

ORIGINAL

# Cálculo del ahorro de una instalación fotovoltaica asistida por la red combinada con tarifa de discriminación horaria

Manuel Burrel Mur

*Calculation of savings in a photovoltaic system assisted by the combined network with time discriminating rate*

## RESUMEN

Este artículo trata de dar una solución factible para ahorrar en la factura eléctrica mediante un tipo de autoconsumo fotovoltaico no muy conocido, pero que el reglamento de baja tensión de 2002 ya lo nombra desde sus inicios. Es un método de cálculo sencillo en el que hay que tener un mínimo de conocimiento sobre las instalaciones fotovoltaicas, y proporciona las pautas que seguir para poder asegurar y asemejar el resultado lo máximo posible a la realidad. Mediante este tipo de instalaciones, las pequeñas empresas y las viviendas unifamiliares podrán ahorrarse hasta el 100% de su factura en energía y poder pagar el mínimo por ello. A partir de identificar los ahorros obtenidos con esta instalación, se realiza la combinación con la tarifa de discriminación horaria y la bajada de un escalón la potencia contratada, de modo que se actúa en una parte de la factura eléctrica que es fija. Con estas tres herramientas se consigue una amortización del sistema más esperanzadora que otros sistemas, como puede ser el autoconsumo instantáneo. En este estudio se usan datos de producción solar del sistema PVGIS que en su página web muestra por localización, de manera que se pueda homogeneizar los criterios lo máximo posible.

Recibido: 12 de noviembre de 2014  
Aceptado: 28 de diciembre de 2014

## Palabras clave

Energía fotovoltaica, tarifas, discriminación horaria, batería, paneles solares, inversor fotovoltaico

## ABSTRACT

*This article tries to give a feasible solution to save on the electric bill by a little-known type of photovoltaic self-consumption. However, REBT 2002 mentions it from the beginning. It is a simple calculation method which can be made with minimum knowledge of photovoltaic systems and it provides guidelines to find the savings. Through this type of small facilities, small-sized companies and homes can save up to 100% of their energy bill, so that they can pay the minimum. From identifying the savings achieved with this installation, time discriminating rate and time discrimination and a lower level of power contracted must be combined, so that it affects a fixed part of the electricity bill. With these three tools a most hopeful amortization is achieved compared to other systems, such as instantaneous self-consumption. In this study, solar production data from PVGIS system are used. On their website there are shown by location, so you can align the criteria can be homogenized as much as possible.*

Received: November 12, 2014  
Accepted: December 28, 2014

## Keywords

Photovoltaic system, rate, time discriminating rate, battery, solar panel, PV inverter



Foto: Gyuszkó-Photo / Shutterstock

## Introducción

Después de que el Gobierno sacará a la luz el borrador del Real Decreto de Autoconsumo, podemos afirmar que los proyectos con autoconsumo instantáneo son un poco más difíciles de rentabilizar que antes, debido a que la aplicación del llamado “peaje de respaldo” imposibilita una rentabilidad “razonable” y período de amortización aceptable para las empresas e industrias de este país. Acompañada de este borrador, viene dada la subida del término fijo de la factura y bajada del término de energía, por tanto, el ahorro energético no está tan favorecido como en estos últimos años.

Mientras no se apruebe el borrador, el paso previo para ser “aislado” de la red son las instalaciones asistidas, debido a que en el momento en que los acumuladores o la potencia solar no son suficiente para la demanda, se realiza la conmutación con la red, por lo que el suministro está asegurado.

Debido a la bajada de precios que se observa en sectores que acompañan a las instalaciones fotovoltaicas en cuanto a paneles fotovoltaicos y de acumuladores, la solución que se explicará a continuación puede ser de gran ayuda y de impulso para empresarios y parti-

culares que se planteen traspasar la línea de inversión con este sector.

La solución ideal sería poder ahorrarse el 100% de la energía de red. Sin embargo, en ocasiones no es posible, y en horario nocturno tenemos que adquirir energía de la red. Se podría minimizar el impacto en la factura contratando la tarifa con discriminación horaria, por lo que se pasaría a pagar en ese intervalo incluso el 50% menos que si no la contratáramos.

Para poder visualizar correctamente el desarrollo del método de cálculo, este artículo se divide en los siguientes apartados:

- Cálculo de la fotovoltaica asistida y su ahorro
- Cálculo de ahorro con cambio a tarifa DH y bajada de potencia contratada
- Cálculo de ahorro con combinación de ambas
- Cálculo de ahorro con optimización de la combinación

## Cálculo del ahorro de la instalación fotovoltaica asistida

En el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) de 2002, en la ITC-40 se describen muy brevemente tres tipos de instalaciones distintas en aplicación de instalaciones solares de generación con tecnología fotovoltaica.

1. Instalaciones aisladas: aquellas en las que no puede existir conexión eléctrica alguna con la Red de Distribución Pública.

2. Instalaciones asistidas: aquellas en las que existe una conexión con la Red de Distribución Pública, pero sin que los generadores puedan estar trabajando en paralelo con ella. La fuente preferente de suministro podrán ser tanto los grupos generadores como la Red de Distribución Pública, y queda la otra fuente como socorro o apoyo. Para impedir la conexión simultánea de ambas, se deben instalar los correspondientes sistemas de conmutación.

3. Instalaciones interconectadas: aquellas que, normalmente, trabajan en paralelo con la Red de Distribución Pública.

## Esquema de cada tipo de instalación

Un esquema tipo para este tipo de instalación aparece en el REBT 2002 (figura 1).

Se aprecian con claridad cuatro elementos importantes, en los recuadros de los extremos están las cargas propiamente dichas y el generador fotovoltaico; en el centro se aprecia el conmutador automático de la instalación (número 15), el interruptor de control de potencia (ICP) (número 11) de la

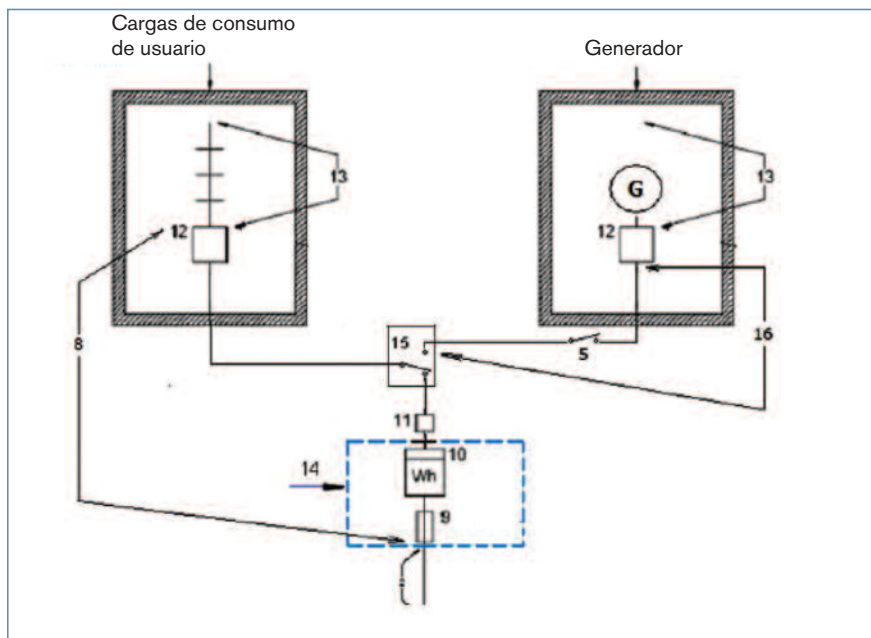


Figura 1. Esquema de instalación fotovoltaica asistida según REBT.

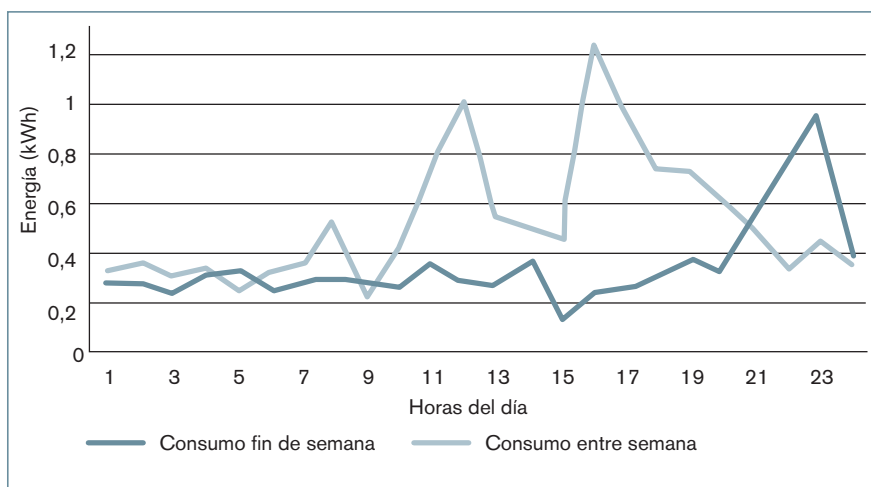


Figura 2. Gráfica del consumo de la vivienda un día entre semana y un día de fin de semana

instalación, y en la parte inferior el conjunto de contador y protecciones por parte de compañía.

En la parte superior derecha se encuentra lo interesante de la solución, donde se podrían identificar los paneles en primer lugar, y el regulador de batería, que tiene como función la de proteger a esta, pues evita sobretensiones derivadas de paneles. Las baterías son elementos que permiten almacenar la energía producida por el sol y reservarla hasta que se necesite. El inversor es el dispositivo encargado de convertir la energía procedente de baterías, corriente continua, en señal de corriente alterna. Por tanto, se puede considerar el *cerebro*

y, además, es el gestor que realiza la conmutación con la red en los momentos en los que ni la instalación fotovoltaica ni las baterías pueden suministrar la energía necesaria.

#### Funcionamiento de la instalación

En una instalación asistida el funcionamiento se realiza de la siguiente manera: en primer lugar, los paneles captan los primeros rayos de sol y el regulador va cargando baterías, excepto si el usuario necesita la energía al instante. En ese caso, se produce autoconsumo instantáneo y si existen excedentes se almacenan en baterías. En un día nublado la instalación consume baterías, hasta que estas se

Horas	Porcentaje FV
7:00	0,06%
8:00	2,37%
9:00	6,32%
10:00	9,62%
11:00	11,77%
12:00	13,07%
13:00	13,46%
14:00	12,98%
15:00	11,62%
16:00	9,39%
17:00	6,34%
18:00	2,48%
19:00	0,41%
20:00	0,10%

Partiendo de esta base se obtiene la curva de producción media de un día (figura 3).

agotan y se realiza la conmutación a la red. En este momento podemos configurar el inversor para que cargue también las baterías desde la red o se espere a que haya energía solar.

#### Tipo de consumos que podrían ir acoplados a esta clase de autoconsumo

No todos los perfiles de consumo son ideales para este tipo de instalación; el sector residencial y la pequeña empresa son los sectores que mejor encajan. Para mayores consumidores, el hecho de tener que introducir grandes elementos de acumulación puede ser una labor costosa.

#### Curva de consumos y cómo contabilizar la cantidad de paneles

Para mostrar la magnitud de resultados, se propone una curva de consumo de una vivienda unifamiliar ubicada en los Pirineos (figura 2).

Consumo anual: 3.788,50 kWh

Consumo diario medio: 8,35 kWh/día

Potencia contratada: 4,6 kW

Tarifa actual: 2.0

Importe en energía anual consumida: 657,53 €

Importe de la potencia anual contratada: 322,42 €

Con estos datos y con la superficie de cubierta limitada, se calcula la cantidad de paneles fotovoltaicos que se necesitan para cubrir todas las necesidades anuales. Como no se tienen los datos de consumo en días de diferentes meses, se realiza la

estimación de los datos obtenidos de consumo diarios que se repiten durante el resto del año.

Dado que el objetivo de este artículo no es el cálculo de la producción, se utiliza un método rápido y sencillo partiendo de las horas equivalentes de producción en esa latitud, se utiliza el *software* PVGIS (en su página web), con los resultados de 1.290 horas de producción con una inclinación de 15 grados de cubierta y los coeficientes de pérdidas de la instalación ya considerados.

En primer lugar, se calcula la potencia fotovoltaica necesaria para la energía total consumida anual y, seguidamente, se verificará la potencia fotovoltaica necesaria con la energía media diaria necesaria. De este modo, se comprueba que la cantidad de paneles se ajusta a las necesidades globales y parciales.

Para las necesidades globales se calcula la potencia pico de paneles solares:

$$\text{Potencia pico paneles (global)} = \text{energía año} / \text{Horas prod.} = 3.788,50 \text{ kWh} / 1.290 \text{ h} = 2,93 \text{ kWp}$$

Para las necesidades parciales se parte de las horas equivalentes diarias medias en esa latitud. En este caso de 3,53 horas equivalentes. Por tanto, la potencia fotovoltaica necesaria es:

$$\text{Potencia pico paneles (parcial)} = \text{energía diaria} / \text{Horas prod.} = 8,35 \text{ kWh} / 3,53 \text{ h} = 2,36 \text{ kWp}$$

Se elige el dato más relevante, en este caso 2,93 kWp. Suponiendo que la potencia unitaria de los paneles elegidos es de 245 Wp, se necesitarían 12 unidades de paneles, que ocuparían aproximadamente 20,03 m<sup>2</sup>.

Se indica que la superficie disponible libre en cubierta es de 13 m<sup>2</sup>. En consecuencia, la cantidad de paneles se ve reducida a seis unidades (dejando libre espacio para montaje y tareas de mantenimiento) obteniendo una potencia pico de 1,47 kWp. En este caso ya se puede indicar que no se producirá el 100% de la energía consumida.

Para realizar la gráfica de producción diaria del sistema se realiza una estimación por horas.

Utilizando varios datos reales de instalaciones fotovoltaicas en la zona, se obtiene el siguiente porcentaje de producción de energía por horas (tabla 1).

El regulador indicado para el caso, se parte de la intensidad de cortocircuito

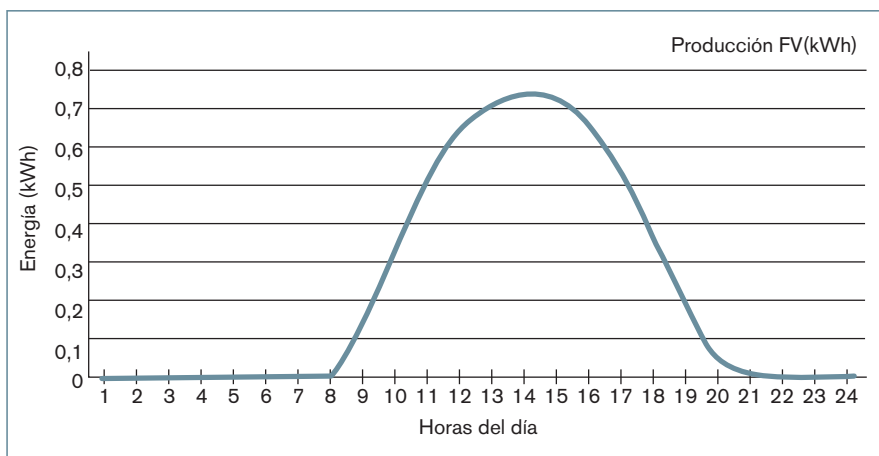


Figura 3. Curva de producción solar por horas del día.

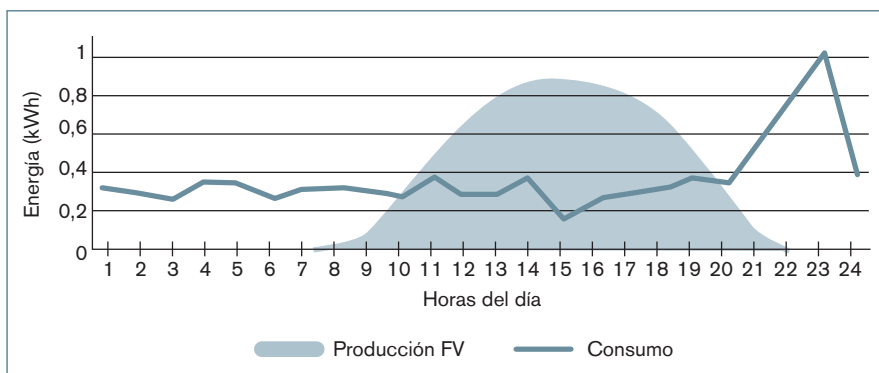


Figura 4. Curva de Consumo con producción solar en fin de semana.

( $I_{sc}$ ) de los paneles indicados, en este caso es de 8,80 amperios.

$$\text{Intensidad máxima producida en paneles} = 6 \text{ uds.} \times 8,80 \text{ a} = 52,80 \text{ amperios}$$

Por tanto, el regulador elegido deberá poder soportar 52,80 amperios de producción.

El inversor fotovoltaico será de 3 kW de potencia nominal, dado que la demanda real de la casa no llega a 4 kW. Este inversor tiene la función cargador; además, envía una señal en el momento en que las baterías están bajas o la potencia demandada por la instalación supera la instalación fotovoltaica y se aprovecha esa señal para accionar un conmutador que hace que entre la red y aisle la instalación solar hasta que la alarma se desactive. Este sistema de conmutación puede existir internamente en algunos inversores del mercado.

El cálculo de los acumuladores deberá realizarse como mínimo partiendo de la cantidad de energía consumida en horas nocturnas. Este es uno de los

varios criterios de dimensionamiento de baterías, de modo que si un día sobra más energía solar, ya que todos los días no son semejantes al estudiado, se asegure la acumulación. En este caso, la cantidad de energía máxima consumida en este período [20 h-8 h] es de 4,88 kWh.

En este caso, la tensión de trabajo es de 24 V, pasando a calcular la acumulación en Ah de las baterías.

$$\text{Acumulación efectiva necesaria [Ab]} = \text{energía [Wh]} / \text{tensión [V]} = 4.880 \text{ Wh} / 24 \text{ V} = 203 \text{ Ab}$$

Suponiendo que la máxima profundidad de descarga de las baterías sea al 60% y unas pérdidas globales aproximadas del 10%.

$$\text{Acumulación [Ab]} = \text{acumulación efectiva [Ab]} / \text{Prof. máx. descarga} \times (1 - \text{pérdidas}) = 203 \text{ Ab} / 0,6 \times 0,9 = 375 \text{ Ab}$$

En este caso la bancada de acumuladores deberá de tener un poder de acu-

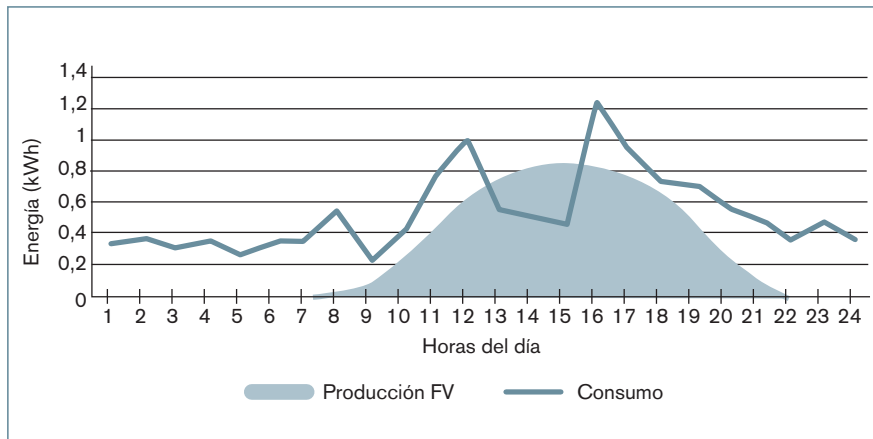


Figura 5. Curva de consumo con producción solar entre semana.

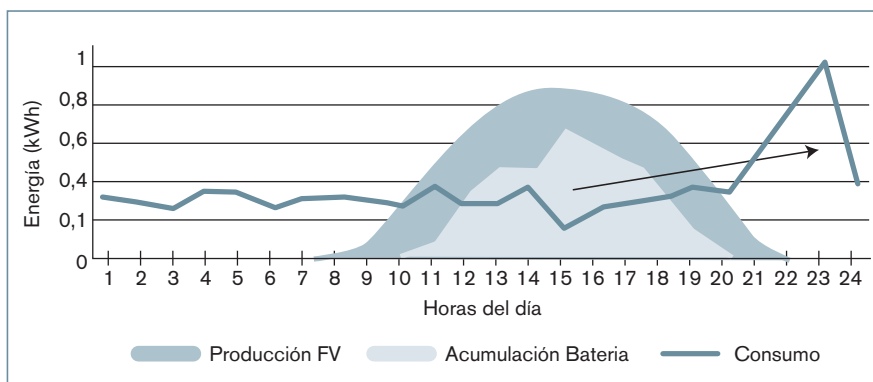


Figura 6. Curva de consumo y producción solar con acumulación fin de semana.

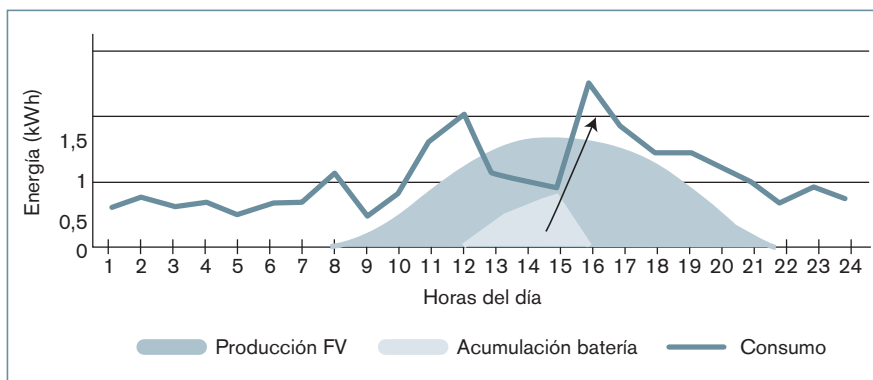


Figura 7. Curva de consumo y producción solar con acumulación entre semana.

mulación de más de 375 Ah y con tensión de trabajo del conjunto, de 24 V.

#### Cálculo: resultados teóricos

Dado el cálculo de los materiales necesarios para el sistema, se procede a fusionar la gráfica de la producción con el consumo de la vivienda en día laborable y fin de semana (figura 4).

En la gráfica de la figura 5 se observa cómo podría ser la instalación de autoconsumo instantáneo y cuáles podrían llegar a ser los ahorros obtenidos aproximadamente, al igual que la cantidad de

energía no aprovechada de la instalación.

Partiendo de este fenómeno, se procede a la gráfica de la instalación fotovoltaica asistida, añadiendo el componente de acumulación y verificándose el traslado de parte de la curva de producción a horas nocturnas (figura 6).

Realizando una media de ahorro utilizando la instalación en días laborables y fines de semana, sin actuar sobre la compañía eléctrica en términos de ajustes de tarifas, se obtiene:

- % Ahorro de consumo de energía: 66,29%

- % Ahorro en el importe de la factura: 47,61%

#### Cálculo de ahorro con cambio a tarifa DH y bajada de potencia contratada

Actualmente, existen muchas y variadas tarifas. Este artículo se centra en la que puede afectar al cálculo con discriminación horaria. En este caso serían dos afectadas por la DH (sin contar las tarifas de los tres/seis períodos de grandes consumos). Cuando se habla de tarifa de discriminación horaria (DH), introducimos dos términos: valle y punta. El término valle se indica para referirse al consumo en horarios en los que el precio de la electricidad es más económico; en cambio, el período punta es más caro (tabla 2).

Si se parte de unos precios de referencia de la tarifa sin discriminación horaria (DH) y se compara con la tarifa con discriminación horaria, se verifica las diferencias que figuran en la tabla 3.

Los horarios que afectan a la discriminación horaria son los que aparecen en la tabla 4.

#### Cálculo: Explicación de una curva de consumos y cómo aplicar la DH

Conociendo la curva de consumo de la vivienda en estudio y la tarifa aplicada, intercalamos las gráficas y vemos el ahorro, que en este caso únicamente será en dinero y no en energía consumida de la red. También se actúa en el término de potencia contratada, bajando el mismo un escalón, hasta los 3,45 kW, ya que se ha registrado un pico máximo de 3,3 kW en la vivienda, obteniendo de ahorro adicional:

- Importe ANUAL con 3,45 kW: 159,88€

- Importe ANUAL con 4,6 kW: 213,18€

- % Ahorro obtenido de cambio de potencia: 25%

El coste aproximado de la bajada de potencia y precintado de nuevo el ICP, es aproximadamente de 150€.

Se comprueba en este caso que en torno al 70% del consumo se efectúa en horario valle de la tarifa DH, y es aconsejable para aplicar esta tarifa que en torno al 60% del consumo esté implicado en horario valle. A modo de ejemplo, se observa en la gráfica de consumo en fin de semana, en horario de verano, la franja horaria en la que se aplica, con la curva de consumo inicial, cada una de las tarifas.

Cálculo del ahorro de una instalación fotovoltaica asistida por la red combinada con tarifa de discriminación horaria

Realizando el estudio completo de todo el año, diferenciando entre los precios de verano e invierno de la tarifa de discriminación horaria y añadiendo la bajada de potencia contratada, el resultado del ahorro obtenido sería:

- % Ahorro en importe de energía: 14,49%

- % Ahorro en importe de la factura (potencia contratada + energía consumida): 17,45%

### Cálculo de ahorro con combinación de ambas

En este caso, se combinan las tres soluciones:

- Fotovoltaica asistida de la red
- Cambio a tarifa DH
- Bajada de un escalón de potencia

La manera de aplicar las tres soluciones sería del mismo modo como se ha calculado anteriormente el ahorro de la fotovoltaica asistida, pero teniendo en cuenta las tarifas y los horarios que aplican esas tarifas de discriminación horaria, tanto en verano como en invierno.

En este caso, a modo de ejemplo y por no extender mucho más la información, se indica en las gráficas el horario de tarificación de verano, que se puede trasladar fácilmente a horario de invierno.

A todo ello se le añade el ahorro obtenido por la bajada de un escalón de potencia contratada, ya calculado anteriormente.

En este caso, para comparar el ahorro obtenido, se indicará únicamente el de la facturación, ya que en términos energéticos, el cambio de tarifa DH y bajada de potencia contratada no actúan.

- Ahorro obtenido con solo fotovoltaica asistida: 47,61%
- Ahorro obtenido con tarifa DH y potencia contratada: 17,45%
- Ahorro obtenido con combinación de las anteriores: 59,12%

Visto el ahorro obtenido en combinación de ambas soluciones, para este ejemplo y con la tarifa que le aplica, cabe decir que el plazo de amortización de este tipo de soluciones se aproximaría a estos datos:

- Coste aproximado de la instalación fotovoltaica asistida: 3.807,98 € + IVA
- Ahorro obtenido en facturación anual: 447,27 € + IVA
- Plazo de amortización (IPC energía 5,5%): 6 años

Tipo de tarifa	Potencia	DH
2.0	Max. 10kW	Sí
2.1	Entre 10kW y 15kW	Sí

Tabla 2. Tipos de tarifas

	[€/kWh]		[€/kWh]	Diferencia [%]
Tarifa 2.0	0,14344	Tarifa 2.0 DH punta	0,1744028	21,59%
		Tarifa 2.0 DH Valle	0,0614163	-42,82%

Tabla 3. Comparación de tarifas

Tarifa 2.0	Periodo	Verano	Invierno
2.0	Fijo	24h	
2.0 HD	Punta	12-22h	13-23h
	Valle	22-12h	23-13h

Tabla 4. Horario de tarifas

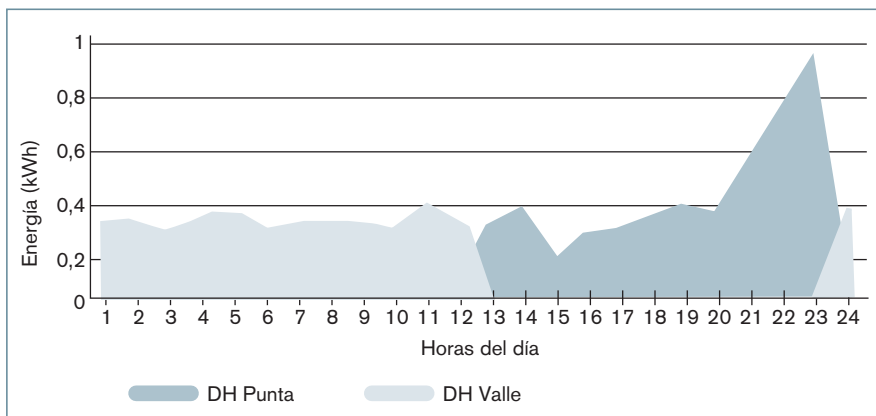


Figura 8. Curva de consumo y producción solar con acumulación entre semana.

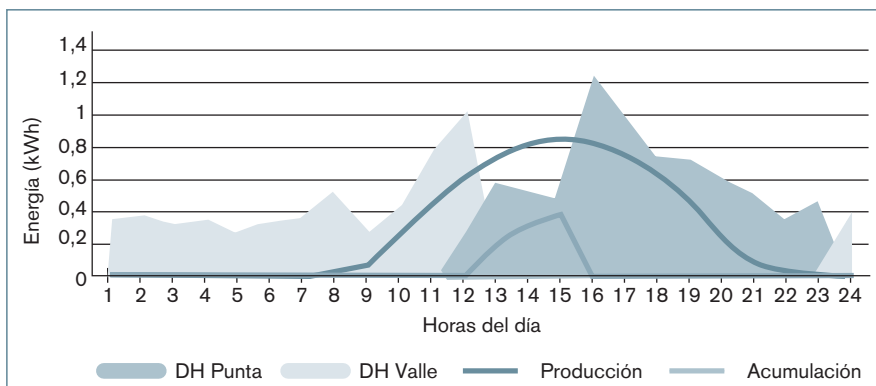


Figura 9. Curva de consumo con DH y producción solar con acumulación entre semana

### Cálculo de ahorro con optimización de la combinación

En este apartado se trata de optimizar al máximo la combinación de la tarifa DH con la producción de la fotovoltaica asis-

tida, de manera que las horas de producción solar que coinciden con el horario valle de la tarifa sirvan para almacenar en baterías toda la energía posible, utilizándola en horario punta de la tarifa. De este

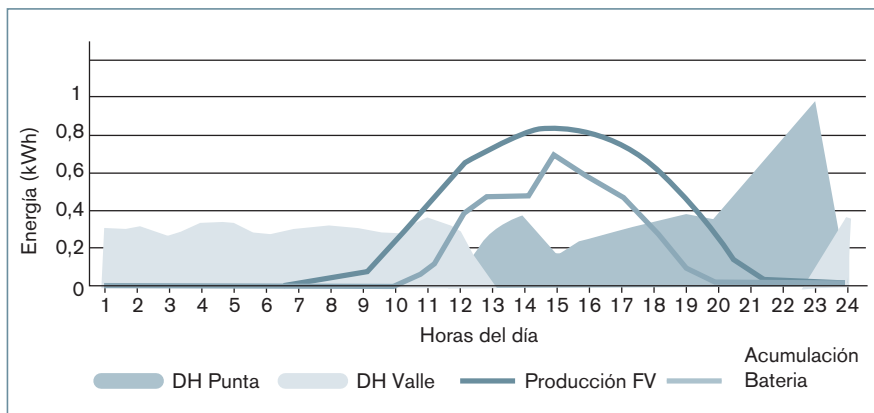


Figura 10. Curva de consumo con DH y producción solar con acumulación fin de semana.

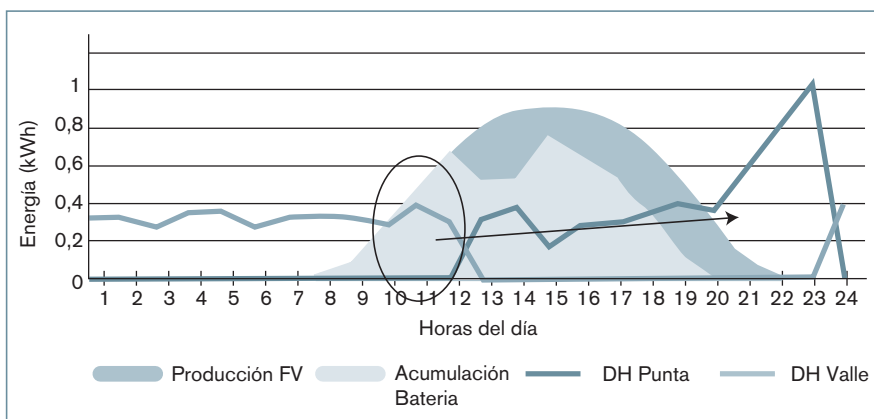


Figura 11. Curva de consumo con DH y producción solar con acumulación optimizado.

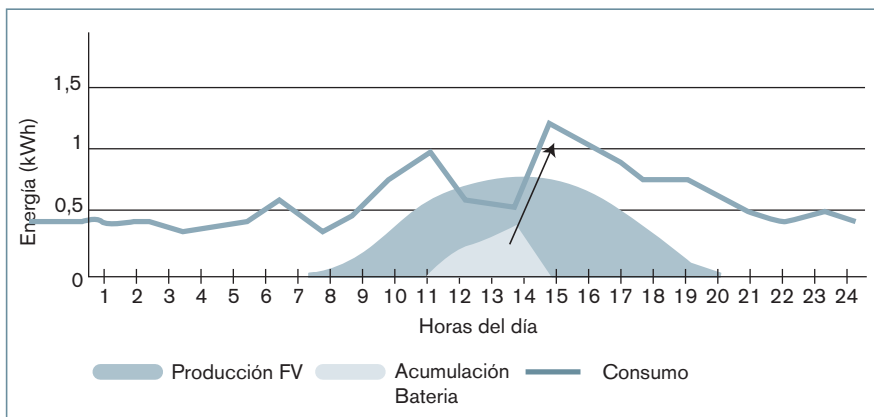


Figura 9. Curva de consumo con DH y producción solar con acumulación entre semana

modo, aumentaríamos la eficacia de esta simbiosis. Esto se consigue desplazando la curva de consumo directamente de baterías y fotovoltaica hacia las horas punta, como se aprecia en la siguiente gráfica:

Este desplazamiento se puede realizar mediante un reloj contactor mediante el que la instalación fotovoltaica ceda energía al consumo únicamente en horario

punta, y que en horario valle permanezca en espera, hasta que de nuevo entre el término punta.

Cabe destacar que cuando la instalación solar es de gran tamaño y la producción solar supera el consumo, no es de aplicación esta optimización, ya que en horario valle coincidente con producción solar, como puede ser el horario de mañanas, las baterías pueden estar llenas, pero

la instalación sigue esperando para funcionar hasta casi el medio día, lo que supone una pérdida de energía y de producción.

Para esta optimización el nivel de ahorro obtenido, comparándolo con la anterior combinación, es el siguiente:

- Ahorro obtenido con combinación FV + DH + potencia: 59,12%

- Ahorro obtenido con optimización: 69,39%

Se observa que se obtiene un 10% más de ahorro al optimizar la curva de producción.

Por tanto, el plazo de amortización de la instalación es:

- Coste aproximado de la instalación fotovoltaica asistida: 3.807,98 € + IVA

- Ahorro obtenido en facturación anual: 524,99 € + IVA

- Plazo de amortización (IPC energía 5,5%): 5 años

### Conclusiones

El método descrito permite aproximarse lo máximo posible a la realidad, siempre partiendo de la premisa de que las curvas de consumo no son iguales todos los días del año.

Para el autor de este artículo es importante destacar que la energía solar puede seguir siendo un pilar importante en nuestra sociedad y una herramienta perfecta para la reducción de costes fijos en empresas y particulares y para el fomento del empleo verde.

### Agradecimientos

Este artículo se lo quiero dedicar a dos personas importantes: a mi abuelo Anselmo Burrel, recientemente fallecido, quien fue un gran hombre, y a mi futura esposa, Gemma, sin cuyo incondicional apoyo este documento no habría sido posible.

### Bibliografía

Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT). REBT 2.002. FC Editorial. ISBN 978-84-961-6966-1.

IDAE (2005). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. Disponible en: [www.idae.es](http://www.idae.es)

Datos horas de producción solar. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> - Endesa: datos tarifarios. [www.endesa.es](http://www.endesa.es)

### Manuel Burrel Mur

[mburrel@coitiar.es](mailto:mburrel@coitiar.es)

Ingeniero técnico industrial, especialidad en Electrónica Industrial. Máster en Project Management. Responsable de O&M en Grupo Solingenia y director de proyectos en director de proyectos en Green Grouping.