotovoltaica

Una vez analizadas las sombras producidas por el entorno de la instalación es necesario analizar la cantidad de paneles fotovoltaicos que es posible instalar sobre la azotea de manera que las sombras producidas por los mismos no afecten a la instalación.

Existe un método para establecer la distancia mínima entre filas de captadores que garantizan un mínimo de 4 horas de sol en las horas cercanas al mediodía del solsticio de invierno.

Este método tiene en cuenta la latitud de la instalación y la altura de los captadores y sigue la siguiente expresión:

$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

Donde “d” es la distancia al objeto, y “h” la altura relativa del mismo respecto al punto más bajo del panel.

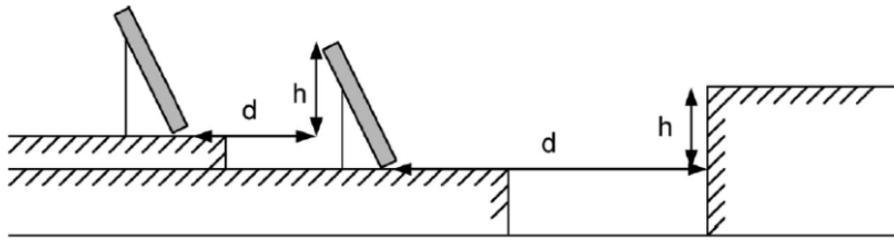


Ilustración 7: Distancia entre paneles

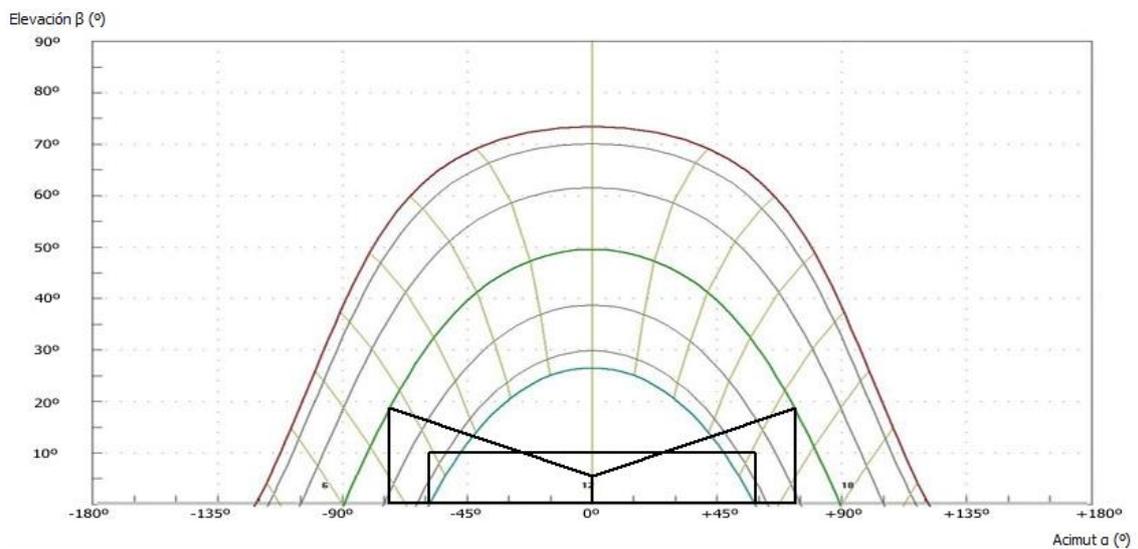
En el caso de Betxí, la latitud es $39,9^\circ$, y las dimensiones de los paneles $1965 \times 990 \times 40$. Si se instalan con una inclinación de 40° , la altura del panel sería de 1,02 m, por lo que la distancia mínima entre filas de paneles debería ser de 2,63 m. Teniendo en cuenta que la azotea tiene 9 metros de longitud, se podrán instalar hasta 3 filas de paneles.

A continuación, se van a analizar posibles soluciones de manera que se pueda optar por la que menos sombras ocasione, maximizando así el rendimiento de la instalación.

- Opción 1: paneles en posición vertical con inclinación de 40°

La primera opción que se ha contemplado es la instalación de paneles en vertical con una inclinación de 40° . Esta opción sería la ideal debido a que se maximiza la radiación incidente y el número de paneles que es posible instalar en el espacio disponible.

Si se considera que la longitud de la fila de paneles es de 10 m y que la distancia entre filas es de 3 m, el perfil de sombras que se obtiene es el siguiente:



Gráfica 40: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición vertical y 40° de inclinación

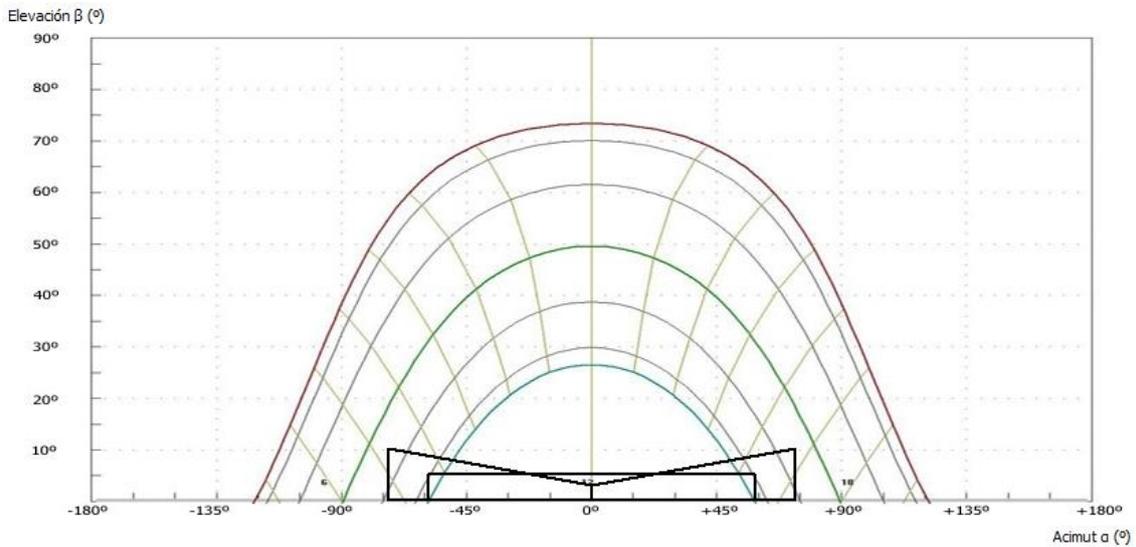
Se han representado los puntos de los dos extremos de la fila de paneles y del punto central.

Como se puede observar, desde septiembre hasta marzo se producirán sombras en las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde.

También cabe resaltar que se están calculando las sombras en la parte inferior del panel.

- Opción 2: paneles en posición vertical con inclinación de 20º

La segunda opción es idéntica a la primera, a excepción de la inclinación de los paneles, que se ha reducido a 20º.



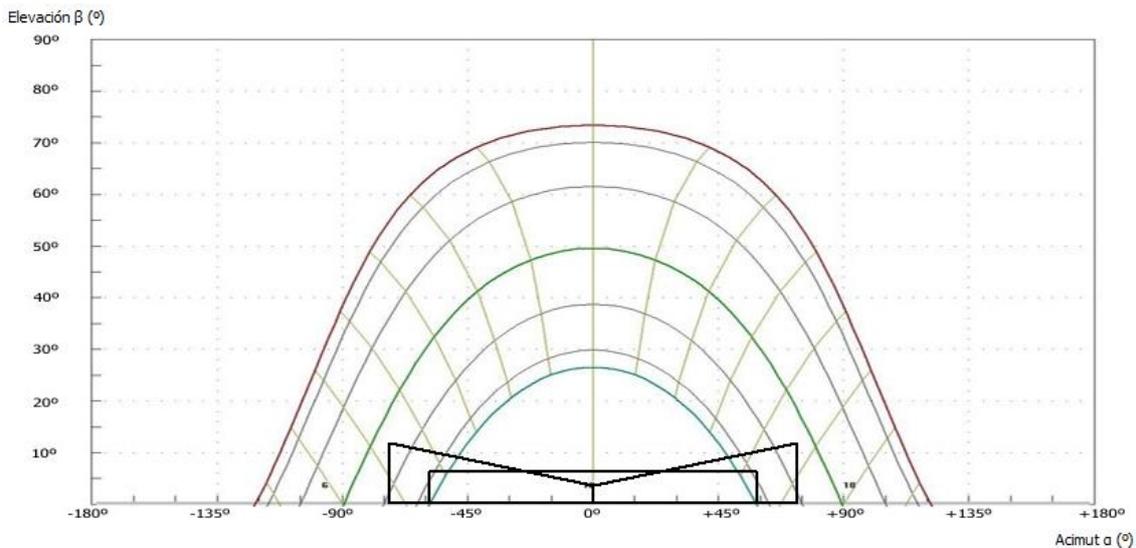
Gráfica 41: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición vertical y 20º de inclinación

Debido a la reducción de la inclinación se reduce también la altura de los paneles, lo que conlleva una reducción de las sombras generadas, tanto en el número de horas como en el número de meses en los que se producen.

- Opción 3: paneles en posición horizontal con inclinación de 40º

La tercera opción consiste en la instalación de los paneles con 40º de inclinación, pero en posición horizontal, por lo que el número de paneles que será posible instalar será menor.

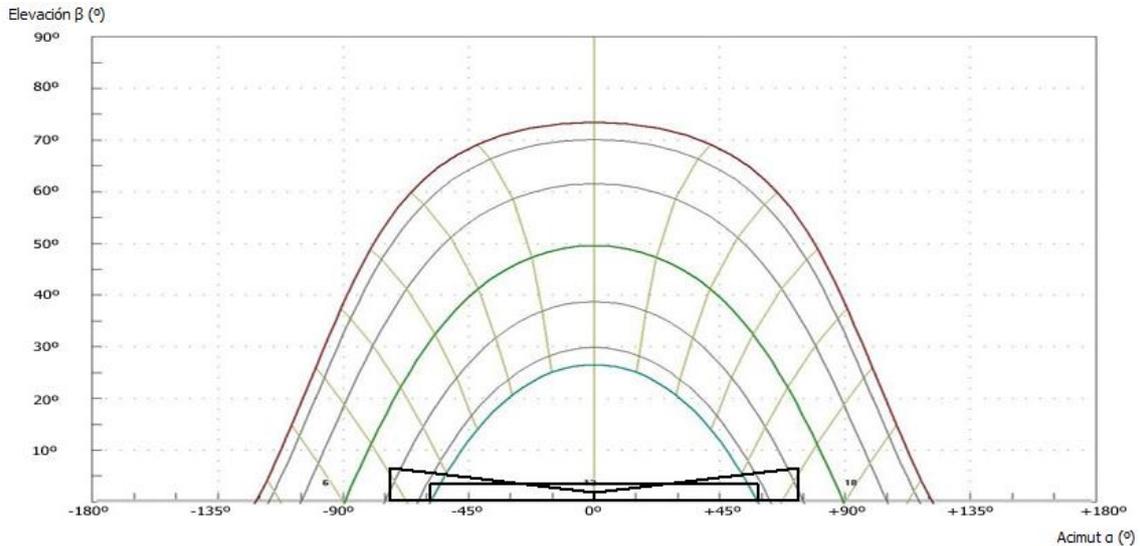
En este caso el perfil de sombras que se obtiene es muy similar a la segunda opción:



Gráfica 42: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición horizontal y 40º de inclinación

- Opción 4: paneles en posición horizontal con inclinación de 20º

La cuarta opción contempla la instalación de los paneles fotovoltaicos en posición horizontal con una inclinación de 20º. Esta opción es la mejor en cuanto a pérdidas por sombras, pero la peor en cuanto al número de paneles que es posible instalar y la radiación incidente.



Gráfica 43: Patrón de sombras en una fila de paneles solares en posición horizontal y 20º de inclinación

Como se ha podido comprobar, dada la limitación de espacio de la azotea del edificio del Ayuntamiento de Betxí, en todos los casos contemplados se producen pérdidas por sombras provocadas por los mismos paneles.

Sin embargo, también cabe resaltar que en todos los casos las sombras se producen en las primeras horas de la mañana o las últimas de la tarde y únicamente durante unos pocos meses al año.

También cabe resaltar que se han considerado los puntos más desfavorables, esto es, el extremo inferior del panel, y los extremos de la fila de paneles. Como se puede observar en los patrones de sombras anteriores, las sombras generadas en el punto central de la fila son prácticamente nulas.

A la hora de realizar las simulaciones en HOMER se contemplarán las cuatro opciones, de manera que se obtenga el mejor resultado técnico-económico.

2. Escuela infantil

La escuela infantil municipal "Pequelar" está ubicada en las afueras del municipio, en la parte norte. Cuenta con una gran parcela y una azotea plana de más de 800 m². Dicha azotea no se ve afectada por ningún tipo de sombra generada ni por elementos propios ni colindantes, ya que el edificio está rodeado de solares sin ninguna construcción o por casas de poca altura, por lo que sería posible implantar una instalación solar fotovoltaica en la misma.

El hecho de no existir ningún edificio en las parcelas adyacentes posibilita también la instalación de algún aerogenerador de pequeño tamaño en la misma parcela de la escuela infantil.



Ilustración 8: Vista aérea de la Escuela Municipal Infantil de Betxí. Fuente: Google Maps

3. Almacén municipal

El almacén municipal se encuentra unos metros más al sur de la Escuela Infantil, cuenta con una gran azotea totalmente despejada de elementos a excepción de un habitáculo de 2,5 metros de altura aproximadamente. En las parcelas adyacentes no existen edificios que puedan ocasionar sombras, por lo que es una localización idónea para la instalación de un sistema solar fotovoltaico. En este caso la posibilidad de la instalación de aerogeneradores queda descartada, al no disponer de superficie disponible para tal finalidad.



Ilustración 9: Vista aérea del Almacén Municipal de Betxí. Fuente: Google Maps

Debido a la gran superficie disponible (más de 500 m²), a priori no será necesario realizar un análisis de las sombras que ocasiona el habitáculo de la azotea, ya que la superficie que se necesitará para cubrir la demanda mediante paneles solares fotovoltaicos, presumiblemente, será mucho menor que la disponible. No obstante, en el caso de que la superficie demandada

sea muy elevada, se realizará un análisis de las sombras para comprobar que la solución propuesta no se ve afectada por las mismas.

4. Polideportivo

El Complejo Deportivo “Robert Fernández Bonillo” está situado en las afueras del municipio, en la parte sur. El complejo está formado por un pabellón y por una piscina exterior. La azotea del pabellón tiene una superficie de 2.300 m² y es el edificio más alto de la zona, por lo que los edificios colindantes no generarán sombras que le puedan afectar. No obstante, como se puede observar en la siguiente imagen, el tejado del pabellón está inclinado en dirección sudoeste, por lo que los paneles fotovoltaicos no podrán estar orientados al sur.

Este hecho, que a priori podría ser considerado como un perjuicio, si se analiza el patrón de consumo del polideportivo podemos concluir que se trata de una ventaja, ya que las horas de mayor consumo son las de la tarde, por lo que los paneles solares tienen la orientación adecuada para cubrir la demanda en las horas en las que ésta es mayor.



Ilustración 10: Vista aérea del pabellón municipal de Betxí

Respecto a la posible instalación de aerogeneradores, la única parcela disponible es la que ocupa la piscina, por lo que no se considera factible su instalación.

5. Juzgado de paz

El juzgado de paz se encuentra en la zona este del municipio, a pocos metros del Ayuntamiento. Cuenta con una pequeña azotea de 60 m². Los edificios colindantes no son más altos, por lo que no será necesario realizar un análisis de sombras.



Ilustración 11: Vista aérea del Juzgado de Paz

Al tratarse de un edificio ubicado dentro del núcleo urbano se descarta la posibilidad de la instalación de aerogeneradores.

6. Centro de día

El centro de día de Betxí está ubicado a las afueras del municipio, muy cercano a la escuela infantil. La azotea cuenta con una gran superficie plana que no se ve afectada por sombras de edificios colindantes u otros elementos. En la actualidad hay instalados 8 paneles solares para la producción de agua caliente sanitaria, pero quedan disponibles más de 500 m² para la instalación de paneles solares fotovoltaicos.



Ilustración 12: Vista aérea del centro de día

Como se puede observar, no es posible la instalación de aerogeneradores, ya que no hay espacio disponible para ello.

En resumen:

DIRECCIÓN CUPS	EDIFICIO	Tejado propio	m2	Sombras	Eólica
1. Plza MAYOR, 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	AYUNTAMIENTO	SÍ	70	SÍ	NO
5. C/ ONDA, 32 12549-BETXI - CASTELLON	ESCOLA INFANTIL	SÍ	800	NO	SÍ
6. C/ PIO XII, 47 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	ALMACÉN MUNICIPAL	SÍ	500	NO	NO
8. C/ ALFONSO FRANCH, 50 12549-BETXI - CASTELLON	POLIDEPORTIVO	SÍ	2300	NO	NO
9. Avda PRIMERO DE MAYO, 1 , 1 12549-BETXI - CASTELLON	JUZGADO DE PAZ	SÍ	60	NO	NO
11. C/ MONCOFAR, S/N 1 , BAJO 12549-BETXI - CASTELLON	CENTRO DE DÍA	SÍ	500	NO	NO

3.2. SIMULACIONES CON HOMER

En el presente apartado se va a proceder a describir el procedimiento que se ha seguido para la realización de las simulaciones en HOMER, así como una introducción a los resultados obtenidos de las mismas. En el próximo apartado, 4. RESULTADOS OBTENIDOS, se analizarán más detalladamente todas las soluciones que proporciona HOMER.

Para la realización de las simulaciones ha sido necesario establecer todos aquellos parámetros que se han ido introduciendo a lo largo de la presente memoria. Estos parámetros son: la demanda horaria, el precio de la energía en cada uno de los periodos y las características y precios de los componentes de la instalación.

A nivel general, el esquema de la instalación es el siguiente:

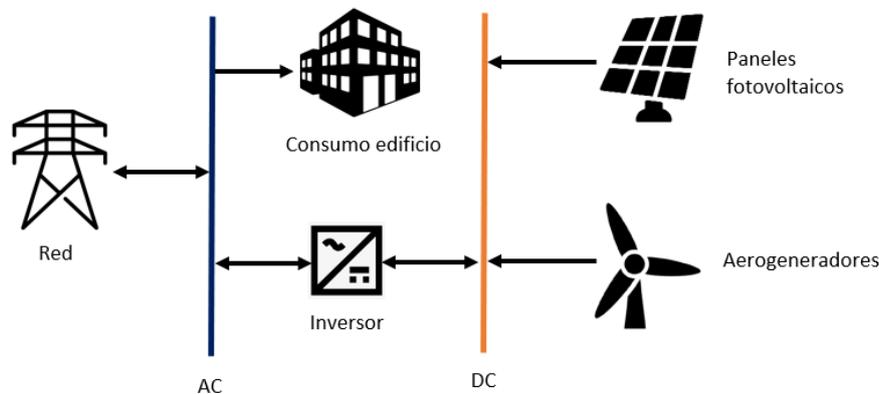
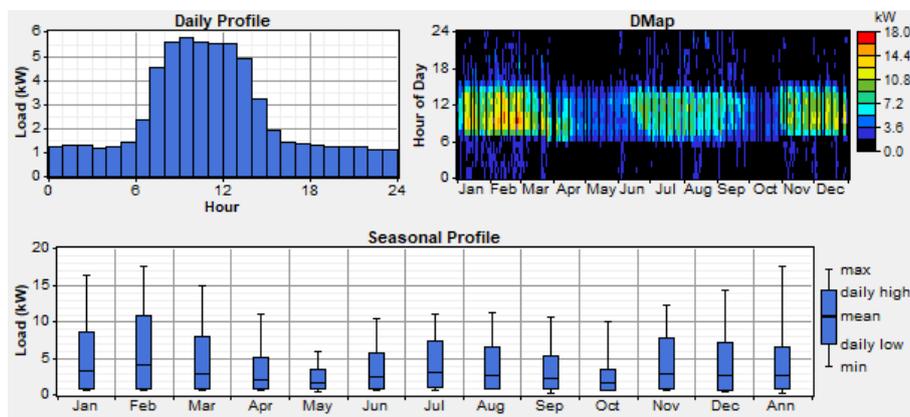


Ilustración 13: Esquema tipo de la instalación

1. Ayuntamiento

El edificio del ayuntamiento de Betxí tiene un consumo medio de 63 kWh al día, y la demanda máxima es de 17 kW. Como se puede observar en las siguientes gráficas, la demanda es mayor en los meses de otoño e invierno y se produce principalmente desde el inicio de la mañana hasta las 15:00 h.

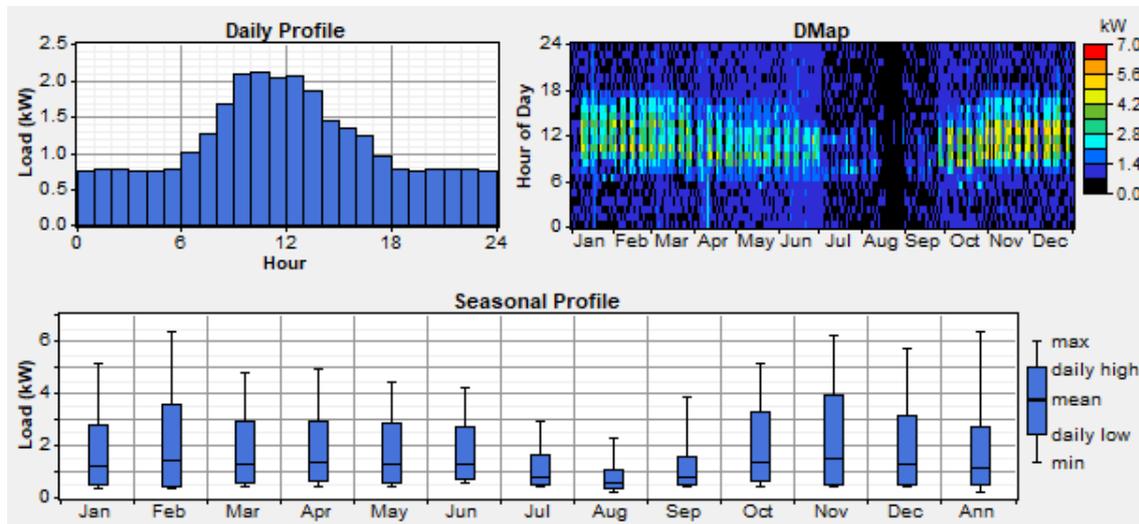


Gráfica 44: perfiles de demanda del ayuntamiento

Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, se van a estudiar diferentes posibilidades considerando la posición horizontal y vertical de los paneles, así como diferentes inclinaciones.

2. Escuela infantil

Para la simulación de la escuela infantil se han introducido los valores de demanda. En las siguientes gráficas se pueden observar los diferentes perfiles que presenta:



Gráfica 46: perfiles de demanda de la escuela infantil

Como ya se ha indicado en apartados anteriores, se trata de un edificio con un consumo reducido que presenta una demanda pico de 6,4 kW. Se ha considerado la posibilidad de instalar un sistema de generación de energía basado en captadores fotovoltaicos y en minieólica.

	PV (kW)	BW13	BW25	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	6.60			6.5	1000	\$ 8,574	738	\$ 22,988	0.114	0.70
<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					1000	\$ 0	1,491	\$ 29,117	0.145	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	6.60		1	6.5	1000	\$ 21,152	627	\$ 33,386	0.166	0.90
<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>			1	5.0	1000	\$ 13,888	1,352	\$ 40,276	0.200	0.57

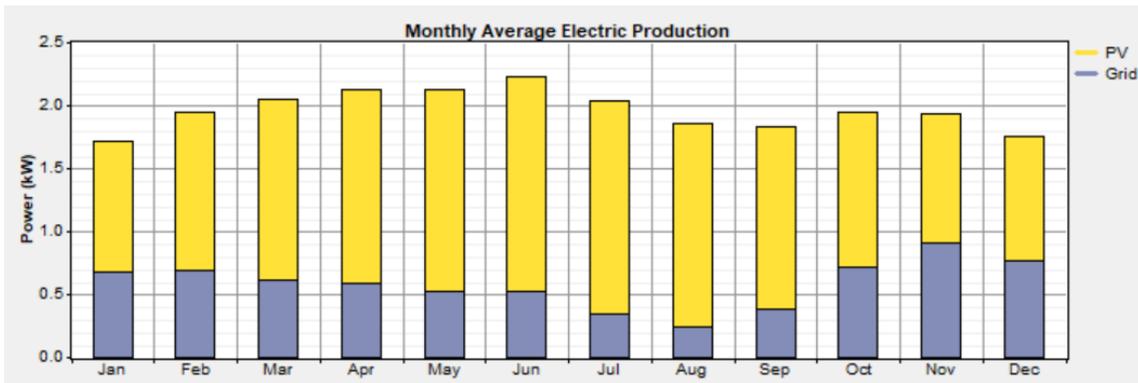
Tabla 36: Resultados obtenidos con HOMER para la escuela infantil

De las simulaciones realizadas por HOMER se concluye que la mejor alternativa es la instalación de 20 paneles solares fotovoltaicos que entregan 6,6 kWp. De esta manera se consigue cubrir un 70% de la demanda con fuentes de energía renovable con un coste unitario por kWh consumido sensiblemente inferior (0,114 €/kWh) al que supondría el consumo exclusivo de la red eléctrica (0,145€/kWh). Únicamente es necesario realizar una inversión cercana a los 8.574€.

La alternativa que combina la producción de energía mediante paneles fotovoltaico y mini-aerogeneradores posibilita consumir un 90% de la energía con fuentes de energía renovable. Sin embargo, el coste de instalación es mucho mayor, 21.152,00€, y el coste unitario del kWh consumido (COE) es de 0,166€. Por lo tanto, se descarta dicha alternativa.

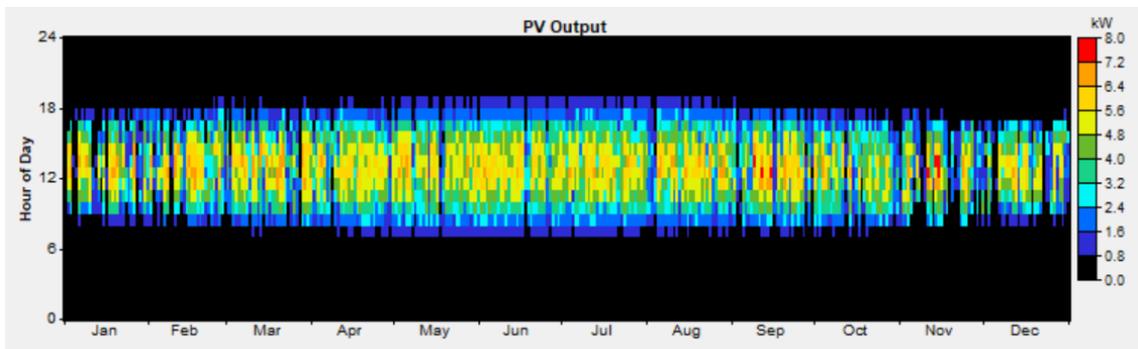
Por último, la alternativa que contempla únicamente la instalación de aerogeneradores permite cubrir el 57% de la demanda con fuentes de energía renovable con una inversión un 50% superior a la instalación de módulos fotovoltaicos, por lo que el COE es mucho más elevado.

En la siguiente gráfica se puede observar la evolución mensual de la producción de energía eléctrica media:



Gráfica 47: Evolución mensual de la producción de energía media en la escuela infantil

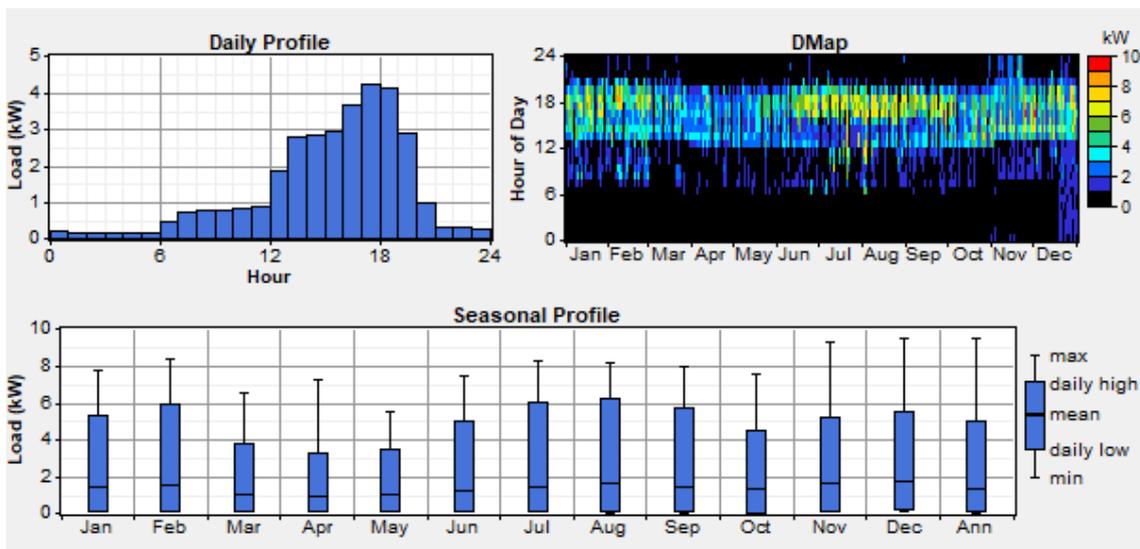
Como se puede observar, en los meses de verano más del 75% de la energía consumida es generada por la instalación fotovoltaica. En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la producción de energía eléctrica mediante los módulos fotovoltaicos a lo largo del año:



Gráfica 48: Producción de la instalación fotovoltaica a lo largo del año

3. Almacén municipal

El almacén municipal también tiene una demanda relativamente baja, con una potencia pico de 9,5 kW que se produce durante los últimos meses del año. En las siguientes gráficas se pueden observar los diferentes perfiles de demanda:



Gráfica 49: perfiles de demanda del almacén municipal

Se ha realizado la simulación en HOMER considerando hasta 30 captadores solares fotovoltaicos, los necesarios para cubrir el mayor pico de demanda.

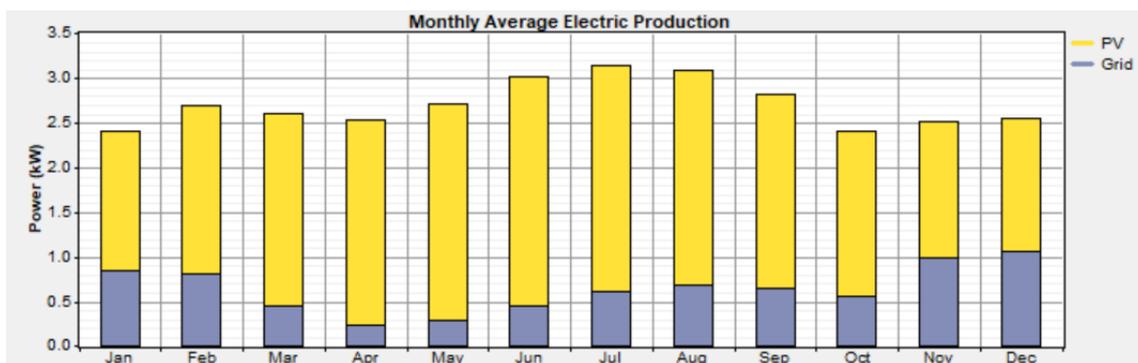
Al realizar las simulaciones en HOMER se obtiene que la mejor solución consiste en instalar 9,9 kW fotovoltaicos (30 paneles). Esta solución permite obtener una fracción renovable del 77% y un COE sensiblemente inferior al que se obtiene si se continúa consumiendo toda la energía de la red.

En este caso, no es posible la instalación de aerogeneradores, por lo que no se ha contemplado a la hora de realizar las simulaciones. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de las simulaciones:

	PV (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
  	9.90	9.0	1000	\$ 12,072	979	\$ 31,191	0.134	0.77
			1000	\$ 0	2,031	\$ 39,658	0.171	0.00

Tabla 37: Resultados de las simulaciones en HOMER para el almacén municipal

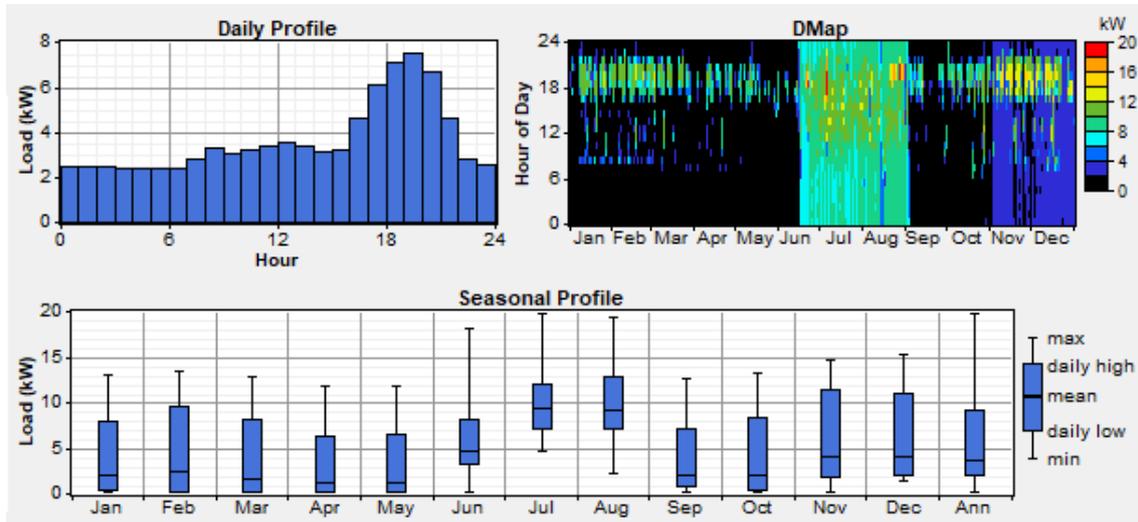
En la siguiente imagen se puede observar el origen de la energía consumida a lo largo de todo el año. Los meses en los que más energía se produce gracias a la instalación fotovoltaica son junio, julio y agosto. Si embargo, en los meses de abril y mayo, la fracción renovable prácticamente alcanza el 85%.



Gráfica 50: Evolución mensual de la producción de energía media en el almacén

4. Polideportivo

El polideportivo tiene una demanda mucho mayor que los edificios anteriores y está concentrada principalmente en los meses de verano, en los que se alcanzan los 20 kW pico.



Gráfica 51: perfiles de demanda del polideportivo

En este caso, de nuevo, se ha considerado como sistema de generación de energía renovable la instalación de paneles solares fotovoltaicos.

Tal y como se ha indicado en el apartado de Análisis de los edificios, el tejado del polideportivo no está orientado al sur, sino que tiene una orientación de 27° hacia el oeste. Adicionalmente, ya cuenta con una inclinación de 30°. Se ha optado por que la colocación de los paneles sea coplanar al tejado.

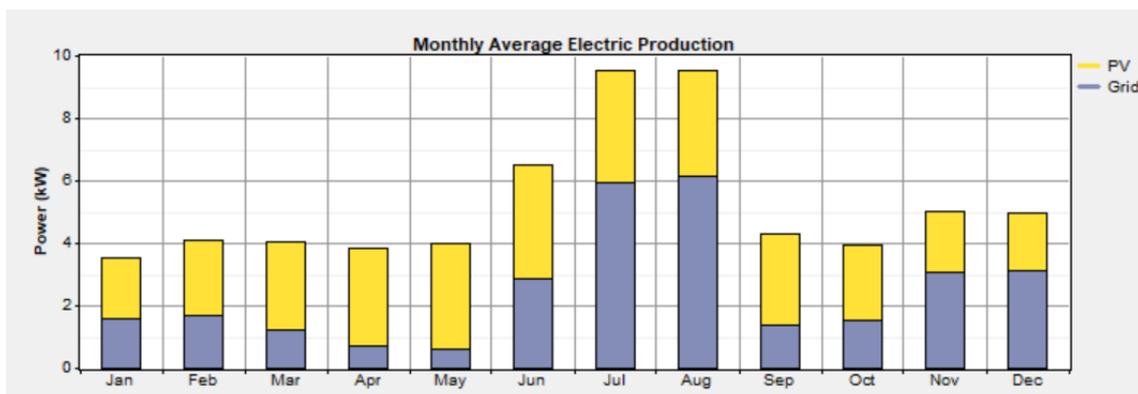


Ilustración 14: Orientación del pabellón municipal

La opción más recomendable que se obtiene de las simulaciones de HOMER es la instalación de 13,86 kWp fotovoltaicos que logren cubrir el 53% de la producción total.

	PV (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
☑ ☑ ☑	13.86	12.0	1000	\$ 16,159	3,328	\$ 58,708	0.143	0.53
☑ ☑ ☑			1000	\$ 0	4,865	\$ 62,195	0.152	0.00

Tabla 38: Resultados de las simulaciones en HOMER para el polideportivo



Gráfica 52: Evolución mensual de la producción de energía media en el polideportivo

El precio del kWh que se obtiene (0,143 €/kWh) es muy similar al que se obtendría si se mantiene la instalación conectada a la red sin ningún tipo de producción de energía renovable (0,152 €/kWh).

5. Juzgado de paz

El juzgado de paz de Betxí tiene una azotea de pequeñas dimensiones (60m²), por lo que, si se quiere evitar las pérdidas por sombras ocasionadas por los mismos paneles o por los muretes perimetrales, se debe considerar como máximo dos filas de captadores. Si se colocan los paneles en posición vertical, cada una de las filas podría incluir hasta 12 paneles.

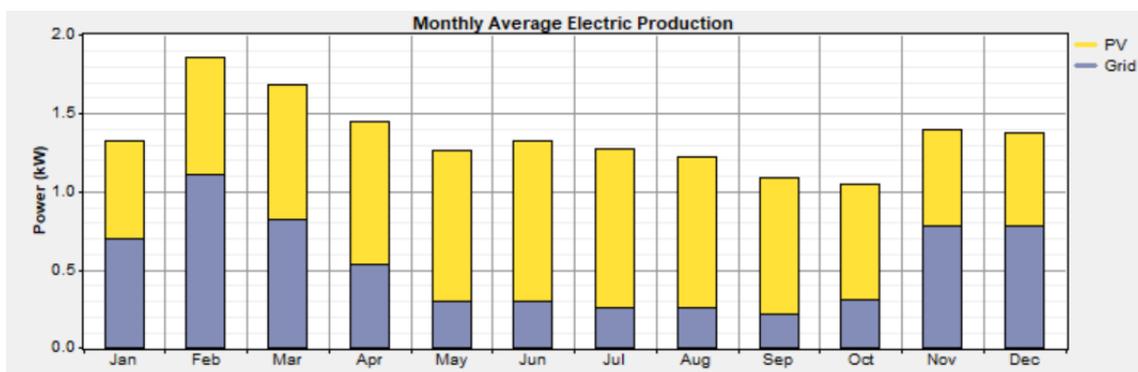
La demanda energética del juzgado de paz también es bastante reducida (22kWh/día de media) y tiene una potencia demandada pico de 6,1 kW.

La instalación óptima sería 3,96 kW de potencia instalada (12 paneles) que posibilitarían cubrir el 55% de la demanda con fuentes de energía renovables. Dicha instalación supone una inversión de 5.680€.

Configuration	PV (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
Optimal (12 panels)	3.96	4.0	1000	\$ 5,680	794	\$ 21,184	0.135	0.61
Grid-only			1000	\$ 0	1,255	\$ 24,509	0.156	0.00

Tabla 39: Resultados de las simulaciones en HOMER para el juzgado de paz

En la siguiente imagen se puede observar la evolución de la energía producida por la instalación fotovoltaica y el porcentaje que supone respecto al total:



Gráfica 53: Evolución mensual de la producción de energía media en el juzgado de paz

6. Centro de día

El centro de día de Betxí tiene más de 500 m² en la azotea disponibles para la instalación de paneles solares fotovoltaicos, sin embargo, no dispone de espacio disponible para la instalación de aerogeneradores.

El centro de día tiene un consumo medio de 28 kWh/día y una potencia pico de 11 kW.

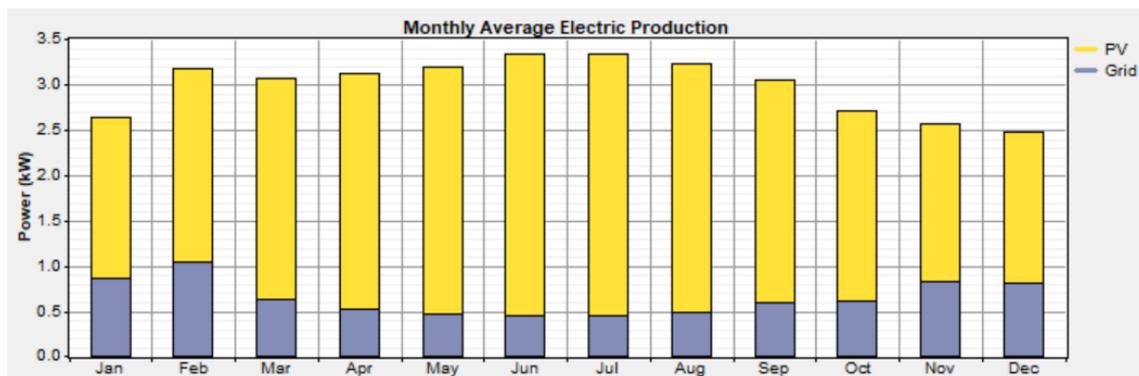
Como en el resto de edificios analizados, la opción más económica es la de continuar conectados a la red eléctrica sin ningún tipo de instalación fotovoltaica.

La instalación fotovoltaica óptima consiste en la instalación de 34 paneles solares (11,22 kWp), que permite cubrir el 79% de la energía producida con fuentes de energía renovables con una inversión inicial de 13.439 €. De esta manera, el precio unitario del kWh consumido pasa de 0,150€ a 0,121€.

			PV (kW)	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
			11.22	10.0	1000	\$ 13,439	527	\$ 23,726	0.121	0.79
					1000	\$ 0	1,516	\$ 29,592	0.150	0.00

Tabla 40: Resultados de las simulaciones en HOMER para el centro de día

En la siguiente gráfica se puede observar la evolución mensual de la producción de energía:



Gráfica 54: Evolución mensual de la producción de energía media en el centro de día

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Según se ha adelantado en el apartado anterior, en todos los casos la solución a adoptar consiste en la instalación de paneles solares fotovoltaicos, ya que con costes de instalación relativamente bajos se consigue cubrir una parte significativa del consumo de los diferentes edificios.

La instalación de aerogeneradores se ha descartado ya que el coste de instalación es mucho mayor que en las instalaciones fotovoltaicas, y en el único edificio municipal en el que sería posible su instalación (la escuela infantil), en la azotea hay espacio disponible suficiente como para instalar paneles fotovoltaicos en ella.

En el presente apartado se va a detallar técnicamente la solución de cada edificio, analizando su viabilidad tanto técnica como económica.

4.1. Ayuntamiento

La solución que se ha adoptado para el edificio del Ayuntamiento consiste en la instalación de 20 paneles solares del modelo A-330M de ATERSA. Los 20 módulos proporcionan una potencia pico de 6,6 kW.

Según el documento “CONDICIONES TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA CONECTADA LA RED DE IBERDROLA DISTRIBUCIÓN” de la distribuidora eléctrica de la zona (IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA), la instalación debe seguir el siguiente esquema:

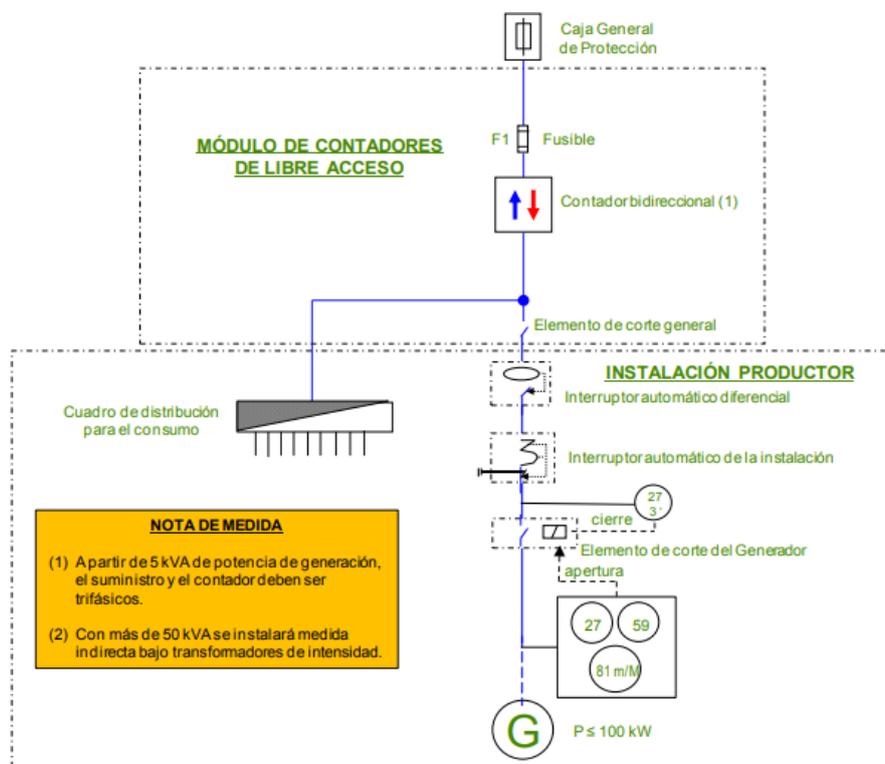


Ilustración 15: Esquema de la instalación de generación de energía. Fuente: Iberdrola Distribución Eléctrica

En el esquema de la instalación se puede observar que el contador debe ser bidireccional. Tal y como se ha comentado en el apartado 2.4.1. Consumos eléctricos de los edificios municipales, la compañía distribuidora de la zona (Iberdrola) recientemente puso en marcha el proyecto STAR

(Sistemas de Telegestión y Automatización de la Red) cuyo objetivo es llevar a cabo una transformación tecnológica en el campo de las redes inteligentes instalando contadores inteligentes en todos sus puntos de suministro, entre otras medidas.

Estos nuevos contadores inteligentes que se están instalando son todos bidireccionales, por lo que no será necesaria su sustitución. Únicamente será necesario que la empresa instaladora re programe el contador con las nuevas características del punto de suministro.

En la zona de Castellón los nuevos contadores que se han instalados son de diferentes fabricantes (ZIV, Orbis, Circutor, etc.). Algunos de los modelos más extendidos son el 5 CTD y el 5 CTM, ambos del fabricante ZIV. Se adjunta como anexo la ficha técnica en la que se puede comprobar que son bidireccionales y, por lo tanto, aptos para este caso de aplicación en concreto.

Los módulos fotovoltaicos seleccionados tienen las siguientes características técnicas:

Pot nominal	330 W
I_{mp}	8,67 A
V_{mp}	38,07 V
I_{sc}	9,12 A
V_{oc}	46,78 V

Tabla 41: Características técnicas del panel ATERSA A-330M

Si se instalan los 20 paneles en un solo string, las tensiones generadas serían:

$$V_{max_{oc}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{oc} = 20 \cdot 46,78 = 935,6 \text{ V}$$

$$V_{dc_{mp}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{mp} = 20 \cdot 38,07 = 761,4 \text{ V}$$

Ecuación 1: Tensiones de entrada al inversor en el Ayuntamiento si se considera un único string

Según la ficha técnica del inversor SUNNY BOY 5.0 la tensión de entrada máxima son 600V, y el rango de tensión MPP alcanza los 500V, por lo que será necesario dividir los paneles en 2 strings.

En este caso:

$$V_{max_{oc}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{oc} = 10 \cdot 46,78 = 467,8 \text{ V}$$

$$V_{dc_{mp}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{mp} = 10 \cdot 38,07 = 380,7 \text{ V}$$

Ecuación 2: Tensiones de entrada al inversor en el Ayuntamiento si se consideran dos strings

En cuanto a las intensidades de entrada, la corriente máxima de entrada por string es de 15 A. Por lo tanto, en este aspecto, el inversor seleccionado es adecuado.

Por último, la potencia de entrada que proporcionan los 20 módulos es de 6.600W, que es sensiblemente inferior a los 7.500W de entrada que tiene como máximo el inversor.

- Dimensionamiento del cableado

El siguiente paso a realizar es la dimensión del cableado. Un correcto dimensionamiento es imprescindible para garantizar la seguridad de la instalación y para minimizar las pérdidas en los conductores.

El dimensionamiento del cableado se realiza siguiendo dos criterios, adoptando el que sea más restrictivo. Los dos criterios son:

- Caída de tensión máxima: la caída de tensión entre el inicio y final de línea no debe superar un valor máximo. El REBT exige que la caída de tensión no debe superar el 3% de la tensión nominal. Sin embargo, el IDAE recomienda que este valor no sea superior al 1,5%.
- Criterio térmico: al circular corriente eléctrica por el conductor se produce un calentamiento del mismo. Este calentamiento deteriora el aislante y puede provocar incendios. Es por ello por lo que la intensidad no debe superar el valor máximo establecida para cada conductor.

Se debe realizar el dimensionamiento para cada uno de los tramos de cableado de la instalación.

En este caso, se va a calcular para el string que está más alejado del inversor, ya que es el caso más desfavorable.

El primer tramo es el cableado que conecta todos los módulos fotovoltaicos con la caja de conexiones y el inversor. En el caso del Ayuntamiento, los módulos formarán dos filas de 10 que estarán conectadas en serie hasta alcanzar el inversor, lo que supone una longitud total de 30m.

La fórmula para el cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima es la siguiente:

$$S(\text{mm}^2) \geq \frac{2 \cdot \text{Corriente máxima (A)} \cdot \text{Longitud (m)}}{\text{Caída de tensión máxima (V)} \cdot \text{Conductividad del material } \left(\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}\right)}$$

Ecuación 2: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima

La corriente máxima es la de cortocircuito (9,12A) y la conductividad del cobre es de $56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$

Si se considera que la caída máxima de tensión es de 1,5%, teniendo en cuenta la tensión del punto de máxima potencia (761,4V), ésta será de

Por lo tanto, la sección mínima a utilizar será:

Longitud	Umpp (V)	Icc (A)	ΔU max (V)	Smin (mm2)	Sección normalizada superior (mm2)	ΔU (V)	ΔU (%)
30	380,7	9,12	5,7105	1,711	2.5	3,908571	1,0%

Tabla 42: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en el Ayuntamiento

Se ha seleccionado la sección de cable normalizada inmediatamente superior a la sección mínima obtenida mediante la fórmula. Como se puede comprobar, la caída de tensión es menor que 1,5%.

Para comprobar que se cumple el criterio térmico, se debe hacer uso de la Instrucción Técnica Complementaria del REBT número 19 (ITC-BT-19: INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS PRESCRIPCIONES GENERALES).

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre ⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁵⁾						3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁶⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁷⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾		
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁸⁾								3x PVC ⁹⁾		3x XLPE o EPR	
		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
240				315	350	374	419	455	490	552	711		
300					404	423	484	524	565	640	821		

Tabla 43: Intensidades máximas admisibles (A) por conductor

En este caso se selecciona el tipo B: Conductores aislados en tubos en montaje superficial y la columna 2x XLPE, por lo que la intensidad máxima admisible es de 29 A, muy superior a la intensidad de cortocircuito (9,12 A).

Para el conductor entre el inversor y el cuadro de baja tensión se debe tener en cuenta la intensidad máxima de salida del inversor. En este caso, según, la ficha técnica, son 22^a

Por lo que la sección mínima deberá ser:

Longitud	U (V)	I _{max} (A)	Δ U max (V)	S _{min} (mm ²)	Sección normalizada superior (mm ²)	Δ U (V)	Δ U (%)
50	230	22,000	6	11,387	16	2,126	0,9%

Tabla 44: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre el inversor y el cuadro de baja tensión

- Protecciones

Una vez calculadas las secciones de los cables es necesario calcular las protecciones.

Por una parte, se deben definir las protecciones para la parte de continua de la instalación. Para proteger a los conductores frente a sobrecargas y cortocircuitos es necesario instalar fusibles o magnetotérmicos de corriente continua.

Las sobrecargas se producen cuando circulan por las líneas intensidades de corriente superiores a las de diseño. Si se mantiene la sobrecarga durante un periodo de tiempo pueden producirse sobrecalentamientos e incendios de los conductores.

Los cortocircuitos, en cambio, son intensidades instantáneas, muy elevadas, que deterioran las líneas.

Los fusibles son elementos de protección que se colocan al inicio de los circuitos y en todos los cambios de sección que tienen una sección mucho menor a la de la línea. De esta manera, si se produce una sobrecarga o un cortocircuito éste se calienta en mayor medida, funde, y desconecta el conductor, asegurando que el resto del circuito no sufre daño alguno.

Para la selección de los fusibles deben cumplirse dos condiciones. La primera es que la corriente nominal a la que funde el fusible debe ser mayor que la corriente nominal de la línea, pero menor que la corriente máxima admisible por el conductor según su sección.

$$I_b \text{ de la línea} \leq I_N \text{ del fusible} \leq I_Z \text{ máxima admisible del conductor}$$

Ecuación 3: Condición 1 para la selección de fusibles

Los valores normalizados de fusibles son:

2	16	40	100	250	500
4	20	50	125	315	630
6	25	63	160	400	800
10	35	80	200	425	1000

Tabla 45: Intensidades nominales (A) normalizadas de los fusibles de BT

La segunda condición es que la intensidad a la que los conductores pueden soportar intensidades transitorias sin deteriorarse (I_f) puede ser hasta un 45% superior a la intensidad máxima admisible por el conductor.

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

Ecuación 4: Condición 2 para la selección de fusibles

El valor de I_f se obtiene de la siguiente tabla:

I_n (A)	Tiempo convencional (h)	I_f Corriente convencional de fusión
$I_n \leq 4$	1	$2,1 I_n$
$4 < I_n \leq 16$	1	$1,9 I_n$
$16 < I_n \leq 63$	1	$1,6 I_n$
$63 < I_n \leq 160$	2	$1,6 I_n$
$160 < I_n \leq 400$	3	$1,6 I_n$
$400 < I_n$	4	$1,6 I_n$

Tabla 46: Corriente convencional de fusión (I_f) en función de la I_n .

En el caso que se está estudiando, en la parte de la instalación en continua (entre los paneles y el inversor) la Intensidad nominal es de 8,67 A y la máxima admisible por el conductor 29 A., por lo que, atendiendo a los valores normalizados indicados en la tabla 43, se deberá seleccionar un fusible de 16 A.

Para los fusibles de 16 A, según la tabla 46, la intensidad que por fabricación funde al cabo de 1 hora de funcionamiento en esas condiciones es de 1,9 veces su intensidad nominal. Por lo tanto, se confirma que el fusible de 16 A es adecuado:

$$I_f = 1,9 \cdot I_n = 1,9 \cdot 16 = 30,4 \text{ A}$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z = 1,45 \cdot 29 = 42,05 \text{ A}$$

Ecuación 5: Selección del fusible

Se instalará un fusible para proteger la entrada de cada string.

En la parte de la instalación de continua también debe instalarse un protector contra sobretensiones inducidas por rayos. Estos elementos mandan a la toma de tierra el exceso de tensión y evitan la rotura de los inversores. En la siguiente imagen se adjunta esquema de instalación:

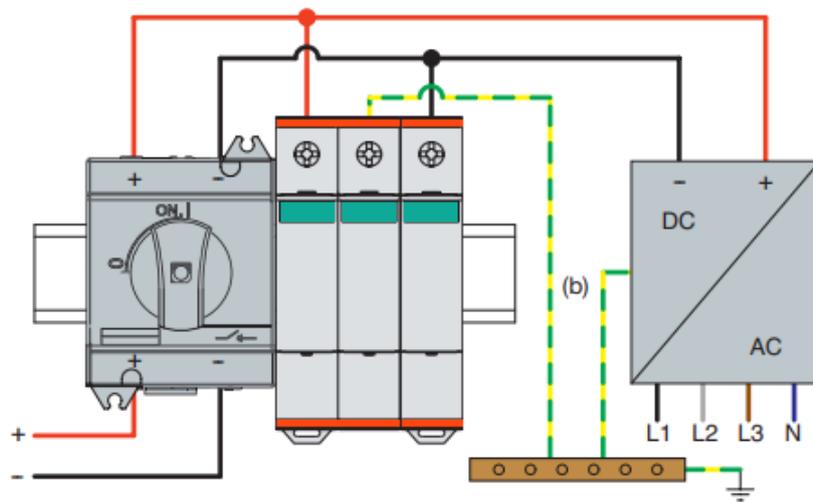


Ilustración 16: Esquema de instalación del protector sobretensiones

Para proteger la parte de la instalación en alterna se instalarán interruptores magnetotérmicos y diferenciales.

Para la selección del magnetotérmico el procedimiento es muy similar al de los fusibles, ya que la Instrucción Técnica Complementaria del REBT de aplicación es la misma (ITC-BT-22 INSTALACIONES INTERIORES RECEPTORAS. PROTECCIÓN CONTRA SOBREENSIDADES). Por lo que, de nuevo, la intensidad nominal de la instalación deberá ser menor o igual a la nominal del magnetotérmico, y ésta deberá estar por debajo de la intensidad máxima admisible por el conductor.

$$I_b (A) \leq I_N (A) \text{ del magnetotérmico} \leq I_{max} (A) \text{ del conductor}$$

Ecuación 6: Condición de elección de la I_N del magnetotérmico

Es este caso se había seleccionado un conductor de 10 mm². En la tabla 43 se indica que la intensidad máxima admisible es de 91 A. La intensidad normal de funcionamiento se ha indicado que es de 22 A.

Los valores de intensidad nominal normalizados para interruptores magnetotérmicos son:

1	16	50	160	1250
2	20	63	250	1600
3	25	80	400	2000
6	32	100	630	2500
10	40	125	800	3200

Tabla 47: Valores de I_N (A) normalizados para interruptores magnetotérmicos

Por lo tanto, el valor de la intensidad nominal del interruptor magnetotérmico deberá ser 25 A.

Respecto al poder de corte, éste debe ser igual o superior a la intensidad de cortocircuito que defina la compañía distribuidora de la zona, en este caso IBERDROLA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA. Según el documento NORMAS PARTICULARES PARA INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN (HASTA 30 kV) Y BAJA TENSIÓN de la compañía, la intensidad de cortocircuito máxima en la red para tensiones de hasta 24 kV es de 12,5 kA.

Se ha seleccionado el modelo iC60N - 2P – 25A del fabricante SCHNEIDER ELECTRIC. Tiene una intensidad nominal de 25A y un poder de corte de 20 kA.

Por último, queda seleccionar el interruptor diferencial. Para ello es necesario definir dos parámetros.

En primer lugar, la sensibilidad o corriente diferencial de defecto. Para aplicaciones domésticas la sensibilidad que habitualmente se utiliza es de 30 mA, sin embargo, para el resto de aplicaciones no es necesaria tanta sensibilidad, por lo que se suele utilizar de 300 mA.

El segundo parámetro a definir es el calibre o corriente asignada. Ésta se elige en función de la corriente nominal del circuito y de la corriente nominal del magnetotérmico. Si se instala el interruptor diferencial aguas arriba del interruptor magnetotérmico, la corriente asignada del primero debe ser, al menos, igual que la del segundo. Sin embargo, se ha optado por sobredimensionar ligeramente el calibre de manera que se cumpla la siguiente norma:

$$I_{N,dif} \geq 1,4 \cdot I_{N,magneto}$$

Ecuación 7: Condición de elección del calibre del diferencial

En este caso, la corriente asignada del interruptor magnetotérmico es de 25 A, por lo que el calibre del diferencial deberá ser mayor que 35 A. Se ha seleccionado un interruptor diferencial de 25 A y 300 mA, concretamente el modelo iID - 2P - 40A - 300mA de SCHNEIDER ELECTRIC.

Por otra parte, tal y como se ha indicado en el punto 3.1. Análisis de los edificios, para que los elementos de la terraza del edificio del Ayuntamiento (muros, cubículo y lucernario) no generaran sombras sobre la instalación que pudieran producir pérdidas en la producción de energía, la solución adoptada consistía en la instalación de los paneles fotovoltaicos sobre una estructura metálica que hiciera a su vez funciones de pérgola.

Para el cálculo de la estructura se ha utilizado el software SAP2000. Se trata de un programa que permite el modelado, análisis y dimensionamiento de estructuras de todo tipo.

En primer lugar, ha sido necesario diseñar la estructura, teniendo en cuenta que la terraza no tiene una forma regular. La estructura será como se muestra en la siguiente imagen:

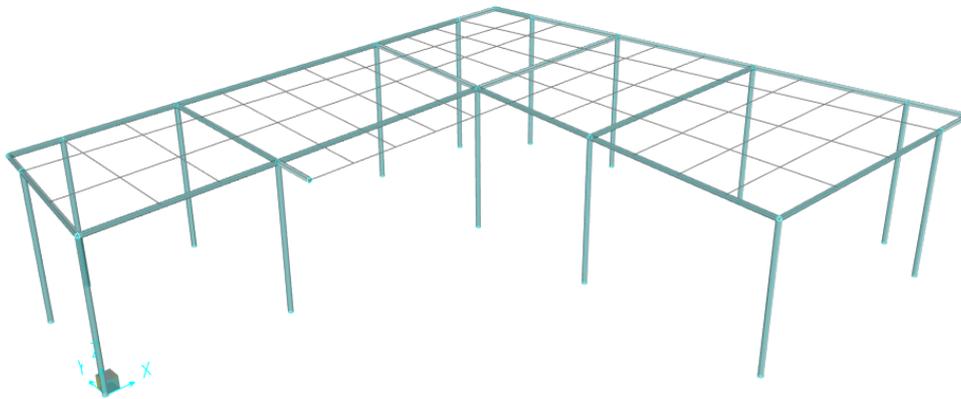


Ilustración 17: Diseño de la estructura metálica para soportar los paneles solares del Ayuntamiento

Dado que las cargas que deberá soportar no son muy elevadas se ha seleccionado un perfil tubular normalizado de acero de 3 mm de espesor y 10 cm de diámetro exterior. Dado que la instalación es exterior, se le aplicará un tratamiento de galvanizado que proteja la estructura de la corrosión.

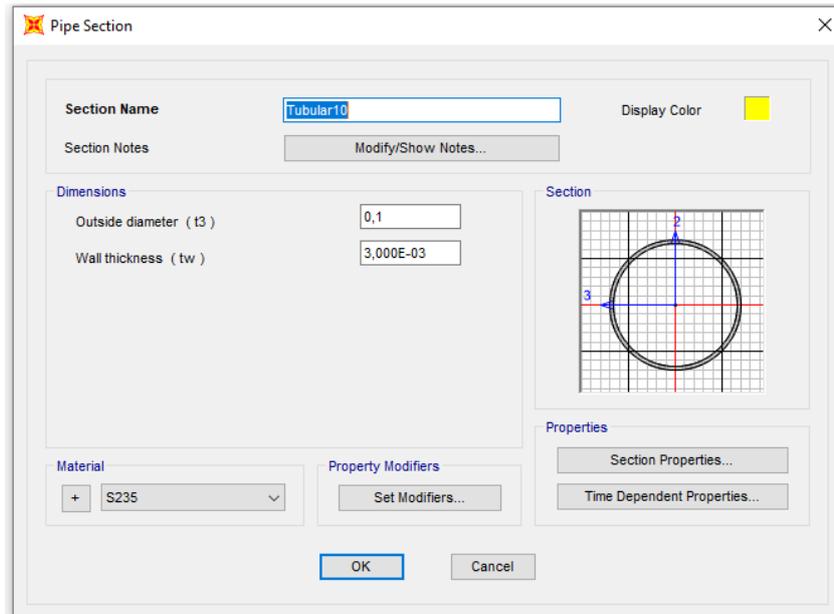


Ilustración 18: Sección tubular seleccionada para el cálculo de la estructura del Ayuntamiento

Para poder comprobar si el perfil seleccionado es apropiado es necesario definir las cargas que teóricamente debe soportar la estructura. En primer lugar, se encuentran las cargas permanentes. Estas cargas son:

- Peso de la propia estructura: el software lo tiene en cuenta al realizar las simulaciones
- Peso de los paneles solares por metro cuadrado: en este caso debe calcularse de la siguiente manera:

$$\text{Superficie} = 1,625 \cdot 0,99 = 1,6335 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso} = 22,5 \cdot \frac{9,8}{1000} = 0,2205 \text{ kN}$$

$$\text{Carga} = \frac{0,2205}{1,635} = 0,1349 \text{ kN/m}^2$$

Respecto a las cargas variables, se deben seleccionar los siguientes valores en función del tipo de instalación y de su localización. Por una parte, está la sobrecarga de uso. Este valor se define en función del tipo de instalación y se obtiene a partir de la tabla 3.1. del Documento Básico SE-AE Seguridad Estructural: Acciones en la edificación del Código Técnico de la Edificación (CTE):

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁸⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁶⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 48: tabla de valores característicos de las sobrecargas de uso. Fuente: CTE

En el caso que se está estudiando se trata de una cubierta accesible únicamente para conservación (categoría G), sobre correas sin forjado (G1). Por lo que, al tratarse de una carga uniforme, el valor a utilizar es de 0,4 kN/m².

El otro valor a tener en cuenta es la sobrecarga por nieve. En la tabla 3.8 del mismo documento básico del CTE que en el caso anterior se define este valor en función de la provincia. En el caso de Betxí, se debe seleccionar la provincia de Castellón:

Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²	Capital	Altitud m	s _k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	1.130	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebastián/Donostia	0	0,3
Ávila	180	1,0	Jaén	570	0,4	Santander	1.000	0,7
Badajoz	0	0,2	León	820	1,2	Segovia	10	0,2
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Sevilla	1.090	0,9
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Lugo	380	0,6	Soria	0	0,4
Burgos	860	0,6	Madrid	470	0,7	Tarragona	0	0,2
Cáceres	440	0,4	Málaga	660	0,6	Tenerife	950	0,9
Cádiz	0	0,2	Murcia	0	0,2	Teruel	550	0,5
Castellón	0	0,2	Orense / Ourense	40	0,2	Toledo	0	0,2
Ciudad Real	640	0,6	Oviedo	130	0,4	Valencia/València	690	0,4
Córdoba	100	0,2	Palencia	230	0,5	Valladolid	520	0,7
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palma de Mallorca	740	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,4
Cuenca	1.010	1,0	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,4
Gerona / Girona	70	0,4	Pamplona/Iruña	0	0,2	Zaragoza	0	0,5
Granada	690	0,5		450	0,7	Ceuta y Melilla	0	0,2

Tabla 49: Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas. Fuente: CTE

Una vez definidas todas las cargas, SAP2000 ya puede realizar la simulación. El resultado de la misma es el siguiente:

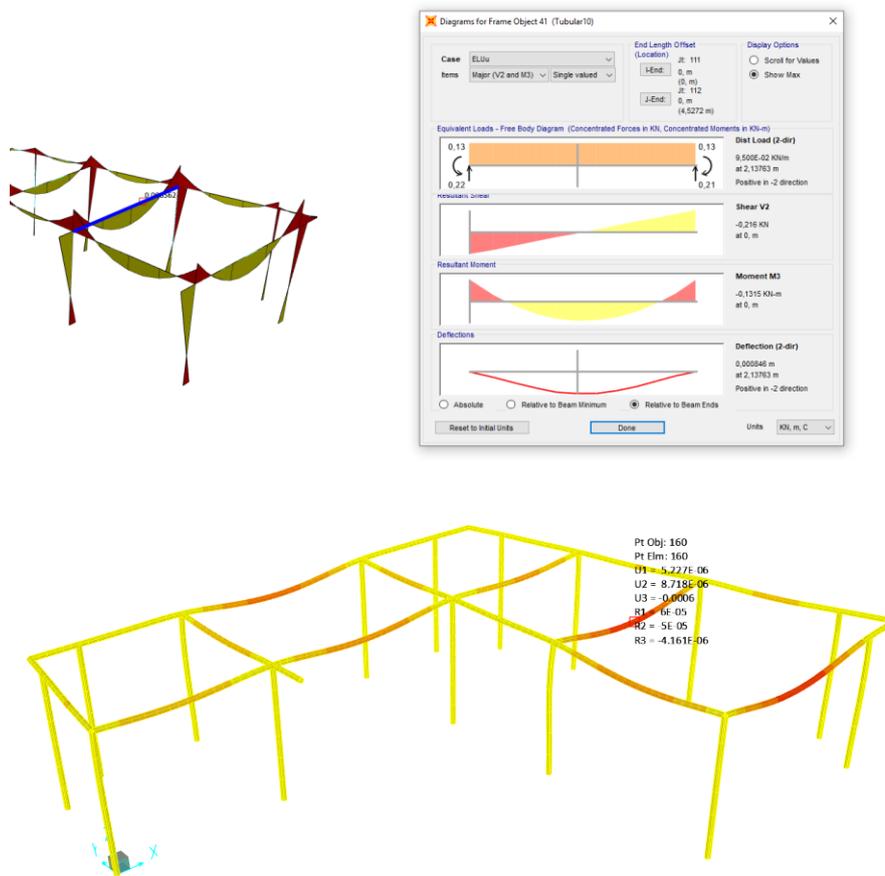


Ilustración 19: Resultados obtenidos en SAP2000

La deformación de las barras, o flecha, máxima que se ha obtenido es de -0,0006 m en una barra de 4,5 metros de longitud. Lo que supone $0,0006/4,5=1/7500$

Dicho valor de deformación máxima es muy inferior a los valores máximos definidos en el apartado 4.3.3. del Documento Básico de Seguridad Estructural del CTE, por lo que se confirma que la estructura es apropiada para la carga que va a soportar:

4.3.3 Deformaciones

4.3.3.1 Flechas

- 1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:
 - a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
 - b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
 - c) 1/300 en el resto de los casos.
- 2 Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que 1/350.
- 3 Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300.

Ilustración 20: Deformaciones máximas admisibles. Fuente: CTE

En la siguiente imagen se muestra un plano de la planta de la estructura con la posición de los paneles fotovoltaicos:

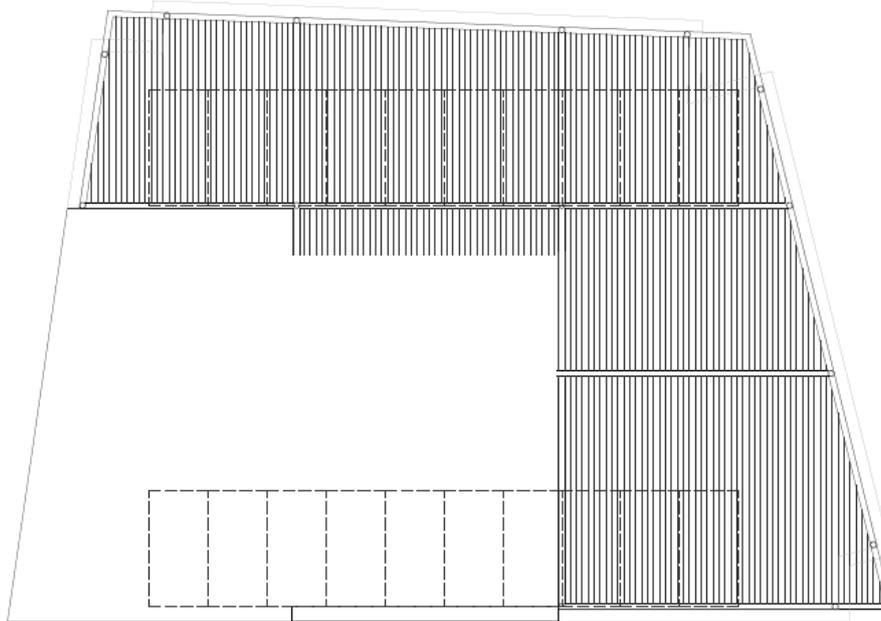


Ilustración 21: Planta estructura y posición de los paneles

El resultado final de la estructura tendrá una estética similar a la estructura de la siguiente imagen, en el Parque Magallanes de Sevilla:



Ilustración 22: Resultado final de la estructura. Fuente: vazquezconsuegra.com

4.2. Escuela infantil

La solución óptima que se ha obtenido para la escuela infantil es la misma que para el Ayuntamiento: 20 paneles solares que entregan 6,6 Kwp. Por lo tanto, y ya que las longitudes de los conductores son iguales o menores, todos los elementos escogidos para el Ayuntamiento continúan siendo válidos.

4.3. Almacén municipal

En el almacén municipal la solución óptima consiste en la instalación de 30 paneles solares. Se trata de una solución con un 50% más de potencia instalada que la del Ayuntamiento y la escuela infantil.

De nuevo, si se instalan los 30 paneles solares en dos strings, las tensiones generadas serán:

$$V_{max_{oc}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{oc} = 15 \cdot 46,78 = 701,7 \text{ V}$$

$$V_{dc_{mp}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{mp} = 15 \cdot 38,07 = 571,05 \text{ V}$$

Ecuación 9: Tensiones de entrada al inversor en el almacén municipal

Se superan las tensiones máximas de entrada (500 V y 600 V), y si se dispusieran en 3 strings se superaría la corriente máxima admisible por entrada (15 A). Por lo tanto, será necesario otro inversor.

Por una parte, 20 de los paneles seguirán la misma disposición que en Ayuntamiento y la escuela infantil, alimentando un inversor SUNNY BOY 5.0 separados en dos strings. Los 10 paneles restantes formarán otro string que alimentará un inversor SUNNY BOY 3.0. De esta manera, las tensiones de entrada serán las mismas para todos los casos:

Las corrientes de trabajo y de cortocircuito son las mismas que en los casos anteriores, por lo que el inversor es válido.

Respecto a los conductores. En la parte de continua sigue siendo válido el de 2,5 mm² de sección:

Longitud	Umpp (V)	Icc (A)	ΔU max (V)	Smin (mm ²)	Sección normalizada superior (mm ²)	ΔU (V)	ΔU (%)
35	380,7	9,12	5,7105	1,996	2,5	4,56	1,2%

Tabla 50: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en el almacén municipal

Para la parte de alterna, cabe tener en cuenta que la intensidad de salida de los inversores no es la misma. Mientras que en el SUNNY 5.0 son 22 A, en el 3.0 son 16 A.

En la parte de alterna podría utilizarse un conductor de 6 mm².

Longitud	U (V)	I _{max} (A)	ΔU max (V)	Smin (mm ²)	Sección normalizada superior (mm ²)	ΔU (V)	ΔU (%)
20	230	22,000	3,45	4,555	6	2,268	1,0%

Longitud	U (V)	I _{max} (A)	ΔU max (V)	Smin (mm ²)	Sección normalizada superior (mm ²)	ΔU (V)	ΔU (%)
20	230	16,000	3,45	3,313	6	1,650	0,7%

Tabla 51: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre el inversor y el equipo de medida en el Almacén municipal

Al seleccionar los mismos conductores y al mantenerse las intensidades de funcionamiento y cortocircuito, las protecciones a utilizar en la parte de continua son las mismas que en los casos anteriores.

Respecto a las de alterna, en este caso los magnetotérmicos deberán ser de 20 A y 25 A, por lo que se seleccionarán los modelos iC60N - 2P – 20A y iC60N - 2P – 25A de SCHNEIDER-ELECTRIC, ambos con poder de corte de 20 kA.

Por último, queda seleccionar el interruptor diferencial. Se ha seleccionado un interruptor diferencial de 25 A y 300 mA, concretamente el modelo iID - 2P - 40A - 300mA de SCHNEIDER ELECTRIC, para ambos casos.

4.4. Polideportivo

Para el polideportivo la solución óptima que indica HOMER es la instalación de 42 paneles solares, que generan 13,86 kWp.

En este caso se propone instalar dos inversores SUNNY BOY 5.0. Uno de ellos contará con dos arrays de 11 paneles cada uno, y el otro con dos arrays de 10 paneles cada uno. Se trata de una solución prácticamente idéntica a la propuesta para el Ayuntamiento, por lo que únicamente será necesario comprobar que el array de 11 paneles no supera las tensiones máximas admisibles por el inversor.

$$V_{max_{oc}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{oc} = 11 \cdot 46,78 = 514,58V$$

$$V_{dc_{mp}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{mp} = 11 \cdot 38,07 = 418,77V$$

Ecuación 10: Tensiones de entrada al inversor en el polideportivo

En este caso tampoco se superan las tensiones máximas admisibles por el inversor.

La parte de alterna será igual que en el Ayuntamiento, sin embargo, en la parte de continua será necesario instalar un conductor de 6 mm² de sección:

Longitud	Umpp (V)	Icc (A)	ΔU max (V)	Smin (mm ²)	Sección normalizada superior (mm ²)	ΔU (V)	ΔU (%)
40	418,77	18,24	6,28155	4,148	6	4,342857	1,0%

Tabla 52: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en el polideportivo

El fusible de 16 A que se ha seleccionado para la instalación del Ayuntamiento sigue siendo válido, ya que la intensidad de trabajo es la misma, y la corriente máxima admisible en un conductor de 6 mm² es mayor que en uno de 2,5 mm².

4.5. Juzgado de paz

Según las simulaciones realizadas en HOMER, la solución técnico-económica óptima para el juzgado de paz es la instalación de 12 paneles solares fotovoltaicos siguiendo la misma configuración que en los casos anteriores.

En este caso, con dos string de 6 paneles, las tensiones generadas serían:

$$V_{max_{oc}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{oc} = 6 \cdot 46,78 = 280,68V$$

$$V_{dc_{mp}} = N^{\circ} \text{ paneles en serie} \cdot V_{mp} = 6 \cdot 38,07 = 228,42 V$$

Ecuación 8: Tensiones de entrada al inversor en la escuela infantil

En este caso, se podría seleccionar el inversor SUNNY BOY 2.0, que admite hasta 4 kWp de potencia de entrada. Las tensiones e intensidades de entrada quedan dentro del rango del inversor, por lo que es apropiado.

En este caso los conductores a utilizar deben ser de 4 mm² en la parte de corriente continua y de 6 mm² en la parte de alterna.

Longitud	Umpp (V)	Icc (A)	Δ U max (V)	Smin (mm ²)	Sección normalizada superior (mm ²)	Δ U (V)	Δ U (%)
30	228,42	9,12	3,4263	2,852	4	2,442857	1,1%

Tabla 53: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre los módulos fotovoltaicos y el inversor en la escuela infantil

Longitud	U (V)	I _{max} (A)	Δ U max (V)	Smin (mm ²)	Sección normalizada superior (mm ²)	Δ U (V)	Δ U (%)
60	230	9,000	3,45	5,590	6	2,784	1,2%

Tabla 54: Cálculo de la sección mínima según el criterio de la caída de tensión máxima entre el inversor y el equipo de medida en la escuela infantil

Al seleccionar los mismos conductores y como la instalación consta únicamente de un string de paneles solares, las protecciones a utilizar son las mismas que en el Ayuntamiento.

Las protecciones en continua que se han seleccionado en los casos anteriores continúan siendo válidas para esta instalación.

Respecto a las de alterna, cabe recordar que la intensidad nominal de la instalación deberá ser menor o igual a la nominal del magnetotérmico, y ésta deberá estar por debajo de la intensidad máxima admisible por el conductor.

En este caso se había seleccionado un conductor de 6 mm². En la tabla 43 se indica que la intensidad máxima admisible es de 49 A. La intensidad normal de funcionamiento se ha indicado que es de 9 A. Los valores de intensidad nominal normalizados para interruptores magnetotérmicos son:

1	16	50	160	1250
2	20	63	250	1600
3	25	80	400	2000
6	32	100	630	2500
10	40	125	800	3200

Tabla 55: Valores de I_n (A) normalizados para interruptores magnetotérmicos

Por lo tanto, el valor de la intensidad nominal del interruptor magnetotérmico deberá ser 10 A, sin embargo, se selecciona el de 16 A para que no esté tan ajustado.

Por lo tanto, se ha seleccionado el modelo iC60N - 2P – 16A del fabricante SCHNEIDER ELECTRIC. Tiene una intensidad nominal de 16A y un poder de corte de 20 kA.

Por último, queda seleccionar el interruptor diferencial. En este caso, dado que la corriente asignada del interruptor magnetotérmico es de 16 A, por lo que el calibre del diferencial deberá ser mayor que 22,4 A. Se ha seleccionado un interruptor diferencial de 40 A y 300 mA, concretamente el modelo iID - 2P - 40A - 300mA de SCHNEIDER ELECTRIC.

4.6. Centro de día

Por último, el centro de día. En este caso, la solución óptima consiste en la instalación de 11,22 kW fotovoltaicos, lo que suponen 34 paneles. Los 34 paneles pueden dividirse en 4 arrays; por una parte 2 arrays de 11 paneles cada uno que alimentaría un inversor SUNNY BOY 5.0 como en el Polideportivo, y por la otra 2 arrays de 6 que alimentaría un inversor SUNNY BOY 2.0, como en el Juzgado de Paz.

Dado que en este caso las longitudes de los conductores son menores que en los anteriores edificios, las protecciones y secciones consideradas siguen siendo válidas para la instalación fotovoltaica del Centro de Día.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. Estudio de costes

Para realizar el análisis económico de la implantación de los sistemas híbridos renovables se va a considerar que se realizan todas las actuaciones de todos los edificios. De esta manera, al igual que se consideró al establecer los costes de instalación para realizar las simulaciones, es posible optimizar costos obteniendo descuentos por parte de los proveedores al aumentar el volumen de la compra del material.

En primer lugar, se definirá el estado de mediciones del total de los edificios y se considerará el precio el coste de partida de cada uno de los componentes.

Partida	Mediciones						TOTAL
	Ayuntamiento	Escuela infantil	Almacén	Polideportivo	Juzgado de paz	Centro de día	
Paneles fotovoltaicos ATERSA A-330M	20	20	30	42	12	34	158
Inversor SUNNY BOY 5.0	1	1	1	2	0	1	6
Inversor SUNNY BOY 3.0	0	0	1	0	0	0	1
Inversor SUNNY BOY 2.0	0	0	0	0	1	1	2
Estructura soporte reforzada para 5 paneles solares de 72 células	4	4	6	0	0	6	20
Estructura soporte reforzada para 4 paneles solares de 72 células	0	0	0	0	3	1	4
Pérgola acero soporte paneles	1	0	0	0	0	0	1
Cableado CC - RZ1-K (AS) 2,5 mm2	120	120	210	0	0	0	450
Cableado CC - RZ1-K (AS) 4 mm2	0	0	0	0	120	140	260
Cableado CC - RZ1-K (AS) 6 mm2	0	0	80	160	124	140	504
Cableado CA - RZ1-K (AS) 10 mm2	0	0	0	0	0	30	30
Cableado CA - RZ1-K (AS) 16 mm2	100	100	0	100	0	30	330
Fusible 16A + Portafusibles	2	2	3	3	2	1	13
Descargador sobretensiones SG2 DG K10M3R	1	1	2	2	1	1	8
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P - 16A	0	0	0	0	1	0	1
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P - 20A	0	0	1	0	0	0	1
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P - 25A	1	1	1	2	0	1	6
Interruptor diferencial SCHNEIDER iID - 2P - 40A - 300mA	1	1	2	2	1	2	9

Tabla 56: Mediciones totales

Como se puede observar en la siguiente tabla, si se consideran los precios teóricos, el total del material supera los 62.000€ de coste:

Partida	Coste unitario	TOTAL	Coste total
Paneles fotovoltaicos ATERSA A-330M	237,44 €	158	37.515,24 €
Inversor SUNNY BOY 5.0	1.309,56 €	6	7.857,36 €
Inversor SUNNY BOY 3.0	1.091,25 €	1	1.091,25 €
Inversor SUNNY BOY 2.0	882,09 €	2	1.764,18 €

Estructura soporte reforzada para 5 paneles solares de 72 células	297,31 €	20	5.946,27 €
Estructura soporte reforzada para 4 paneles solares de 72 células	248,28 €	4	993,12 €
Pérgola acero soporte paneles	2.500,00 €	1	2.500,00 €
Cableado CC - RZ1-K (AS) 2,5 mm2	0,55 €	450	247,50 €
Cableado CC - RZ1-K (AS) 4 mm2	0,75 €	260	195,00 €
Cableado CC - RZ1-K (AS) 6 mm2	0,92 €	504	463,68 €
Cableado CA - RZ1-K (AS) 10 mm2	1,51 €	30	45,30 €
Cableado CA - RZ1-K (AS) 16 mm2	2,20 €	330	726,00 €
Fusible 16A + Portafusibles	3,65 €	13	47,42 €
Descargador sobretensiones SG2 DG K10M3R	84,64 €	8	677,10 €
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P – 16A	77,41 €	1	77,41 €
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P – 20A	78,25 €	1	78,25 €
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P – 25A	81,31 €	6	487,86 €
Interruptor diferencial SCHNEIDER iID - 2P - 40A - 300mA	217,67 €	9	1.959,036 €

Tabla 57: Coste teórico total del material

Debido al volumen de la compra, se ha considerado un descuento en el material del 10%. Dicho descuento aplica únicamente al material eléctrico y a las estructuras de los paneles. A la pérgola metálica no se le ha aplicado el descuento, ya que el tipo de proveedor es otro. Por lo tanto, el coste del material de cada uno de los edificios sería:

Partida	Coste unitario	Mediciones					
		Ayuntamie nto	Escuela infantil	Almacén	Polideport ivo	Juzgado de paz	Centro de día
Paneles fotovoltaicos ATERSA A-330M	213,69 €	20	20	30	42	12	34
Inversor SUNNY BOY 5.0	1.178,60 €	1	1	1	2	0	1
Inversor SUNNY BOY 3.0	982,13 €	0	0	1	0	0	0
Inversor SUNNY BOY 2.0	793,88 €	0	0	0	0	1	1
Estructura soporte reforzada para 5 paneles solares de 72 células	267,58 €	4	4	6	0	0	6
Estructura soporte reforzada para 4 paneles solares de 72 células	223,45 €	0	0	0	0	3	1
Pérgola acero soporte paneles	2.250,00 €	1	0	0	0	0	0
Cableado CC - RZ1-K (AS) 2,5 mm2	0,50 €	120	120	210	0	0	0
Cableado CC - RZ1-K (AS) 4 mm2	0,68 €	0	0	0	0	120	140
Cableado CC - RZ1-K (AS) 6 mm2	0,83 €	0	0	80	160	124	140
Cableado CA - RZ1-K (AS) 10 mm2	1,36 €	0	0	0	0	0	30
Cableado CA - RZ1-K (AS) 16 mm2	1,98 €	100	100	0	100	0	30
Fusible 16A + Portafusibles	3,28 €	2	2	3	3	2	1
Descargador sobretensiones SG2 DG K10M3R	76,17 €	1	1	2	2	1	1
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P – 16A	69,67 €	0	0	0	0	1	0
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P – 20A	70,43 €	0	0	1	0	0	0
Interruptor magnetotérmico SCHNEIDER iC60N - 2P – 25A	73,18 €	1	1	1	2	0	1
Interruptor diferencial SCHNEIDER iID - 2P - 40A - 300mA	195,90 €	1	1	2	2	1	2

9.382,04 €	7.132,04 €	11.044,85 €	12.363,21 €	4.560,55 €	11.726,17 €
------------	------------	-------------	-------------	------------	-------------

Tabla 58: Costes reales del material de cada uno de los edificios

Respecto a los costes de instalación, se pueden dividir en cuatro conceptos diferentes:

- Montaje de la estructura metálica del ayuntamiento: para el montaje de la estructura metálica que debe soportar los paneles fotovoltaicos en la azotea del ayuntamiento se han estimado 3 jornadas completas de trabajo, lo que supone un coste de 960€.
- Montaje de la instalación eléctrica: debido a que el número de paneles que va a instalarse en cada uno de los edificios es bastante reducido, se ha estimado una jornada de trabajo para cada uno de ellos. Cada jornada tiene un coste de 320€
- Alquiler de camión grúa: para elevar todos los materiales a las azoteas de los diferentes edificios será necesario utilizar una grúa. El coste de alquiler de una grúa es de 150€ al día. Se ha contemplado un día de alquiler para el conjunto de los edificios, por lo que el coste se reparte a partes iguales entre los 6 edificios.
- Puesta en marcha: para la entrega de la instalación y la puesta en marcha se ha contemplado un coste de 250€ por edificio.

Por lo tanto, los costes totales de cada uno de los edificios son los siguientes:

Edificio	Coste material	Coste instalación	Coste total
Ayuntamiento	9.382,04 €	1.555,00 €	10.937,04 €
Escuela infantil	7.132,04 €	595,00 €	7.727,04 €
Almacén	11.044,85 €	595,00 €	11.639,85 €
Polideportivo	12.363,21 €	595,00 €	12.958,21 €
Juzgado de paz	4.560,55 €	595,00 €	5.155,55 €
Centro de día	11.726,17 €	595,00 €	12.321,17 €

Tabla 59: Costes de instalación totales

5.2. Estudio de viabilidad

Para el estudio de la viabilidad se han analizado parámetros:

- Valor actual neto de la inversión (VAN)
- Payback simple teniendo en cuenta los costes de repuesto de material
- Payback simple sin tener en cuenta los costes de repuesto de material

En resumen, los resultados que se han obtenido son:

EDIFICIO	Inversión	Ahorro anual	VAN	PAYBACK (Con repuestos)	PAYBACK (Sin repuestos)
Ayuntamiento	10.937,04 €	1115	7.430,03 €	14,2	9,8
Escuela infantil	7.727,04 €	1115	10.640,03 €	11,4	6,9
Almacén	11.639,85 €	1191	11.639,85 €	15,6	9,8
Polideportivo	12.958,21 €	1732	17.832,83 €	10,0	7,5
Juzgado de paz	5.155,55 €	554	3.382,91 €	15,2	9,3
Centro de día	12.321,17 €	1163	5.550,07 €	16,5	10,6

Tabla 60: Resultados del estudio de viabilidad

Como se puede observar, en todos los casos en VAN es positivo, lo que indica que la inversión es rentable. Si se tiene en consideración el payback contemplando como coste los costes de los repuestos los periodos de retorno oscilan entre los 10 y los 16,5 años. Sin embargo, si para calcular el payback de la inversión no se tienen en cuenta los costes de repuesto, los periodos de retorno de la inversión son mucho menores, entre 7,5 y 10,6 años.

La segunda manera de calcular el payback es más válida que la primera, ya que en todos los casos la inversión se amortiza antes de que sea necesario una renovación significativa de los componentes de la instalación (a los 15 años). Por lo tanto, en el momento en el que sea necesario renovar algún componente, la instalación ya estará amortizada, por lo que podrá realizarse un nuevo estudio con las tecnologías existentes en el momento y decidir qué opción es más ventajosa.

6. CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo era realizar un estudio de viabilidad para la implantación de sistemas híbridos renovables en los edificios municipales en Betxí. Para ello se han analizado los recursos disponibles en la zona, las tecnologías disponibles, así como los consumos de los edificios.

En una primera fase, dado que la información de los consumos de los edificios municipales que se dispone en muchos casos no era completa, se ha estudiado la posibilidad de instalar sistemas de generación de energía eléctrica mediante recursos renovables (fotovoltaica en todos los casos).

En todos los casos se ha demostrado que la inversión es rentable, y que es posible cubrir un porcentaje elevado de la demanda del edificio con energía de fuentes renovables con un periodo de retorno razonable teniendo en cuenta la vida útil de la instalación.

Se ha demostrado también la ventaja que supone en términos económicos la implementación de todos los sistemas en conjunto y no por separado, optimizando costos tanto en la compra de los componentes como en su instalación.

Dado que la compañía distribuidora de la zona (Iberdrola) ha continuado con la instalación de contadores inteligentes (proyecto STAR), será posible analizar el resto de puntos de suministro de titularidad municipal en un futuro, y así continuar con la implantación de Sistemas Híbridos Renovables y promocionando su uso entre la ciudadanía.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes de clase de la asignatura perteneciente al máster MUTEDS “Sistemas híbridos renovables”
- Estudio RD-Ley15/2018

<https://www.cambioenergetico.com/Documentos/estudio-real-decreto-ley-15-2018.pdf>

- PVGIS

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html

- HOMER Energy

<https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.13/index.html>

- Datos Climáticos

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/betx%c3%ad_espa%c3%b1a_2521198

<https://datosclima.es/Aemet2013/Vientostad2013.php>

- -Tarifas

<https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/precio-voluntario-pequeno-consumidor-pvpc>

<https://www.esios.ree.es/es/pvpc>

<https://lucera.es/blog/precio-medio-electricidad-2018>

<http://www.controlastuenergia.gob.es/factura-electrica/factura/paginas/conceptos-factura.aspx#potencia>

- Reglamento y normativa de aplicación

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_19_feb09R2.pdf

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/guias/guia_bt_anexo_2_sep03R1.pdf

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10765/FUSIBLES.pdf>

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_22.pdf

https://www.i-de.es/socdis/gc/prod/en_US/contenidos/docs/MT_2_90_01.pdf

<http://platea.pntic.mec.es/alabarta/CVE/Soporte/Materiales/diferenciales.pdf>

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_25.pdf

https://www.i-de.es/socdis/gc/prod/en_US/contenidos/docs/MT_2_90_01.pdf#page=32&zoom=100,92,82

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>

<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>

8. ANEXOS

+ Ultra *nueva gama*

➔ Módulo fotovoltaico
A-320M / A-325M / A-330M (TYCO 3.2)



+ UltraTolerancia positiva
Positiva 0/+5 Wp

+ UltraCalidad
Anti Hot-Spot

+ UltraGarantía
10 años de garantía de producto

+ UltraFiabilidad
En el mercado desde 1979

+ UltraResistencia
Cristal templado de 3.2 mm

+ UltraTES
Verificación eléctrica célula a célula



Sistema único
en el mercado,
patentado por
Atersa.



Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

	A-320M	A-325M	A-330M
Potencia Nominal (0/+5 W)	320 W	325 W	330 W
Eficiencia del módulo	16,45%	16,71%	16,96%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,52 A	8,60 A	8,67 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	37,56 V	37,82 V	38,07 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,99 A	9,06 A	9,12 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	46,08 V	46,43 V	46,78 V

Parámetros térmicos

Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas

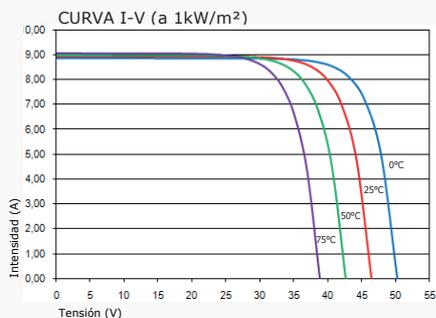
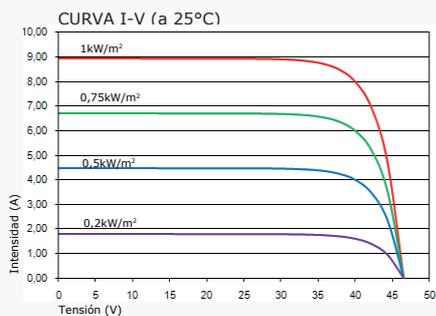
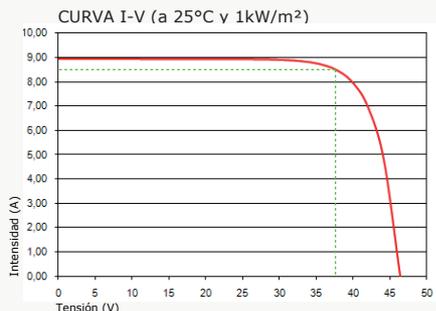
Dimensiones (± 2 mm)	1965x990x40
Peso (± 0,5 kg)	22,5
Área (m ²)	1,95
Tipo de célula (± 1 mm)	Monocristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Células en serie	72 (6x12)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2 mm
Marco	Aleación de aluminio anodizado o pintado en poliéster
Caja de conexiones	TYCO IP67
Cables	Cable Solar 4 mm ² 1200 mm
Conectores	TYCO PV4

Rango de funcionamiento

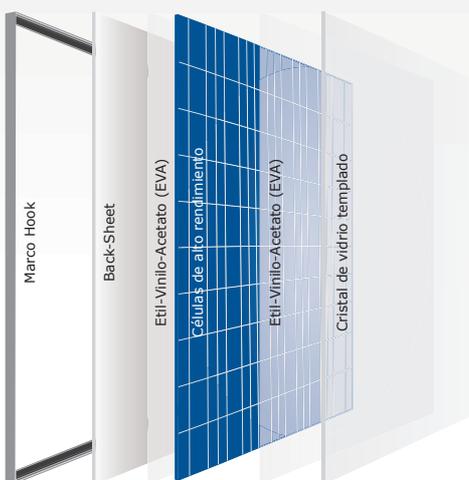
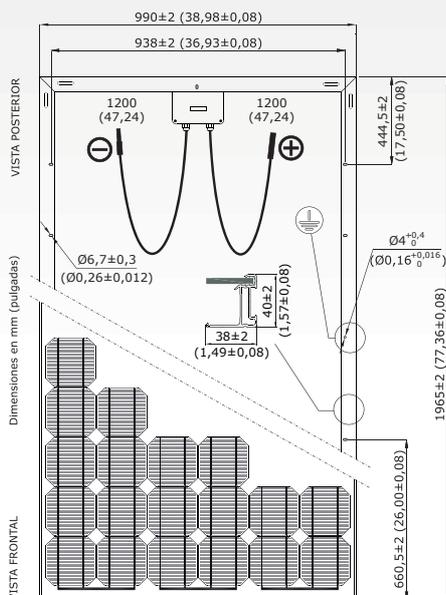
Temperatura	-40°C a +85°C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento / Nieve	2400 Pa (130 km/h)
Máxima Corriente Inversa (IR)	15,1 A

*Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C. Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

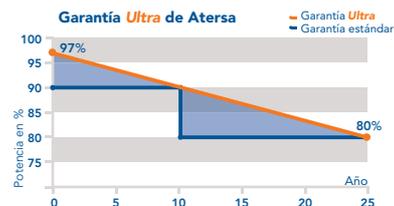
Curvas modelo A-320M



Vista genérica de la construcción de un módulo fotovoltaico



- Módulos por caja: **25 uds**
- Peso por palé: **595 kg**
- En un contenedor de 40 pies entran 21 cajas: **525 paneles**
- En un contenedor de 40 pies HC entran 22 cajas: **550 paneles**
- En un contenedor de 20 pies entran 9 cajas: **225 paneles**
- En un camión TAUTLINER entran 26 cajas: **650 paneles**



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

➔ www.atera.com • atera@elecnor.com
Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111

Revisado: 24/02/17
Ref.: MU-6M (5) 6x12-D (TY 3.2)
© Atersa SL, 2015



SUNNY BOY 1.5 / 2.0 / 2.5 with SMA SMART CONNECTED



SB1.5-1VL-40 / SB2.0-1VL-40 / SB2.5-1VL-40



Intelligent service with SMA Smart Connected

Compact

- One-person installation due to low weight of 9.2 kg
- Compact design means minimum space requirements

Easy to Use

- 100% plug and play installation
- Free online monitoring via Sunny Places
- Automated service thanks to SMA Smart Connected

High Yields

- Use of surplus energy through dynamic active power limitation
- Shade management with OptiTrac Global Peak

Combinable

- Wide input voltage range
- Intelligent energy management and storage solutions can be added anytime
- Can be combined with TS4-R components for module optimization

SUNNY BOY 1.5 / 2.0 / 2.5

The new standard for small PV systems

The Sunny Boy 1.5 / 2.0 / 2.5 is the perfect inverter for customers with small PV systems. Thanks to its broad input voltage range of 80 V to 600 V, its versatility, flexibility in module compatibility and low weight for easy installation are impressive. After smooth commissioning via the integrated web interface, the Sunny Boy 1.5 / 2.0 / 2.5 is ideal for local monitoring via the device's own wireless home network or for online monitoring with Sunny Portal or Sunny Places. Thanks to its integrated SMA Smart Connected service, this inverter offers ease and comfort for PV system operators and installers. The automatic inverter monitoring by SMA analyzes operation, reports irregularities and thus minimizes downtime.

SMA SMART CONNECTED

Integrated service for ease and comfort

SMA Smart Connected* is free monitoring of an inverter via the SMA Sunny Portal. If an inverter fails, SMA proactively informs the PV system owner and the installer. This saves valuable working time and costs.

With SMA Smart Connected, the installer benefits from rapid diagnoses by SMA. They can thus quickly rectify the fault and score points with the customer thanks to the additional, attractive services.



ACTIVATION OF SMA SMART CONNECTED

During registration of the system in the Sunny Portal, the installer activates SMA Smart Connected and benefits from automatic inverter monitoring by SMA.



AUTOMATIC INVERTER MONITORING

SMA takes on the job of inverter monitoring with SMA Smart Connected. SMA automatically checks the individual inverters for anomalies around the clock during operation. Every customer thus benefits from SMA's many years of experience.



PROACTIVE COMMUNICATION IN THE EVENT OF FAULTS

After a fault has been diagnosed and analyzed, SMA informs the installer and end customer immediately by email. Everyone is thus optimally prepared for the troubleshooting process. This minimizes downtime and saves time and money. Regular power reports also provide valuable information about the overall system.



REPLACEMENT SERVICE

If a replacement device is necessary, SMA automatically supplies a new inverter within one to three days of the fault diagnosis. The installer can contact the PV system operator of their own accord and replace the inverter.

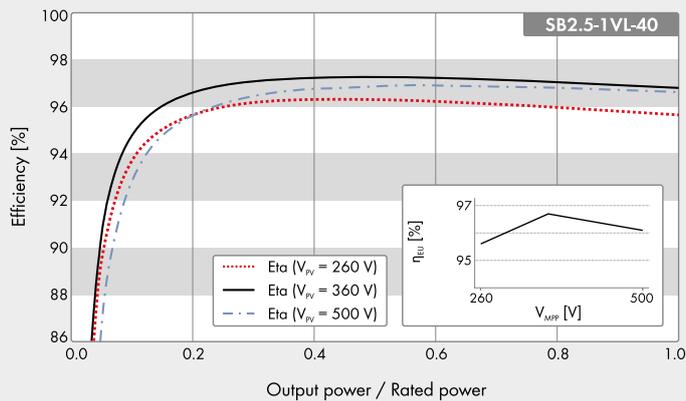


PERFORMANCE SERVICE

The PV system operator can claim compensation from SMA if the replacement inverter is not delivered within three days.

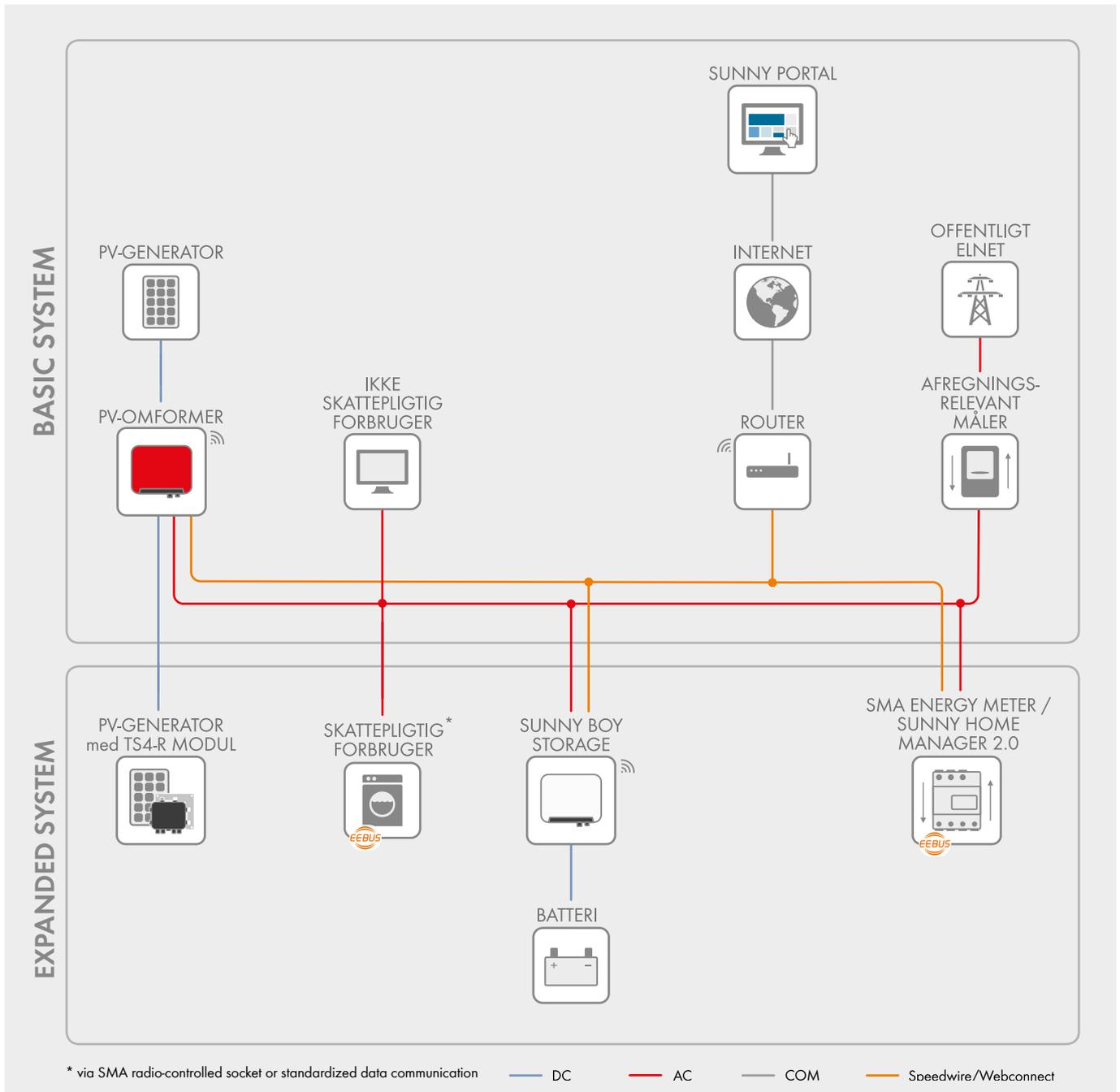
* Details: see document "Description of Services – SMA SMART CONNECTED"

Efficiency curve



● Standard features ○ Optional features – not available
 Data in nominal conditions
 Last updated: December 2018

Technical Data	Sunny Boy 1.5	Sunny Boy 2.0	Sunny Boy 2.5
Input (DC)			
Max. PV array power	3000 Wp	4000 Wp	5000 Wp
Max. input voltage	600 V	600 V	600 V
MPP voltage range	160 V to 500 V	210 V to 500 V	260 V to 500 V
Rated input voltage		360 V	
Min. input voltage / initial input voltage		50 V / 80 V	
Max. input current per string		10 A	
Max. short-circuit current per string		18 A	
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input		1 / 1	
Output (AC)			
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	1500 W	2000 W	2500 W
Max. apparent power AC	1500 VA	2000 VA	2500 VA
Nominal AC voltage		220 V / 230 V / 240 V	
Nominal AC voltage range		180 V to 280 V	
AC grid frequency / range		50 Hz, 60 Hz / -5 Hz to +5 Hz	
Rated grid frequency / rated grid voltage		50 Hz / 230 V	
Max. output current	7 A	9 A	11 A
Power factor at rated power		1	
Adjustable displacement power factor		0.8 overexcited to 0.8 underexcited	
Feed-in phases / connection phases		1 / 1	
Efficiency			
Max. efficiency / Euro-eta	97.2 % / 96.1 %	97.2 % / 96.4 %	97.2 % / 96.7 %
Protective Devices			
DC side disconnection point		●	
Ground fault monitoring / grid monitoring		● / ●	
DC reverse polarity protection / AC short circuit current capability / galvanically isolated		● / ● / -	
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit		●	
Protection class (according to IEC 62103) / surge category (according to IEC 60664-1)		I / III	
Reverse current protection		Not required	
General Data			
Dimensions (W / H / D)	460 / 357 / 122 mm (18.1 / 14.1 / 4.8 inches)		
Weight	9.2 kg (20.3 lbs)		
Operating temperature range	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)		
Noise emission, typical	< 25 dB		
Self-consumption (at night)	2.0 W		
Topology	Transformerless		
Cooling concept	Convection		
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65		
Climatic category (as per IEC 60721-3-4)	4K4H		
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %		
Features			
DC connection / AC connection	SUNCLIX / connector		
Display via smartphone, tablet, laptop	●		
Interfaces: WLAN / Ethernet	● / ●		
Communication protocols	Modbus (SMA, Sunspec), Webconnect		
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○		
Certificates and permits (more available upon request)	AS4777, C10/11, CE, CEI0-21, DIN EN 62109-1/IEC 62109-1, DIN EN 62109-2/IEC 62109-2, EN50438, G83/2, IEC61727, IEC62116, NBR16149, NEN-EN50438, NRS097-2-1, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, VFR2014		
Country availability of SMA Smart Connected	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK		
Type designation	SB 1.5-1VL-40	SB2.0-1VL-40	SB2.5-1VL-40



BASIC SYSTEM functions

- Easy commissioning via integrated WLAN and Speedwire interface
- Maximum transparency thanks to visualization in Sunny Portal/Sunny Places
- Safe investment through SMA Smart Connected
- Modbus as interface for third-party providers

Expanded SYSTEM FUNCTIONS

- Basic system functions
- Reduction in purchased electricity and increase in self-consumption through use of stored solar energy
- Maximum energy use thanks to forecast-based charging
- Increased self-consumption thanks to intelligent load control
- Maximum system yield through Smart module technology

With SMA Energy Meter

- Maximum system usage through dynamic limiting of feed-in to the grid between 0% and 100%
- Visualization of energy consumption

SUNNY BOY 3.0/3.6/4.0/5.0

SMA SMART CONNECTED incluido



Novedad:
la solución completa para
un confort al 100 %

SMA Smart Connected

- Seguridad de inversión incluida
- Monitorización automática por parte de SMA
- Información proactiva y servicio técnico automático

Sencillo

- Instalación plug & play segura
- Puesta en marcha a través de tablet o smartphone
- WLAN y servidor web intuitivo

Todo bajo control

- Monitorización en línea gratuita
- Datos de la planta visibles a través de Smartphone

Con un futuro asegurado

- Ampliable en cualquier momento con soluciones de almacenamiento, la gestión inteligente de la energía y la tecnología de módulos inteligentes de SMA
- Regulación de inyección dinámica

SUNNY BOY 3.0/3.6/4.0/5.0

Mucho más que un inversor. Más pequeño, más sencillo y más cómodo con SMA Smart Connected

El nuevo Sunny Boy 3.0-5.0 es el sucesor del inversor fotovoltaico de éxito internacional Sunny Boy 3000-5000TL y es más que simplemente un inversor: con el servicio técnico integrado, SMA Smart Connected ofrece un confort absoluto a los operadores de la planta e instaladores. La monitorización automática de inversores por parte de SMA analiza el funcionamiento, avisa de irregularidades y proporciona unos tiempos de inactividad mínimos.

El Sunny Boy es perfecto para generar energía fotovoltaica en hogares. El equipo es rápido de instalar gracias a su diseño extremadamente ligero y a las conexiones situadas en la parte exterior. Su servidor web intuitivo permite una puesta en marcha sencilla. Los estándares de comunicación actuales hacen que el inversor pueda ampliarse de forma flexible en cualquier momento con la gestión inteligente de la energía y las soluciones de almacenamiento de SMA.

SMA SMART CONNECTED

Servicio técnico integrado para un confort absoluto

SMA Smart Connected* es la monitorización gratuita del inversor a través de Sunny Portal de SMA. Si se produce un error en un inversor, SMA informa de manera proactiva al operador de la planta y al instalador. Esto ahorrará valiosas horas de trabajo y costes.

Con SMA Smart Connected el instalador se beneficia del diagnóstico rápido de SMA, lo que le permite solucionar los errores con rapidez y ganarse la simpatía del cliente con atractivas prestaciones adicionales.



ACTIVACIÓN DE SMA SMART CONNECTED

El instalador activa SMA Smart Connected durante el registro de la planta en Sunny Portal y de este modo se beneficia de la monitorización automática de inversores por parte de SMA.



MONITORIZACIÓN AUTOMÁTICA DE INVERSORES

Con SMA Smart Connected, SMA se hace cargo de la monitorización de los inversores. SMA supervisa cada uno de los inversores de forma automática y permanente para detectar anomalías en el funcionamiento. De este modo, los clientes se benefician de la vasta experiencia de SMA.



COMUNICACIÓN PROACTIVA EN CASO DE ERRORES

Tras el diagnóstico y el análisis de un error, SMA informa de inmediato al instalador y al cliente final por correo electrónico. Así todas las partes están perfectamente preparadas para corregir el error. Esto minimiza el tiempo de parada y, en consecuencia, ahorra tiempo y dinero. Gracias a los informes regulares sobre el rendimiento se obtienen valiosas conclusiones adicionales acerca del sistema completo.



SERVICIO DE RECAMBIO

En caso de requerirse un equipo de recambio, SMA suministra automáticamente un nuevo inversor en el plazo de 1 a 3 días tras diagnosticarse el error. El instalador puede dirigirse de forma activa al operador de la planta para la sustitución del inversor.

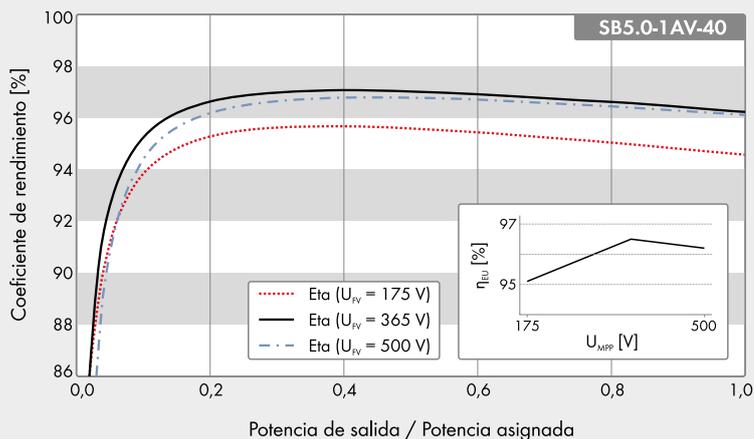


SERVICIO DE RENDIMIENTO

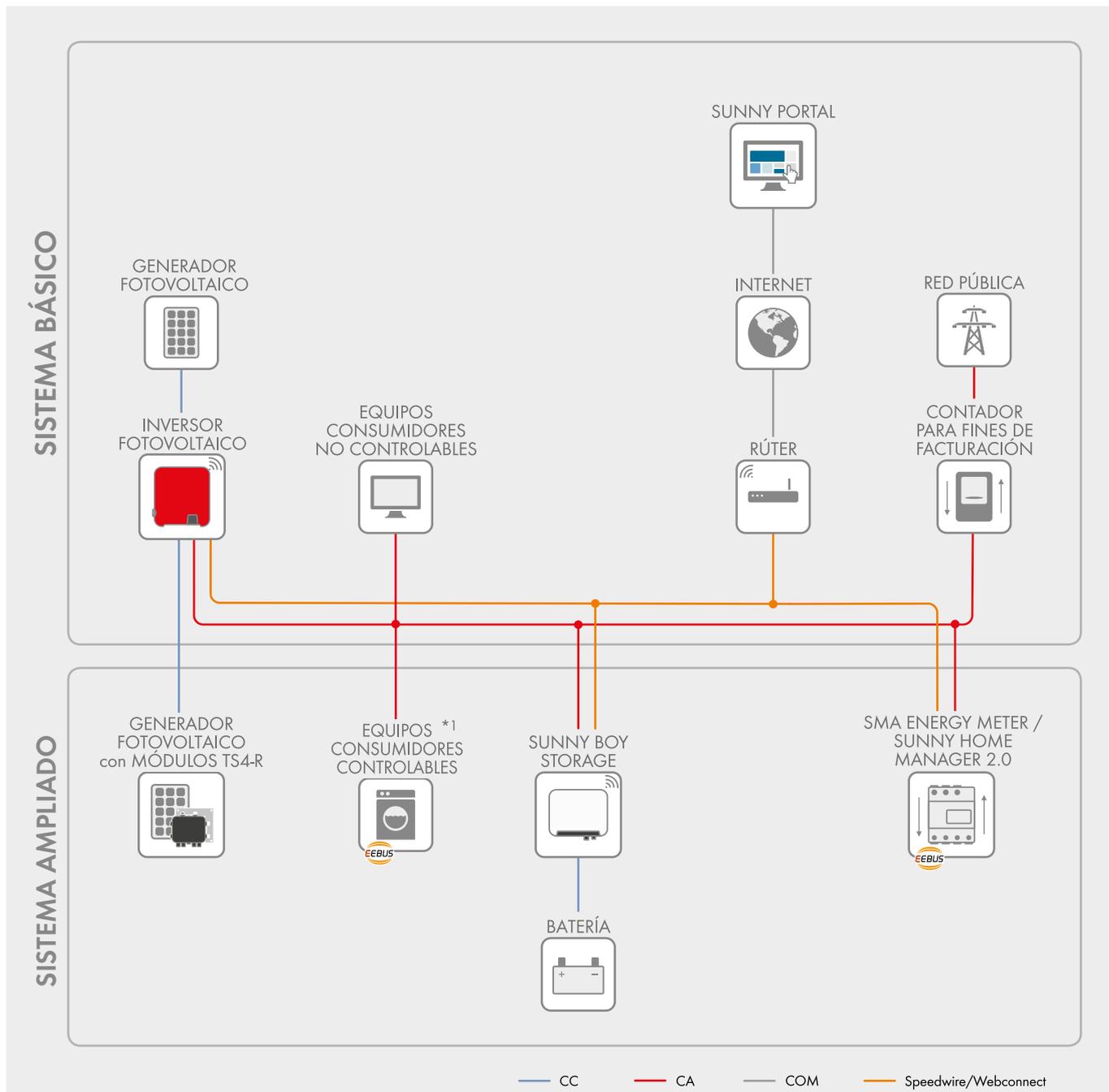
El operador de la planta puede exigir un pago compensatorio de parte de SMA si el inversor de recambio no se entrega dentro del plazo de 3 días.

* Para más detalles, véase el documento "Descripción de los servicios: SMA SMART CONNECTED"

Curva de rendimiento



Datos técnicos	Sunny Boy 3.0	Sunny Boy 3.6	Sunny Boy 4.0	Sunny Boy 5.0
Entrada (CC)				
Potencia máx. del generador fotovoltaico	5500 Wp	5500 Wp	7500 Wp	7500 Wp
Tensión de entrada máx.	600 V			
Rango de tensión del MPP	De 110 V a 500 V	De 130 V a 500 V	De 140 V a 500 V	De 175 V a 500 V
Tensión asignada de entrada	365 V			
Tensión de entrada mín./de inicio	100 V/125 V			
Corriente máx. de entrada, entradas: A/B	15 A/15 A			
Corriente máx. de entrada por string, entradas: A / B	15 A/15 A			
Número de entradas de MPP independientes/Strings por entrada de MPP	2/A:2; B:2			
Salida (CA)				
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	3000 W	3680 W	4000 W	5000 W ¹⁾
Potencia máx. aparente de CA	3000 VA	3680 VA	4000 VA	5000 VA ¹⁾
Tensión nominal de CA/Rango	220 V, 230 V, 240 V/De 180 V a 280 V			
Frecuencia de red de CA/Rango	50 Hz, 60 Hz/De -5 Hz a +5 Hz			
Frecuencia asignada de red/Tensión asignada de red	50 Hz/230 V			
Corriente máx. de salida	16 A	16 A	22 A ²⁾	22 A ²⁾
Factor de potencia a potencia asignada	1			
Factor de desfase ajustable	0,8 inductivo a 0,8 capacitivo			
Fases de inyección/conexión	1/1			
Rendimiento				
Rendimiento máx./europeo Rendimiento	97,0 %/96,4 %	97,0 %/96,5 %	97,0 %/96,5 %	97,0 %/96,5 %
Dispositivos de protección				
Punto de desconexión en el lado de entrada	●			
Monitorización de toma a tierra/de red	● / ●			
Protección contra polarización inversa de CC/Resistencia al cortocircuito de CA/ con separación galvánica	● / ● / -			
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●			
Clase de protección (según IEC 62103)/Categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I/III			
Datos generales				
Dimensiones (ancho/alto/fondo)	435 mm/470 mm/176 mm (17,1 in/18,5 in/6,9 in)			
Peso	16 kg (35,3 lb)			
Rango de temperatura de funcionamiento	De -25 °C a +60 °C (de -13 °F a +140 °F)			
Emisión sonora, típica	25 dB(A)			
Autoconsumo (nocturno)	1,0 W			
Topología	Sin transformador			
Sistema de refrigeración	Convección			
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65			
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H			
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %			
Equipamiento				
Conexión de CC/CA	SUNCLIX/Conector de enchufe de CA			
Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil	●			
Interfaces: WLAN, Speedwire/Webconnect	● / ●			
Garantía: 5/10/15 años	● / ○ / ○			
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438, G59/3, G83/2, DIN EN 62109 / IEC 62109, NEN-EN50438, RD1699, SI 4777, UTE C15-712, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1, VFR 2014			
Certificados y autorizaciones (en planificación)	IEC 61727, NRS 097-2-1			
Disponibilidad de SMA Smart Connected en los países	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK			
● Equipamiento de serie ○ Opcional – No disponible				
Datos en condiciones nominales: mayo de 2017				
1) 4600 W/4600 VA para VDE-AR-N 4105				
2) AS 4777: 21,7 A				
Modelo comercial	SB3.0-1AV-40	SB3.6-1AV-40	SB4.0-1AV-40	SB5.0-1AV-40



Funciones del SISTEMA BÁSICO

- Puesta en marcha sencilla gracias a la interfaz WLAN y Speedwire integrada
- Transparencia máxima gracias a la visualización en Sunny Portal/Sunny Places
- Seguridad de la inversión por medio de SMA Smart Connected
- Modbus como interfaz de tercero

Funciones del SISTEMA AMPLIADO

- Funciones del sistema básico
- Reducción del consumo de la red y aumento del autoconsumo mediante el uso de energía fotovoltaica almacenada provisionalmente
- Máxima utilización de la energía con una carga basada en la previsión
- Autoconsumo ampliado gracias a una gestión de la carga inteligente
- Rendimiento máximo de la planta gracias a la tecnología de módulos inteligentes

Con SMA Energy Meter*2

- Rendimiento máximo de la planta gracias a la limitación dinámica de la inyección a red entre el 0 % y el 100 %
- Visualización de los consumos energéticos

*1) A través de enchufe inalámbrico o comunicación de datos estandarizada

*2) a partir de la versión del firmware 1.03.03