



El objetivo de este artículo es analizar los sistemas híbridos fotovoltaicos autónomos a través de sus configuraciones y topologías

Hibridación Fotovoltaica aislada: configuraciones-topologías

El progresivo ascenso de la factura de la electricidad y del diesel, ha puesto, de nuevo, en actualidad a los sistemas híbridos fotovoltaicos. Es decir, aquellos que se caracterizan por tener, al menos, una fuente adicional de generación de energía. Así, en Informe Aenor, PNE 206008 IN Energía Solar Fotovoltaica Términos y Definiciones, que se encuentra en fase de información pública, y que se publicará en las próximas semanas, se define a los sistemas híbridos fotovoltaicos como aquellos sistemas como sistemas multifuente (Una planta fotovoltaica conectada en paralelo con otro tipo de generadores).

Su clasificación puede ser variada, atendiendo a distintos criterios: presencia de fuentes convencionales, número de fuentes, potencia instalada, almacenamiento de energía o conexión a la red de

distribución.

Las combinaciones más comunes son las siguientes: Fotovoltaica + Eólico + Diesel, Fotovoltaica + Diesel, Eólico + Diesel y Fotovoltaica + Baterías + Diesel.

Hibridación Fotovoltaica + Diesel

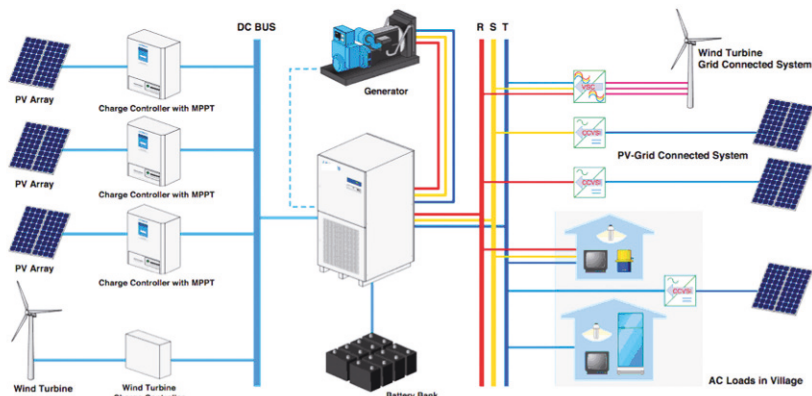
Una de las hibridaciones más en auge en estos días es la hibridación fotovoltaica + diesel, con y sin almacenamiento de energía. Es decir, la sustitución de un generador diesel (como único generador) por una hibridación Fotovoltaica + Generación Diesel (con dos fuentes generadoras).

A modo de ejemplo, en la Figura 2 se presenta un esquema híbrido, propuesto por Fronius, en donde se utiliza un gestor energético de Circutor, el CDP-H. En esta configuración, el bus de CA es proporcionado por el generador diesel, "engañando" al inversor de conexión a red. Dada la tecnología madura de los inversores de conexión a red es posible implementar sistemas con esta hibridación de potencia igual a la disponible actualmente por estos convertidores.

El elemento que controla o gestiona todo es el denominando CDP, controlador dinámico de potencia, el cual aprovecha las capacidades técnicas de estos inversores.

El funcionamiento es el siguiente: el CDP reduce la consigna de producción de los inversores; el Generador reduce su aportación ajustado a la nueva condición; el CDP realiza un ajuste fino incrementando progresivamente el aporte fotovoltaico respetando un mínimo régimen de grupo; si hay gestión de la demanda, se activan cargas para incrementar el aporte fotovoltaico. Si hubiera unidades de almacenamiento de energía son gestionadas de igual manera. La reducción de la producción de

Figura 1: Esquemático general de los sistemas híbridos fotovoltaicos



2: Hibridación Fotovoltaica + Diesel con gestor energético, propuesto por Fronius utilizando un gestor energético CDP-H de Circutor

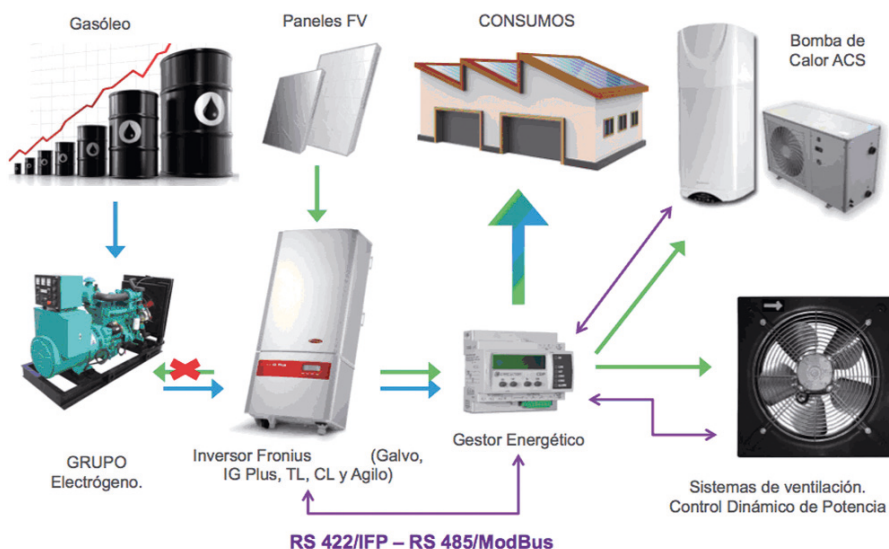


Figura 3: Control dinámico de potencia regulado por la frecuencia del bus de CA, en un inversor Fronius

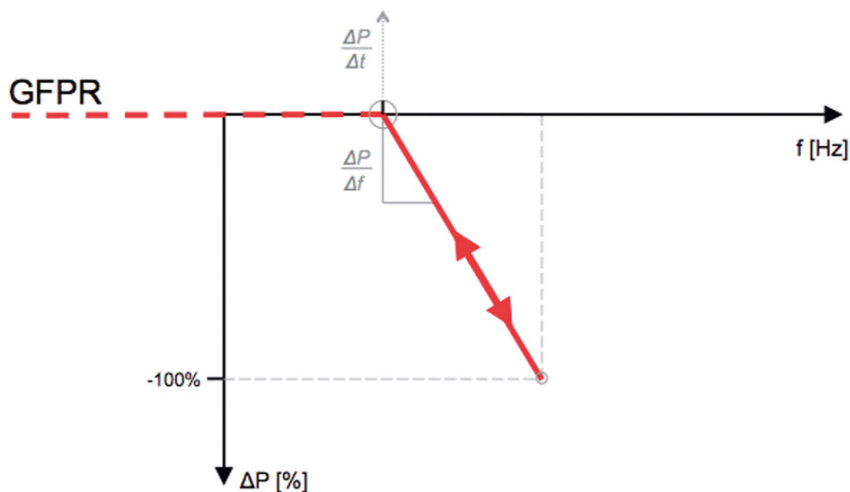


Figura 4: Control dinámico de potencia regulado por la tensión del bus de CA, en un inversor Fronius

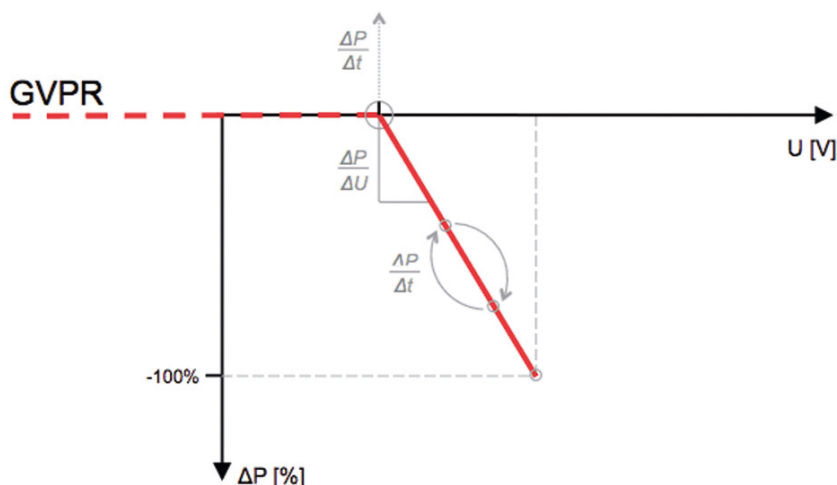
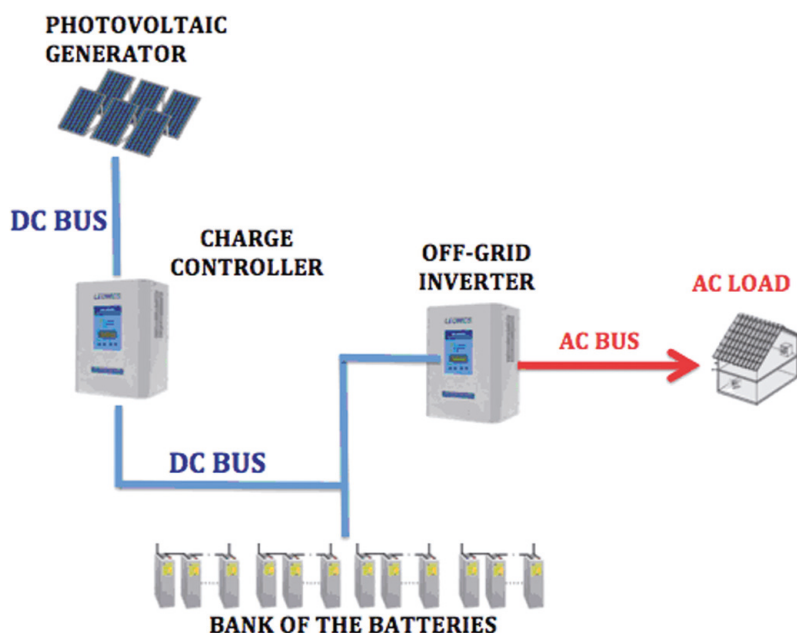


Figura 5: Configuración de la hibridación con acoplamiento en CC con consumo en CA



energía de los inversores se realiza por medio de la variación de frecuencia y tensión de los inversores, implementada en su control, Figuras 3 y 4. Es decir, que variando la frecuencia o tensión del bus de CA es posible operar fuera del punto de máxima potencia, que es el punto de operación óptimo.

Cuando la carga aumenta el control dinámico envía una nueva consigna a los inversores solares para cubrir el incremento de consumo de forma progresiva - Minimizando el consumo del generador hasta alcanzar el mínimo establecido. Además, se suavizan las curvas de variación de aporte del grupo. Si el aporte solar no alcanza la nueva consigna se desconectan las cargas gestionables. Si hubiera algún sistema de acumulación ésta cubre parcialmente la demanda.

Otras configuraciones

Aparte de la hibridación Fotovoltaica + Diesel existen otras configuraciones que no son menos importantes, las cuales utilizan habitualmente baterías. Así, atendiendo al bus de conexión, pueden distinguirse los siguientes sistemas híbridos: con acoplamiento en CC (DC coupling), con acoplamiento en CA (AC coupling) y con acoplamiento mixto: CC + CA. En todos ellos, se ha tenido en cuenta exclusivamente un consumo en CA.

Hibridación con acoplamiento en CC (DC coupling)

Esta configuración es la más tradicional y fue de las primeras que se implementó. Como se observa en la Figura 5, se distinguen los siguientes elementos: generador fotovoltaico, cargador de baterías, banco de baterías, inversor aislado y consumo.

El bus de CC es común para todos los elementos excepto para el consumo de CA. De esta forma, no hay un camino directo desde el generador fotovoltaico al consumo. Por lo que debe pasar por un controlador de carga + inversor aislado.

La tensión del bus de CC más utilizada hasta la fecha ha sido de 12, 24 o 48 V. Con lo que, en principio, habría que tener en cuenta, las posibles pérdidas para grandes distancias. Esto es la razón por la que hasta hoy en día, estos sistemas se han implemen-



Figura 6: Configuración de la hibridación en acoplamiento en CA sin generador diesel

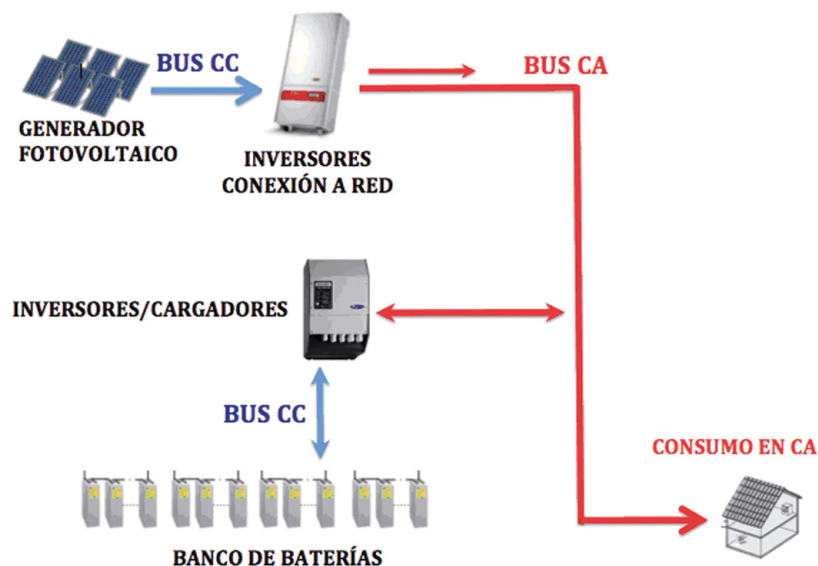


Figura 7: Configuración de la hibridación en acoplamiento en CA sin generador diesel

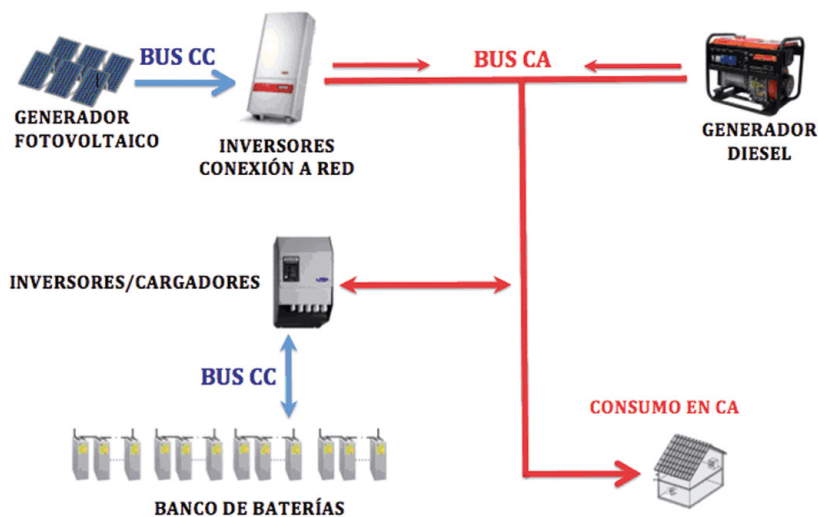
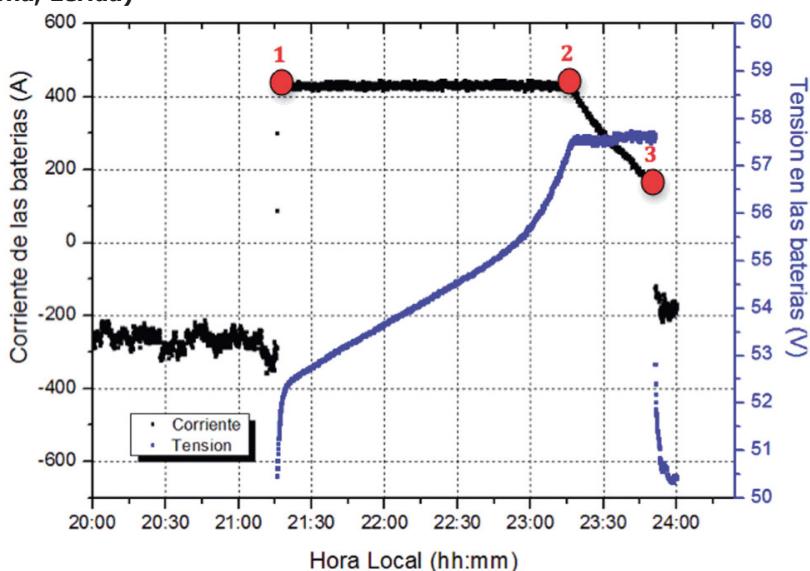


Figura 8: Ejemplo de carga de baterías con el generador diesel, por medio de una hibridación en CA según la configuración de la Figura 7 (Granja en Isona, Lérida)



tado para no muy grandes potencias. Sin embargo, todo esto se puede mejorar empleando tensiones más altas, tales como 120, 240, 480 u 800 V, incluso. Aunque no hay muchos fabricantes, tantos de controladores de carga como de inversores aislados, que tengan productos que soporten dichas tensiones.

Actualmente, algunos fabricantes están implementando una integración, en un mismo equipo, entre el cargador y el inversor aislado.

Hibridación con acoplamiento en CA (AC coupling)

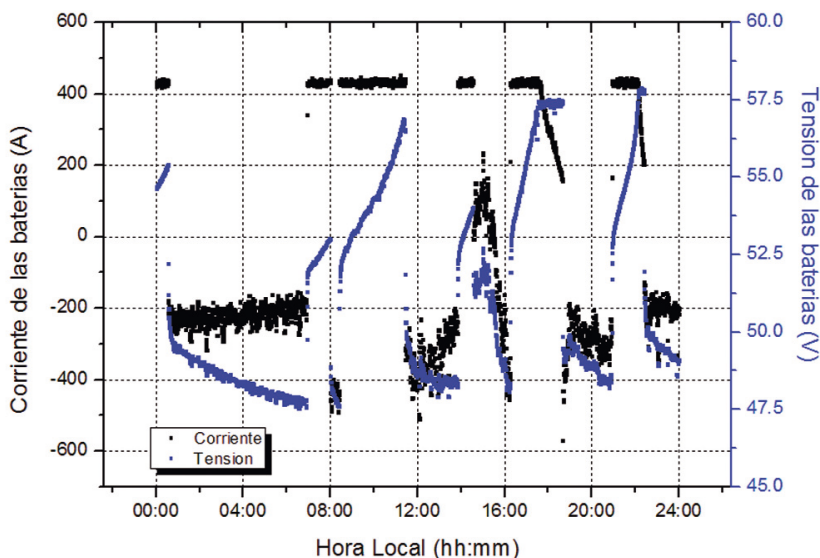
La alternativa a la configuración de CC es el acoplamiento en CA, ver Figura 6. En esta configuración además del generador FV y consumo, común para ambas topologías aparecen dos nuevos elementos: el inversor de conexión a red y el inversor bidireccional (inversor/cargador).

La característica principal de esta configuración es la utilización de un bus de CA que estará generado por el inversor bidireccional (inversor/cargador), que actuará como fuente de tensión de CA. Esto capacitará al funcionamiento del inversor de conexión a red, operando como fuente de corriente. Dada la madurez tecnológica de hoy en día de los inversores de conexión a red, empleados en los ya maduros en las grandes plantas, esta configuración amplía las posibilidades de los sistemas híbridos. Si bien, en este caso, el cuello de botella vendría impuesto por el inversor bidireccional. El bus de CC, común a las baterías, normalmente es de 48 V, aunque ya hay fabricantes que buses de 480 Vcc.

Es digno de mencionar, que en esta topología hay un flujo de energía directo desde la salida del inversor y el consumo en CA, algo que no ocurría en la topología de CC, que tenía que pasar por el regulador de carga y el inversor aislado.

En esta configuración, el sistema funciona de la siguiente forma. El generador fotovoltaico se encarga de abastecer al consumo, y si hubiera excedente, de cargar las baterías, por medio del inversor bidireccional actuando como cargador de baterías. Cuando no hubiera insolación suficiente el abastecimiento de energía vendría desde el banco de baterías.

Figura 9: Ejemplo de carga de baterías con el generador diesel, por medio de una hibridación en CA según la configuración de la Figura 7, para un día variable (Granja en Isona, Lérida)



10: Ejemplo de la regulación dinámica de un inversor Fronius, de conexión a red, de una hibridación en CA según la configuración de la Figura 7 (Granja en Isona, Lérida)

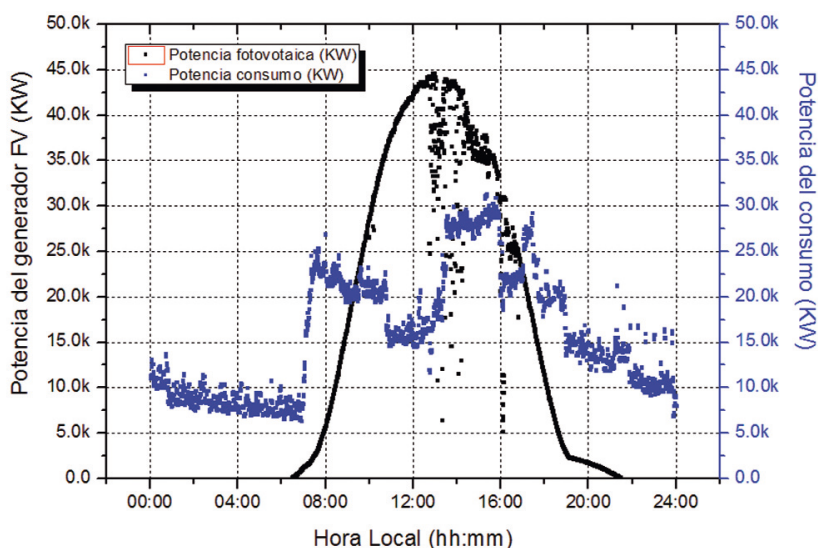


Figura 11: Implementación de la configuración en acoplamiento en CA en una granja porcina de 50 kW en Isona (Lérida), excepto el generador diesel



En tal caso, el inversor bidireccional estaría operando como inversor autónomo. Al no haber ningún sistema adicional de respaldo, el sistema habría que dimensionarlo adecuadamente, si se quiere un abastecimiento continuo del consumo.

De esta forma, una variación de la configuración mostrada en la Figura 6, se presenta en la Figura 7, en donde se añade un generador diesel como fuente de respaldo energético.

Es decir, en el caso de que descarguen las baterías, el generador diesel se activaría con el fin de cargarlas, Figura 8. Algo que ocurre muy frecuente al finalizar cada día, por ejemplo. En el resto del tiempo estaría desconectado, Figura 9.

Como se puede advertir en las Figuras 8 y 9, la carga se realiza a corriente constante.

En ningún caso se permite un retorno energético hacia el generador diesel y tampoco es posible operar, simultáneamente, el generador diesel y el inversor bidireccional actuando como inversor aislado.

Otro aspecto reseñable, en este tipo de configuración, es la posibilidad de realizar una regulación por frecuencia y tensión de CA del inversor de conexión a red. Es decir, el ser capaz de poder regular el régimen de operación del generador fotovoltaico controlándolo por medio de la frecuencia o tensión del bus de CA, ver Figuras 3 y 4. En este caso la regulación por frecuencia la suele hacer el inversor bidireccional mientras que la de la tensión por el generador diesel. Este tipo de regulación permite una carga más eficiente de las baterías evitando los microciclos, y por tanto, un deterioro mayor de las baterías, Figura 10. En este caso, el inversor de conexión a red nunca se desconecta, aunque estén cargadas las baterías.

Un ejemplo, de la implementación de esta configuración puede ser la que se mostró en un número anterior de la revista, en una granja porcina en Isona (Lérida), Figura 10. Aquella hibridación está formada por los siguientes elementos:

- Campo fotovoltaico (50,160 kW instalada): compuesto por 235 módulos LDK 235 P.
- Baterías (4572 Ah C10): baterías de plomo-ácido, de 2 V, 1143 Ah C10 10 OPzS 1000, con el bus de 48 V.



Figura 12: Hibridación empleando la configuración en CA, con respaldo de la red pública de energía, implementado por la empresa Enertrés

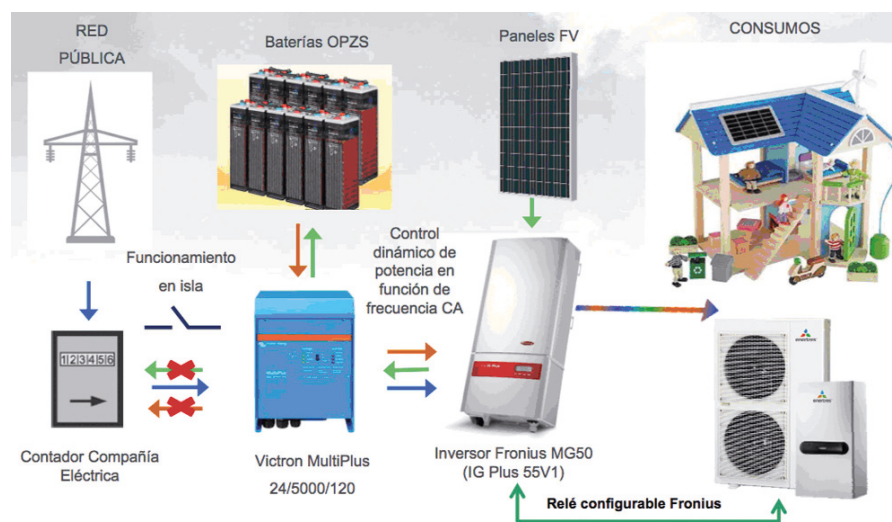


Figura 13: Resultado experimental de la configuración de la Figura 11

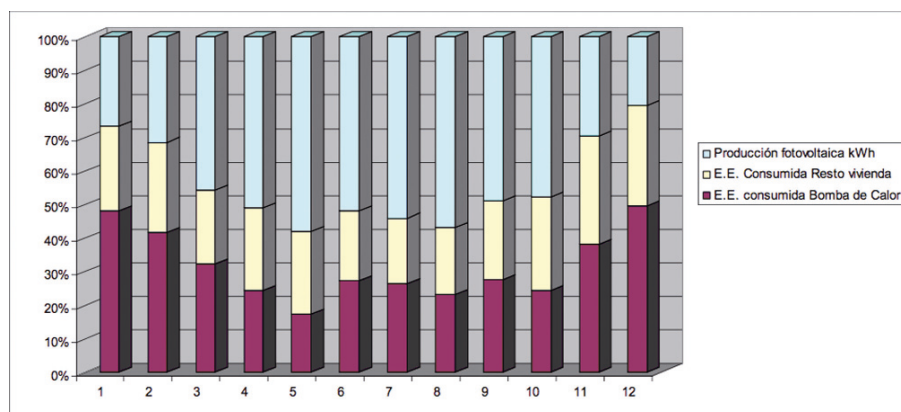


Tabla 1: Comparación de rendimientos entre el acoplamiento de CC y de CA

Rendimiento	Acoplamiento CC	Acoplamiento CA
Energía usada directamente	92.12%	95%
Energía usada desde las baterías	78.76%	71.77%

- Inversores de conexión a red (4): cuatro unidades de inversores Fronius IG Plus 150 V-3, de 12 kW cada uno
 - Inversor/cargador (6): seis unidades Studer XTH-8000-48, de 8 kW de 48 V
 - Generador diesel (1): una unidad de 128 kW de potencia activa, de la marca Newage International LTD.
- Otra posible implementación, se presenta en la Figura 11, en donde en este caso el respaldo energético ven-

dría de la red pública de energía.

En la Figura 12 se presentan los resultados obtenidos por la empresa Enertrés, de un sistema con bomba de calor implementado según la configuración de la Figura 11. Finalmente, cabría mencionar que se durante el próximo año saldrá al mercado, por varios fabricantes, diferentes integraciones en un mismo equipo del inversor bidireccional y baterías de ión-litio. Este equipo se denominará inversor híbrido y se espera que pueda dar muchas más posibilidades a este tipo de configuración.

Comparación energética entre el acoplamiento de CC y el de CA

Resulta interesante comparar, desde el punto de vista energético, el acoplamiento de CC y de CA. La comparación se puede efectuar teniendo en

cuenta dos procesos: el de carga de las baterías y por otra parte la utilización de la energía directamente (desde el generador FV hasta el consumo) o desde el banco de las baterías. En todos los casos se compara el rendimiento obtenido. El rendimiento para cada caso dependerá del número de convertidores por los que tenga que pasar.

Así, por ejemplo, en el proceso de carga de las baterías se han obtenido un rendimiento del 88,20 % para el acoplamiento de CC y de un 80,37 % para el de CA. Esto da como conclusión, que cargar las baterías es más eficiente si se cargan utilizando la configuración del acoplamiento de CC.

También habría que comparar los rendimientos que se obtienen al disponer de la energía que se utiliza directamente (desde el generador FV hasta el consumo) y desde las baterías, Tabla 1. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que cuando se utiliza la energía que proviene del generador FV es mejor hacerlo utilizando la configuración de CA. Mientras que si se utiliza la energía que proviene de las baterías (algo que ocurre siempre por la noche y a veces por el día) se debería de utilizar la configuración de CC.

De todos estos datos se puede concluir que la situación ideal sería utilizar una configuración mixta, entre CC y CA, con el fin de poder utilizar más eficientemente toda la energía. La relación vendría dado por el perfil del consumo y de la insolación.

Hibridación con acoplamiento mixto (acoplamiento CC + acoplamiento CA)

Como resultado de la comparación hecha en el apartado anterior, el esquema que se propone resultante de una hibridación mixta es el que aparece en la Figura 14.

Es decir, parte del generador FV se acoplará en CC y la otra parte en CA. Un ejemplo de esta hibridación mixta se presenta en la Figura 15, implementado en Malasia, para 1.2 MW.

Control

En los apartados anteriores, se han descrito las configuraciones de los sistemas híbridos, y sus elementos. Sin embargo, uno de los elementos

Figura 14: Hibridación mixta (acoplamiento de CC y de CA)

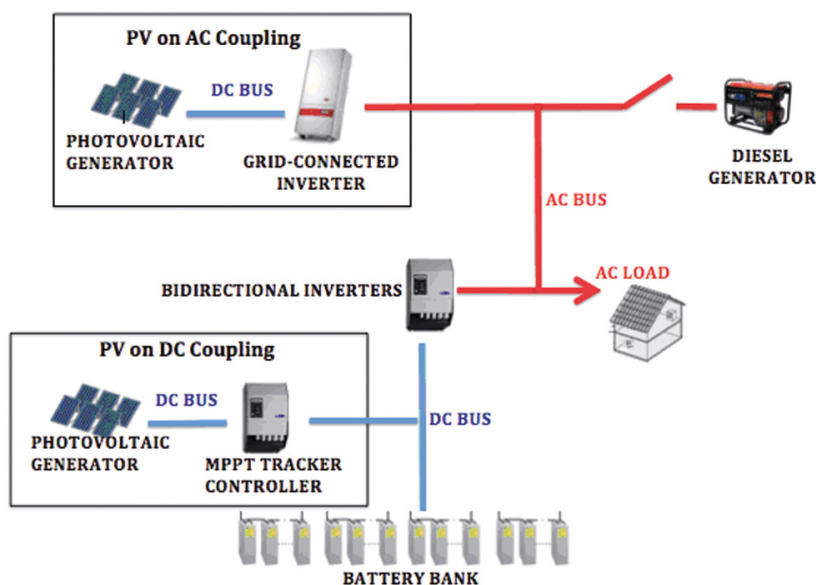


Figura 15: Implementación de la configuración mixta en Malasia, de 1.2 MW

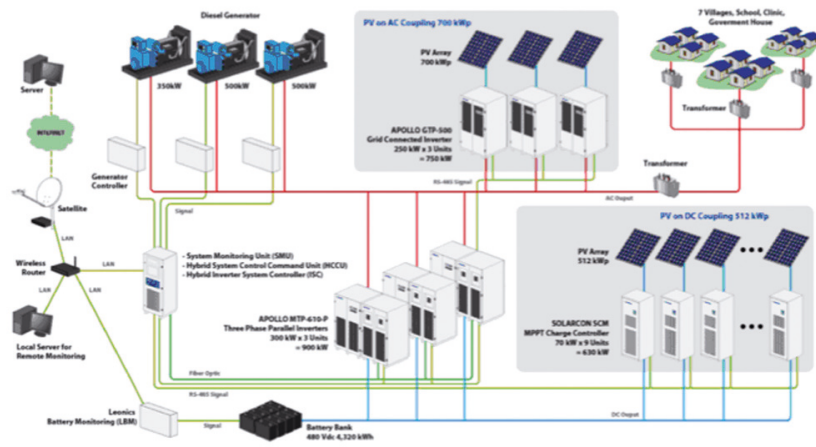
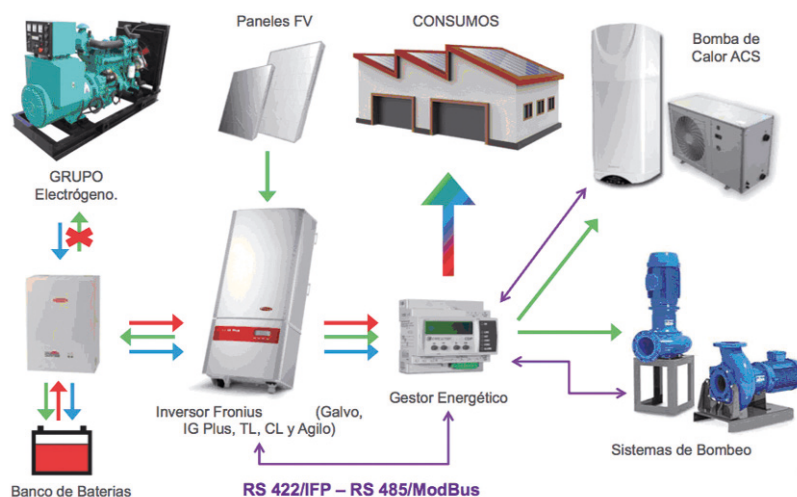


Figura 16: Hibridación propuesta por Fronius empleando la configuración en CA, con respaldo de un generador diésel, con gestor energético



más importantes es el gestor energético de cada uno de esos elementos. La gestión básicamente se puede realizar de dos formas: utilizando el inversor bidireccional o utilizando un gestor energético externo, ver Figura 16, simular al presentado en la hibridación Fotovoltaica + Diesel. Sin embargo, para estas configuraciones, la utilización de un gestor externo es la opción más versátil ya que permitirá gestionar los consumos, entre otras cosas.

Desde el punto de vista de la comunicación se puede implementar de dos formas: comunicación por línea o comunicación por medio del bus de CA.

Por comunicación por línea se puede aprovechar cualquiera de los protocolos RS485/Modbus o propietarios de cada fabricante de inversores, siguiendo diferentes guías. Como por ejemplo, la IEEE P1547.E, IEC 81850-7-420 el UESP desarrollado por CiA. En cuanto a la comunicación por medio del bus de CA se puede realizar de la forma que se explicó en la hibridación de la Fotovoltaica + Diesel.

Normativa

También es múltiple la normativa, a nivel internacional, relacionada con los sistemas híbridos. Aquí, se presentan algunas de estas normas:

- UNE-EN 62124 Equipos fotovoltaicos (FV) autónomos. Verificación de diseño
- UNE-EN 62093:2006 "Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño y ensayos ambientales"
- UNE-EN 62253:2012 "Sistemas de bombeo fotovoltaico. Cualificación del diseño y medidas del rendimiento"
- UNE-EN 62509:2012 "Controladores de carga de baterías para instalaciones fotovoltaicas. Comportamiento y rendimiento"
- Conjunto de partes de la IEC/TS 62257

Autores

Vicente Salas
Laboratorio de Sistemas Fotovoltaicos
Departamento de Tecnología Electrónica
Universidad Carlos III de Madrid
vicente.salas@uc3m.es