

MÉTODO DE PRE-DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS “FV-PREDIS”

D. Pontoriero¹, L. Hoesé², I. Blasco Lucas³

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPha) - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) - Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan – Argentina
Tel.: +54(0)264 423 2395 / 3259 Int. 349 – Fax: +54(0)264 423 5397 – <http://www.irpha.com.ar>
E-mails: dpontori@ice.unsj.edu.ar, iblasco@farqui.unsj.edu.ar, lhoese@ice.unsj.edu.ar

RESUMEN: Con objeto de lograr un predimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (FV) se desarrolla un método de prediseño (FV-PREDIS) para instalaciones de potencias menores a 5 kW. El método se basa en el uso de Índices diarios promedio mensual de Capacidad Potencial de Energía (ICPE) generada por un módulo. Para sistematizar el proceso, se plantean cinco alternativas básicas de demanda (ABD) que varían entre 2,5 y 5 kWh, aplicando el método propuesto en una localidad seleccionada y se contrastan los resultados con los obtenidos mediante los procedimientos estipulados por Norma IRAM 210012 (IRAM 210012, 1994) y un método sencillo recomendado por empresa del rubro. Se comprueba en todos los casos analizados un margen de error aceptable, ubicándose los resultados con FV-PREDIS en un punto medio respecto los dos métodos de referencia.

Palabras claves: Método, pre-dimensionamiento, sistemas fotovoltaicos, validación.

INTRODUCCIÓN

Los criterios de diseño de sistemas energéticos abastecidos con energías alternativas difieren de los aplicados a sistemas convencionales, fundamentalmente porque tanto la energía generada, como la almacenada son limitadas (generalmente por motivos económicos), siendo necesario un mayor cuidado en el uso racional de la misma. Esto implica un cambio de mentalidad y comportamiento muy importante en el usuario, quien debe tomar conciencia en su papel de administrador del sistema, que la energía es escasa y que no debe derrocharla. Por otro lado, para el diseño de los sistemas debe ser calculado con gran precisión la cantidad necesaria de elementos componentes de los subsistemas de captación y almacenamiento de energía, evitando sobre-dimensionamientos que involucren importantes sobrecostos, o infra-dimensionamientos que provocan un suministro de energía menor al demandado.

Se puede afirmar que actualmente el desarrollo de la tecnología FV ha alcanzado su madurez, habiendo demostrado su aptitud para numerosas aplicaciones, entre las que se destacan las destinadas a abastecer demandas eléctricas de comunidades localizadas distantes de redes de suministro y en zonas que cuentan con elevados niveles de irradiancia solar. Conforme a lo expresado en el primer párrafo, el éxito de los sistemas FV depende fundamentalmente del cuidado puesto en su diseño. Para ello, han sido desarrollados diferentes métodos de dimensionamiento, unos más complejos que utilizan modelos dinámicos (FhG-ISES, 1992; Carrasco et al., 2000), y otros más sencillos basados en cálculos estacionarios (Cadena y Hoyos, 1999; Vera y Krenzinger, 2004; IRAM 210012, 1994).

Los primeros se caracterizan por requerir datos horarios de irradiancia directa y difusa, que no suelen estar disponibles para muchas localidades, y su uso demanda cierta experiencia y conocimientos específicos, motivos por los cuales no son muy apropiados para el diseño de instalaciones de potencias menores a 5kW. Los segundos son más adecuados en estos casos porque superan en cierta medida los inconvenientes mencionados, pero también requieren de datos propios del lugar de diseño, que no siempre están disponibles y por otra parte el procedimiento de cálculo es complejo y demanda conocimientos específicos de los componentes y sistemas FV. Con el fin de superar las dificultades citadas, y simplificar el cálculo para un predimensionamiento, que permita realizar una primera estimación de la cantidad de componentes necesarios para un consumo dado, se propone un método estacionario sencillo basado en el uso de Índices mensuales de Capacidad Potencial de Energía (ICPE) generada (Hoesé et al., 2007), que necesita solamente los valores de radiación incidente sobre el módulo y la eficiencia real del módulo fotovoltaico a instalar, las pérdidas producidas en las baterías, y los componentes controladores de potencia, como son el regulador de carga y el inversor.

METODOLOGÍA

Se parte de concebir el proceso de diseño de sistemas FV como sistemas energéticos integrales conformados por dos partes, una relacionada con la demanda de consumidores, compuesta por las encuestas que se realizan a los habitantes para conocer sus hábitos y necesidades, y por el relevamiento de precios y características de equipos entre los proveedores existentes en el

¹ Instituto de Energía Eléctrica (IEE). Facultad de Ingeniería (FI). Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). Av. Lib. Gral. San Martín 1109 (Oeste). Tel.: +54(0)264 4226444 Int. 246. Fax: +54(0)264 4217309. <http://www.iee.unsj.org>. Investigador del Grupo Responsable del proyecto PICT13-13059 FonCyT-ANPCyT (2004-2007), y Co-Director de los proyectos PIC21A383 CICITCA-UNSJ (2003-2005), y PIC21A782 CICITCA-UNSJ (2006-2007), en el marco de los cuales se obtuvieron los resultados que se presentan en este artículo.

² Instituto de Energía Eléctrica (IEE). Facultad de Ingeniería (FI). Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). Investigadora del grupo de Colaboradores del proyecto PICT13-13059, e integrante del equipo en los proyectos PIC21A383 y PIC21A782.

³ Miembro de ASADES. Directora de los proyectos PICT13-13059, PIC21A383 y PIC21A782, desarrollados en el IRPha-FAUD-UNSJ.

mercado (Blasco Lucas et al., 2006a). La otra parte abarca la oferta de recursos, integrada por el registro y procesamiento de datos climáticos. La interrelación de ambas permite determinar el tipo y cantidad de energía que necesitan los usuarios, y el modo de abastecerlos con la energía generada por el sistema (Fig. 1). De este modo, el sistema FV se considera formado por dos subsistemas principales, el de cargas y el de generación (Fig. 2). Al primero lo integran consumidores de corriente continua (cc) y de corriente alterna (ca) destinados a usos productivos, domésticos, de comunicación, de provisión y administración de agua, y de iluminación; y al segundo, componentes de captación (módulos FV), de control (regulador, atenuador, inversor), y de almacenamiento (baterías).

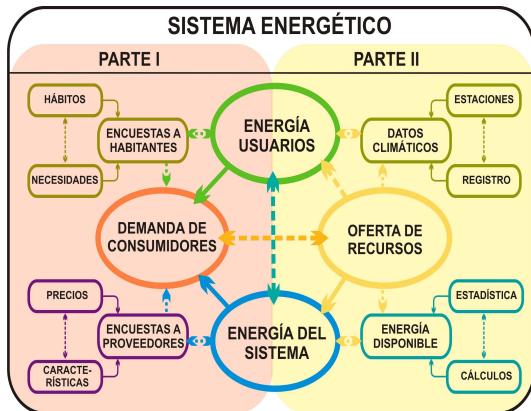


Fig. 1. Esquema del procedimiento aplicado para definir un Sistema Energético basado en energías renovables.

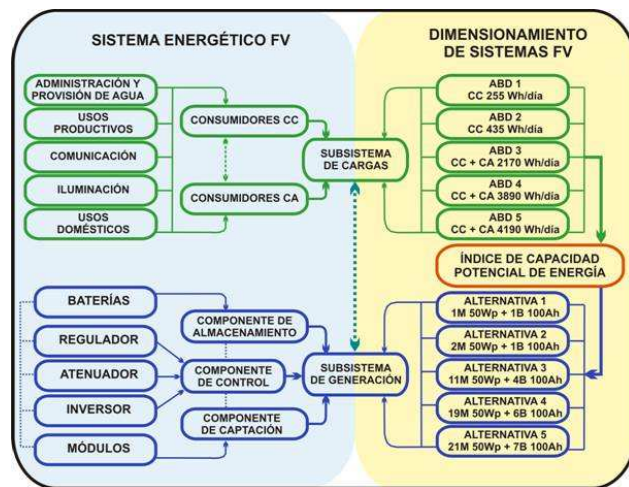


Fig. 2. Esquema de la metodología aplicada para diseñar alternativas de Sistemas Energéticos FV.

Para la aplicación de la nueva metodología de cálculo propuesto (método FV-PREDIS) se define el subsistema de cargas en base a un tipo de destinatario y sus diferentes posibilidades económicas, analizando las características de los consumidores que pueden satisfacer sus necesidades. Con ellos se conforman cinco *alternativas básicas de demanda* (ABD's) en orden creciente de cantidad de energía para diferentes combinaciones de tipo de corriente a emplear (Blasco Lucas et al., 2006b). Mediante el uso de los Índices diarios promedio mensual de Capacidad Potencial de Energía (ICPE) para una localidad seleccionada se dimensionan los correspondientes componentes de captación y almacenamiento, determinando las respectivas cantidades de módulos y de baterías, en función de sus características. La validación del método propuesto se realiza comparando los resultados con los obtenidos a través del procedimiento estándar de dimensionamiento fijado por Norma IRAM 210012 (1994) y por un método sencillo recomendado por empresa del rubro.

ALTERNATIVAS BÁSICAS DE DEMANDA

Se pueden plantear distintas alternativas de diseño con generación fotovoltaica (FV) en función del tipo de consumidores utilizados (electrodomésticos y equipos). En locales con pequeños consumos (menores a los 500 Wh/día) de uso, por razones de índole operativa y para reducir pérdidas de potencia de los sistemas, es conveniente instalar artefactos de corriente continua (cc) de 12 o 24 Volt para artefactos como luminarias, TV, radio grabador, etc. Cuando son necesarios consumos superiores a 500 Wh/día es conveniente instalar artefactos de 220 Volts en corriente alterna (ca), para electrodomésticos como heladeras, lavarropas, herramientas, etc. En estos casos se debe utilizar un inversor de potencia cc/ca, para convertir la cc de las baterías a ca de los electrodomésticos. Es común también el uso de sistemas mixtos, que permiten a la vez una optimización en el uso del convertor cc/ca y una reducción de pérdidas de potencia.

Teniendo en cuenta las necesidades y costumbres de poblaciones aisladas para las cuales son adecuados los sistemas FV de potencias menores a 5kW por sus características propias, se considera que el uso de esta opción en sistemas individuales independientes es más apropiada que en sistemas centralizados. Por Ej., si un sistema de bombeo de agua está lejos del local donde están los equipos electrodomésticos, es aconsejable instalar un sistema FV independiente del sistema FV del local, para evitar interferencia y minimizar los costos de traslado de energía. Solo en caso de utilizar equipos de altos consumos (>500 Wh/día) y alimentados con ca, son convenientes sistemas centralizados de generación y almacenamiento de energía, para su distribución a varios subsistemas de consumo, situados distantes de aquellos, ya que la distribución en ca no es costosa como la de cc. El método desarrollado se adapta para cualquiera de los casos mencionados, aunque en el presente trabajo se seleccionan sistemas individuales para aplicar el método de dimensionamiento propuesto.

Análisis de Consumidores

Todo diseño de provisión eléctrica edilicia comienza considerando el tipo de artefactos y equipos eléctricos que se utilizarán por local, para estimar el consumo total y la demanda energética del sistema, su distribución según horarios de uso de cada uno de los equipos y electrodomésticos previstos y además, de los recursos naturales disponibles (sol, viento, agua), su magnitud y periodicidad. En particular, cuando se utiliza generación con sistemas alternativos, como los fotovoltaicos y eólicos, y en zonas muy distantes de la red eléctrica convencional, se debe considerar el almacenamiento de energía en baterías, para que el usuario continúe provisto de energía eléctrica durante periodos carentes de sol o viento.

Por medio de encuestas se relevó la información necesaria para determinar la cantidad y diversidad de equipamientos usados actualmente en zonas rurales aisladas y posibles de utilizar en el futuro, relacionados con la iluminación, la comunicación social y con usos productivos. De este modo, se conocieron las expectativas de los pobladores dispersos que habitan la zona

rural árida (*puesteros*) de la Provincia de San Juan, en el centro-oeste de Argentina, referidas a los medios energéticos para mejorar su productividad, principalmente fuentes de provisión de agua tanto para regadío como para consumo humano y animal, y medios de refrigeración para la conservación de carnes, ya sea para consumo familiar o para la venta.

En base a lo expresado por los habitantes, se decidió conformar cinco ABD's, que cubriesen desde necesidades domésticas mínimas, hasta aquellas asociadas a las actividades productivas normales del lugar, factibles de formar parte de un Centro Comunitario (CC). Esto permitió tener en cuenta el consumo tanto en base al equipamiento con que contaban al momento de diseñar el sistema, como aquel adicional que planeaban incorporar a futuro. Los artefactos y equipos eléctricos reconocidos como indispensables en un CC fueron: luminarias, bomba para elevar agua al tanque, heladera para conservar alimentos y medicamentos, lavarropas para optimizar el tiempo de trabajo de las mujeres en la comunidad, reproductor de video y TV para cursos de capacitaciones y para esparcimiento, ventilador para brindar bienestar térmico en verano, electrodomésticos y máquinas herramientas para fabricar artesanías.

Respetando las expectativas y los hábitos de los destinatarios y del tipo de CC que deseaban tener, se realizó la selección del equipamiento y se determinó con los pobladores la cantidad de horas posibles de uso y en función de un análisis de eficiencia y de consumo energético. Se tuvo especial cuidado en discriminar los equipos que consumen energía eléctrica en cc y en ca, y además, si ese consumo sería sólo diurno, o sólo nocturno, o mixto. Para el análisis de los consumidores y componentes posibles de instalar, se realizó un relevamiento exhaustivo de las características y requerimientos de los mismos, entre proveedores existentes a nivel provincial y nacional. De este modo, se seleccionó una bomba de CC pequeña de 120W de cc robusta y muy confiable para elevar agua al tanque. Por otro lado, se constató que el reproductor de video es un equipo normalizado y la gran mayoría consume alrededor de 40 W en ca, siendo muy difícil conseguir uno en cc. Sin embargo, fue posible conseguir artefactos TV en cc, con un consumo de 15 W, o un TV de 14" de ca que consume 60 W. Entre los ventiladores, se eligió uno pequeño que consume 80 W, y para las máquinas herramientas, como son: taladros, fresadoras, afiladoras, etc. se encontraron unas pequeñas que consumen normalmente 180 W. En cuanto a luminarias de bajo consumo (15W) y alta eficiencia, que existen de cc o ca, se prefirió utilizar de cc porque tienen un precio razonable en la actualidad y no requieren la utilización del inversor en su consumo, lo cual reduce la energía necesaria para su funcionamiento.

Definición de ABD's

Dadas las distintas posibilidades de equipamiento eléctrico y necesidades de consumo para las diversas regiones rurales aisladas, se plantean el consumo de energía de cinco ABD's de complejidad y magnitud crecientes de demanda energética en función del equipamiento relevado y seleccionado. Las características de los consumidores y la energía requerida total para cada uno de los ABD's se muestran en las Tablas 3 a 7. Estas brindan una cantidad razonable de posibilidades, que facilitan una rápida adopción de la más apropiada conforme a las características de la zona donde se instalarán sea en viviendas, escuelas, o un CC.

Equipamiento	Tensión	Potencia	Uso Diario	Demanda Diaria
		[W]	[h]	[Wh/día]
3 Lámparas	12 Vcc	15	3	135
1 TV 14"	12 Vcc	15	3	45
1 Radio grabador	12 Vcc	15	5	75
ABD 1: Demanda Diaria Total				255

Tabla 3. Características del equipamiento de la ABD 1.

Equipamiento	Tensión	Potencia	Uso Diario	Demanda Diaria
		[W]	[h]	[Wh/día]
3 Lámparas	12 Vcc	15	3	135
1 TV 14"	12 Vcc	15	3	45
1 Radio grabador	12 Vcc	15	5	75
1 Bomba de agua	12 Vcc	120	1,5	180
ABD 2: Demanda Diaria Total				435

Tabla 4. Características del equipamiento de la ABD 2.

Equipamiento	Tensión	Potencia	Uso Diario	Demanda Diaria
		[W]	[h]	[Wh/día]
7 Lámparas	12 Vcc	15	3	315
1 TV 14"	220 Vca	60	3	180
1 Radio grabador	12 Vcc	15	5	75
1 Heladera	220 Vca	150	8	1200
1 Lavarropa	220 Vca	280	1	280
1 Bomba de agua	12 Vcc	120	1	120
ABD 3: Demanda Diaria Total				2170

Tabla 5. Características del equipamiento de la ABD 3.

Equipamiento	Tensión	Potencia	Uso Diario	Demanda Diaria
		[W]	[h]	[Wh/día]
7 Lámparas	12 Vcc	15	3	315
1 TV 14"	220 Vca	60	3	180
1 Radio grabador	12 Vcc	15	5	75
1 Heladera	220 Vca	150	8	1200
1 Freezer	220 Vca	220	7	1540
1 Lavarropa	220 Vca	280	1	280
1 Bomba de agua	12 Vcc	120	1	120
1 Taladro	220 Vca	180	1	180
ABD 4: Demanda Diaria Total				3890

Tabla 6. Características del equipamiento de la ABD 4.

Equipamiento	Tensión	Potencia	Uso Diario	Demanda Diaria
		[W]	[h]	[Wh/día]
7 Lámparas	12 Vcc	15	3	315
1 TV 14"	220 Vca	60	3	180
1 Radio grabador	12 Vcc	15	5	75
1 Heladera	220 Vca	150	8	1200
1 Freezer	220 Vca	220	7	1540
1 Lavarropa	220 Vca	280	1	280
1 Bomba de agua	12 Vcc	120	1	240
1 Máquina H. A	220 Vca	180	1	180
1 Máquina H. B	220 Vca	180	1	180
ABD 5: Demanda Diaria Total				4190

Tabla 7. Características del equipamiento de la ABD 5.

METODOLOGÍAS DE DISEÑO

El método de cálculo propuesto, denominado *FV-PREDIS*, parte de valores de demanda típicos en zonas rurales, a los cuales se los afecta de los Índices *ICPE* (Hoesé et al., 2007), el área de colección de la radiación y ciertos factores de seguridad, para obtener la cantidad de módulos y baterías necesarios para satisfacer ese consumo.

El *ICPE* depende de los valores de radiación recibida por el módulo y su eficiencia real. El área de colección de la radiación está en función del área efectiva de las celdas fotovoltaicas del módulo considerado y los factores de seguridad varían con las pérdidas producidas en las baterías y los componentes controladores de potencia, como son el regulador de carga e inversor.

El cálculo de la cantidad de módulos *FV* y baterías que se requieren para cada uno de las *ABD*'s, se debe hacer en base a una unidad de referencia. Se considera en esta propuesta, un módulo *FV* de 50 Wp y una batería de 100 Ah como unidades básicas de diseño.

DISEÑO CON “FV-PREDIS”

Una vez definido la demanda total y particular de cada artefacto en horas específicas por día, se determinan los tipos de generador eléctrico y baterías que se instalarán para el suministro. A los efectos de la investigación se selecciona entre 71 puestos relevados, la localidad de Balde de Leyes (Lat. 31°40', Long. 68°25') ubicada en el Departamento de Caucete a 180Km hacia el este de la ciudad de San Juan, que forma un pequeño pueblo formado por 13 familias, una capilla y una escuela. Para los datos de radiación solar total diaria media mensual sobre superficie horizontal (Wh/ m²) de esa localidad se determinan los *ICPE*s diarios promedio mensuales (Hoesé et al., 2007) considerando un rendimiento o eficiencia medios reales de los módulos *FV* en un 10%, como se muestra en la Tabla 8. Los resultados obtenidos con la aplicación del índice se sintetizan en la Tabla 9, donde se pueden observar la cantidad de módulos *FV* y baterías que se requerirían para conformar los sistemas de generación correspondientes a los *ABD*s considerados, para una zona desértica.

Mes	ICPE
	[Wh/m ² día]
Enero	656,41
Febrero	675,08
Marzo	624,51
Abril	619,83
Mayo	552,41
Junio	453,17
Julio	538,55
Agosto	598,87
Septiembre	572,1
Octubre	672,9
Noviembre	629,83
Diciembre	648,87

Alternativa Básica de Demanda	Demanda [Wh/día]	ICPE m [Wh/m ² día]	Área de colección necesaria [m ²]	Factor Fs1 módulo	Cantidad de módulos <i>FV</i> de 50Wp	ICPE b [Wh/m ² día]	Factor Fs2 batería	Cantidad de baterías de 100 Ah
1	255	450	0,56	1,13	1,72 = 2	675	1,35	0,59 = 1
2	435	450	0,96	1,13	2,93 = 3	675	1,35	0,88 = 1
3	2170	450	4,82	1,13	14,60 = 15	675	1,35	4,41 = 5
4	3890	450	8,64	1,13	26,18 = 27	675	1,35	7,94 = 8
5	4190	450	9,31	1,13	28,20 = 29	675	1,35	8,53 = 9

Tabla 8. *ICPE*'s en Balde de Leyes.

Tabla 9. Cantidad de Módulos y Baterías para las cinco *ABD* definidas.

Se detalla a continuación el contenido de las columnas de la Tabla 9:

- Demanda [Wh/día]: es la demanda diaria de energía, calculada a partir de las tablas 3 a 7.
- *ICPE* [Wh/m² día]: es el valor más desfavorable del Índice de Capacidad Potencial de Energía (junio).
- Área de colección necesaria [m²]: división de la Demanda [Wh/día] por el *ICPE* [Wh/m² día].
- Cantidad de módulos *FV*: división del área de colección necesaria [m²] por el área del módulo *FV* de 50Wp (0,37m²), multiplicado por el factor de seguridad Fs1. Este tiene en cuenta los rendimientos del inversor y del regulador de carga. Se considera la eficiencia del regulador (97%) y del inversor (92%).
- Cantidad de baterías (100Ah): [*ICPE** (0,37 m² * cantidad de módulos *PV*) * Fs2] / 100Ah * 12V.

Para este último cálculo se usa el valor de *ICPE* mayor (febrero), para considerar la situación más desfavorable de almacenamiento y además se le suma un factor de seguridad Fs2, que tiene en cuenta la eficiencia de las baterías (80%) y del inversor (92%). Los valores de eficiencia son obtenidos de mediciones reales de estos componentes.

VALIDACIÓN DE *FV-PREDIS*

Para analizar la precisión de este método de prediseño se realiza el cálculo de la cantidad de módulos *FV* y baterías que requerirían cada una de los *ABD*'s para el método de diseño simplificado normalizado, Norma IRAM 210012, que denominaremos “*IRAM*” y otro método, también de prediseño, sugerido por una empresa fabricante de módulos que denominaremos “*FV-Anual*”. Se considera en estos cálculos, también un módulo *FV* de 50 Wp y una batería de 100 Ah como unidades básicas de diseño, y los mismos valores de eficiencia de las baterías, reguladores de carga e inversores.

Diseño con “*IRAM*”

El método *IRAM* tiene en consideración el cálculo de los siguientes valores:

- Demanda diaria de energía para cargas diurnas
- Demanda diaria de energía para cargas nocturnas
- Demanda diaria de energía para cargas diurnas y nocturnas

- Demanda total diaria de energía
- Máximo consumo de potencia durante el día
- Máximo consumo de potencia durante la noche
- Máximo consumo de potencia durante el día y la noche

Para el cálculo de las variables mencionadas se deben adoptar una serie de parámetros que tienen que ver con la localidad para la cual se hace el dimensionamiento y valores de eficiencia de los diversos componentes intervinientes:

- Latitud: 32° Sur.
- Inclinación de los paneles: 45° Norte.
- Voltaje nominal de las cargas (Vb): 12 Vcc
- Eficiencia del regulador de carga (Ers) : 0.97
- Eficiencia del Inversor (Eri): 0.92
- Profundidad de descarga de las baterías (Pf): 50 %(0.50)
- Índice de transparencia de la atmósfera (promedio mensual para junio): $K_t=0.57$
- Horas de sol (junio): 10 Hs.
- Factor de seguridad por comportamiento real de módulo (Fs) : 1.10 (10 % de pérdida)
- Relación C100/C10 de batería (Cc): 1.4
- Localidad seleccionada para los coeficientes PP y TB : San Juan Aero

Siguiendo los pasos indicados por este método de diseño, se muestran en la Tabla 10 los valores obtenidos en el cálculo para las cinco ABDs mencionadas.

Alternativa Básica de Demanda	Demanda [Wh/día]	Potencia Pico [Wp]	Capacidad de baterías [Ah]	Cantidad de módulos FV de 50Wp	Cantidad de baterías de 100 Ah
1	255	87	61,25	2	1
2	435	142	80,53	3	1
3	2170	704	406,83	15	5
4	3890	1315	766.56	27	8
5	4190	1415	801,50	29	8

Tabla 10. Cantidad de Módulos y Baterías para las cinco ABD, calculados por el método "IRAM".

Diseño con "FV-Anual"

Esta metodología se basa en el cálculo de la capacidad de generación promedio anual que puede entregar cada módulo FV para una zona determinada. Para ello divide el territorio Argentino en varias zonas con un nivel de radiación similar y luego presenta una tabla con los valores de capacidad de generación promedio anual para todos los módulos, que la empresa comercializa (según sus Wp), y para cada una de las zonas con similar nivel de radiación. A partir del valor de capacidad de generación promedio anual para un módulo de 50 Wp, la localidad de Balde de leyes, que está dentro de una de las zonas especificadas en el procedimiento de cálculo, considerando baterías de 12V y los rendimientos de inversor y regulador de carga, se obtiene la cantidad de módulos y baterías. Los valores mencionados para cada uno de los ABDs se muestran en la Tabla 11. En todos los casos se aproximan las cantidades de módulos y baterías a los valores enteros superiores, como en método FV-PREDIS.

Alternativa Básica de Demanda	Demanda [Wh/día]	Tensión de batería [V]	Capacidad de generación promedio anual para módulos de 50 Wp [Ah/día]	Eficiencia de inversor y regulador [%]	Cantidad de módulos FV de 50Wp	Cantidad de baterías de 100 Ah
1	255	12	13,955	1,03	1,56 = 2	0,56 = 1
2	435	12	13,955	1,03	2,67 = 3	0,83 = 1
3	2170	12	13,955	1,15	14,89 = 15	4,54 = 5
4	3890	12	13,955	1,15	26,70 = 27	8,18 = 9
5	4190	12	13,955	1,15	28,77 = 29	8,79 = 9

Tabla 11. Cantidad de Módulos y Baterías para las cinco ABD, calculados por el método "FV-Anual".

Se detalla a continuación cómo se realiza el cálculo de la cantidad de módulos y de baterías de la Tabla 11:

Cantidad de módulos: Se divide la demanda en 12 y en la capacidad de generación promedio anual de módulo, y se multiplica por las eficiencias del regulador y del inversor

Cantidad de baterías: Se multiplica la capacidad de generación promedio anual de módulo por la cantidad de módulos, la eficiencia de las baterías y la eficiencia de inversor, dividido en 100.

Si bien el procedimiento no contempla el cálculo del número de baterías, en este caso se ha calculado el mismo para realizar la comparación, ya que es muy simple a partir de la capacidad de generación promedio anual de módulo, de la cantidad de módulos y la eficiencia de la batería (80%) y del inversor (92%). Además se lo referencia a una batería de 100 Ah.

COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS APLICADOS

Se resumen en la tabla 12 todos los valores obtenidos de cantidad de módulos de 50Wp y baterías de 100Ah, como así también las diferencias porcentuales entre las cantidades obtenidas por los procedimientos “IRAM” y “FV-Anual” con respecto al procedimiento “FV-PREDIS” propuesto, para cada una de las ABD. Las diferencias en porcentaje mostradas son obtenidas a partir de los valores exactos de los cálculos y no de la cantidad de módulos y baterías adoptados finalmente según cada procedimiento, ya que estas son obtenidas como el valor entero superior más cercano.

Alternativa Básica de Demanda	Cantidad de Módulos de 50 Wp			Cantidad de Baterías de 100 Ah			Diferencias con FV-PREDIS [%]			
	FV-PREDIS	FV-Anual	IRAM	FV-PREDIS	FV-Anual	IRAM	Módulos		Baterías	
							FV-Anual	IRAM	FV-Anual	IRAM
1	2	2	2	1	1	1	9,30	1,10	0,05	3,60
2	3	3	3	1	1	1	8,80	0,03	5,60	5,40
3	15	15	15	5	5	5	1,90	0,03	2,80	4,70
4	27	27	27	8	9	8	1,90	0,40	2,90	3,40
5	29	29	29	9	9	8	1,90	0,40	2,90	0,06

Tabla 12. Cantidad de Módulos y Baterías para las cinco ABD definidas y para todos los métodos con las diferencias porcentuales.

Principales Diferencias de los Métodos “IRAM” y “FV-Anual” respecto a “FV-PREDIS”

El Método IRAM considera:

- la demanda discriminada en tres niveles: diurna, nocturna, y mixta. Esto permite un balance de energía más exacto, reduciendo la cantidad de baterías necesarias. Lo cual se refleja en las ABD 4 y 5.
- la radiación de la ciudad de San Juan, distante 180 Km de Balde de Leyes, existiendo por ello una leve variación en la radiación incidente.
- un déficit mensual permitido de energía del 5 %. Si este déficit fuese menor, aumentaría la cantidad de baterías. Es por ello que podemos suponer que los otros métodos producirán un déficit de energía cercano al 5 %.

Método FV- Anual considera:

- una radiación incidente igual en una gran zona del país, por lo cual pueden haber diferencias con la radiación real en la zona considerada.
- valores promedios anuales de generación de módulos por zonas del país. Es la misma consideración que el punto anterior, que puede llevar a que en ciertos lugares los valores puedan ser muy diferentes.
- sólo el cálculo de cantidad de módulos FV omitiendo el de cantidad de baterías, pero se puede deducir.
- sólo los valores promedios anuales de módulos fabricados por su propia empresa, por lo cual no resulta aplicable para módulos de otro fabricante y otra tecnología.

Las diferencias del método propuesto con el FV-Anual, que también es un método simplificado de prediseño, no son importantes, y se ven reducidas a medida que se aumenta el consumo. La mayor diferencia se observa en la cantidad de módulos y baterías para las ABD más pequeñas. El motivo se debe a la consideración de la radiación incidente, ya que el método FV-Anual considera valores más globales de radiación, lo cual lleva a un sobredimensionamiento en cantidad de módulos y baterías, siendo más notable para ABD menores, pero este efecto se va reduciendo a medida que se aumenta la demanda. El método FV-Anual es más rápido y simple, pero al no informar sobre la cantidad de energía generada por módulo de otros fabricantes para la zonificación considerada, es sólo aplicable para sus propios productos, por una cuestión comercial.

Son más significativas las diferencias con el método IRAM, ya que éste, sin bien es un método simplificado, es de dimensionamiento y se ha demostrado que es bastante preciso comparándolo con métodos más detallados y complejos de dimensionamiento de sistemas FV. Las diferencias con el método IRAM se dan fundamentalmente en el cálculo de las baterías, que llegan a ser del orden del 6% para la ABD 5, que es la mayor y se debe fundamentalmente a la discriminación de las demandas diurnas y nocturnas, lo cual hace disminuir la cantidad de baterías necesarias ya que supone que las cargas diurnas son abastecidas por los módulos. Inversamente, la diferencia en cantidad de módulos es menor, es como máximo un 3% (ABD 2 y 3), debido a que considera niveles de radiación muy cercanos y valores de rendimiento de módulos similares. El método FV-DIMSEN debería dar mayor cantidad de módulos que el método IRAM, pero la diferencia no es tan grande debido a que en el método IRAM se sobredimensionan la cantidad de módulos FV por la razón ya enunciada en párrafo previo.

CONCLUSIONES

La comparación de resultados obtenidos con los tres métodos de prediseño (FV-PREDIS, IRAM, FV-Anual) para cinco alternativas básicas de demanda creciente entre 2,5 y 5kWh abastecidas por un tipo determinado de módulo FV (50Wp) y de batería (100Ah), en una localidad seleccionada (Balde de Leyes), permiten afirmar que el método FV-PREDIS resulta aceptable a los fines propuestos. Existe una buena aproximación a los resultados obtenidos con el método de diseño IRAM principalmente en la cantidad de módulos (que representan la parte económicamente más significativa de los sistemas FV) y en la ABD de mayor demanda, manteniéndose las diferencias en todos los casos en un rango menor a 5,5%, lo cual es razonable considerando que el IRAM es más preciso. Mayores son las diferencias respecto a los valores obtenidos con el

método FV-Anual que sin embargo, se mantienen menores a un 10%. Esto implica que el método FV-PREDIS logra una mejor aproximación a las cantidades de módulos y baterías, situándose en un punto intermedio respecto a los dos métodos de referencia.

Una de las ventajas que presenta el FV-PREDIS consiste en que parte de cinco ABD típicas, lo cual simplifica el procedimiento y disminuye el tiempo de cálculo, al permitir al usuario potencial una rápida identificación de la demanda total que requiere. Sin embargo, al no discriminar consumos por tipo de corriente (cc o ca) resulta delicada la determinación del factor de seguridad necesario.

El método propuesto demuestra además la practicidad de contar con valores ICPE (Hoesé et al., 2007). Si se quisiera aplicar el procedimiento de cálculo para otro lugar y con otro tipo de módulo y tecnología, habría por un lado, que obtener el rendimiento real de los módulos FV de distintas tecnologías, y por otro, disponer o calcular el valor de radiación incidente en el plano de inclinación del módulo, partiendo de los ABD requeridos.

Una vez probada la validez del procedimiento implementado mediante FV-PREDIS, surgen como promisorias futuras investigaciones destinadas a completar una base de datos ampliada de ABDs, eficiencias reales de varias tecnologías y fabricantes de módulos, y datos de radiación solar de una gama importante de localidades, que se sumen al soporte informático del método propuesto desarrollado en libro de MS-Excel.

REFERENCIAS

- Norma IRAM 210012 (1994). *Sistemas solares Fotovoltaicos. Método de dimensionamiento simplificado*. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- Blasco Lucas I., Carestía C., Vega L., Fábrega M., Re G., Simón L., Hoesé L., Pontoriero D., Merino N., Hidalgo E., Roses E., Pignatari G. (2006a). *Unidades Productivas Sustentables en Zonas Rurales Árido-Sísmicas*. Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa). San Juan, Argentina. Libro Digital, 380 páginas.
- Blasco Lucas I., Pontoriero D., Hoesé L. (2006b). *PV Application for Rural Productive Uses on Micro-Scale*. RTPV40 on Digital Proceedings of the World Renewable Energy Congress IX. Elsevier and Pergamon. Florence, Italy.
- Cadena C., Hoyos, D. (1999). *El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico empleando "la plataforma" como práctica de laboratorio de la maestría en energías renovables*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 3, Nº 1, pp. 4.17-4.20.
- Carrasco G., Galimberti P., Barral J. (2000). *Desarrollo de componentes de sistemas fotovoltaicos para simulación bajo distintas condiciones climáticas*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, Nº 1, pp. 4.29-4.34.
- Hoesé L., Pontoriero D., Blasco Lucas I. (2007). *Determinación del Índice de Capacidad Potencial de Energía "ICPE" generada por módulos FV*. Avances en Energías Renovables y medio Ambiente (AVERMA), Vol. 10, XXX ASADES.
- Maycock P. & Stirewalt E. (1985). *A Guide to the Photovoltaic Revolution*. Rodale Press, Emmaus, Pa, USA.
- Strong S. & Sheller W. (1991). *The Solar Electric House*. Sustainability Press, Still River, Massachusetts, USA.
- Vera L., Krenzinger A. (2004). *Software pvsiz - desempeño en simulación de sistemas fotovoltaicos*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, Nº 1, pp. 4.13-4.18.

ABSTRACT: With object to obtain a pre-sizing of photovoltaic systems (FV) a method of pre-design (FV-PREDIS) for powers facilities smaller to 5 kW is developed. The method is based on the use of Energy Capacity Potential Indexes daily monthly average (ECPI) generated by a module. In order to systematize the process, five basic alternatives of demand consider (BAD) that vary between 2,5 and 5 kWh, applying the proposed method in a selected locality and contrasting the results obtained by means of the procedures stipulated by Norma IRAM 210012 (IRAM 210012, 1994) and a simple method recommended by a heading company. A margin of acceptable error is verified in all the analyzed cases, being located the FV-PREDIS results in a midpoint respect both reference methods.

Key words: Photovoltaic method, pre-sizing, systems, validation