

Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos

Versión 2

Thermie B: SUP-995-96

1998

revisado en 2001

Este documento debe ser citado como:
“Universal Technical Standard for Solar Home Systems”
Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998.

TRADUCCIÓN: A. RAPALLINI*, E. LORENZO**, M.A. EGIDO**

*SECRETARÍA DE ENERGÍA DE LA NACIÓN, ARGENTINA

**INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Para más detalles, diríjase a:

Instituto de Energía Solar
ETSI Telecomunicación
Ciudad Universitaria
28040 – Madrid (España)
Tel.: +34 91 544 10 60
Fax.: +34 91 544 63 41
Email: egido@ies-def.upm.es

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	ESPECIFICACIONES DE SHS, SUS COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO.	9
2.1	Confiabilidad.....	10
2.1.1	Generador fotovoltaico.....	10
2.1.2	Estructura de soporte	11
2.1.3	Batería.....	12
2.1.4	Regulador de carga	18
2.1.5	Las cargas (principalmente luminarias).....	27
2.1.6	Cableado	31
2.2	Seguridad.....	33
2.3	Comportamiento energético	34
2.3.1	Demanda energética.....	35
2.3.2	Fiabilidad y tamaño.	36
2.3.3	Eficiencia energética.....	38
2.4	Facilidad de uso.....	40
2.5	Instalación y mantenimiento.....	42
2.6	Flexibilidad	43
3	NORMA PARA SISTEMAS SOLARES DOMESTICOS (SHS),	44
3.1	Objetivo.....	44
3.2	Definiciones	45
3.3	Información general.....	46
3.4	Información para el dimensionamiento.....	46
3.5	Requisitos del sistema	48
3.5.1	Obligatorios	48
3.5.2	Recomendados.....	48
3.5.3	Sugeridos	48
3.6	Requisitos del generador Fotovoltaico.....	50
3.6.1	Obligatorios	50
3.6.2	Recomendados.....	50
3.6.3	Sugeridos	50
3.7	Requisitos de la estructura soporte.....	52
3.7.1	Obligatorios	52
3.7.2	Recomendados.....	52
3.7.3	Sugeridos	52
3.8	Requisitos de la batería	52
3.8.1	Obligatorios	54
3.8.2	Recomendados.....	54
3.8.3	Sugeridos	55
3.9	Requisitos del regulador de carga.	55
3.9.1	Obligatorios	56
3.9.2	Recomendados.....	56
3.9.3	Sugeridos	58
3.10	Requisitos para las lámparas	60
3.10.1	Obligatorios.....	60
3.10.2	Recomendados.	61

3.10.3 Sugeridos.....	61
3.11 Requisitos del cableado.....	61
3.11.1 Obligatorios.....	62
3.11.2 Recomendados.....	62
3.11.3 Sugeridos.....	62
3.12 Requisitos de la instalación.....	64
3.12.1 Obligatorios.....	64
3.12.2 Recomendados.....	64
3.12.3 Sugeridos.....	65

1 INTRODUCCIÓN

La experiencia acumulada en electrificación rural fotovoltaica muestra que el comportamiento de los sistemas domésticos individuales, en adelante SHSs*, no siempre es satisfactorio. Sin embargo, el estudio detallado de los problemas que se encuentran en las instalaciones existentes revela que el componente puramente solar (es decir el panel fotovoltaico) raramente falla. A menudo, el sistema fotovoltaico es, en su conjunto, el primer acusado cuando algo funciona mal; sin embargo, es frecuente que sean precisamente los componentes no estrictamente fotovoltaicos los responsables de los fallos. La razón principal de esta aparente paradoja estriba en el diferente grado de estandarización y certificación entre los módulos fotovoltaicos y el resto del sistema. Mientras que para los módulos existen normas reconocidas internacionalmente y que se aplican con rigor y generalidad, es notable el vacío de normativa respecto al resto de los componentes del sistema, a su correcta combinación y a la instalación, aunque estos componentes tengan una influencia drástica sobre la satisfacción de los usuarios y los costes de operación.

Este documento es el resultado de un trabajo orientado a cubrir tal vacío. Ha sido financiado por el programa Thermie-B (ref. SUP 99596) de la Comisión de la Unión Europea, y su presentación pretende que pueda servir de base a una Norma técnica de carácter universal para sistemas fotovoltaicos domésticos

Una revisión preliminar de normas técnicas, o similares, existentes en el panorama internacional (ver Anexo 1) reveló un gran número de inconsistencias¹ entre ellas. En particular, son notables las diferencias en los enfoques para el dimensionamiento de los sistemas y para especificar tipos de módulos fotovoltaicos, tipos de baterías, tensiones de trabajo de los reguladores, información operativa para los usuarios, caídas de tensión, medidas de seguridad y requisitos para balastos, cables y conectores.

Cada uno de los aspectos considerados en este documento ha sido tratado utilizando razonamientos científicos, evidencias empíricas y la experiencia personal de los autores. En gran medida, la norma aquí propuesta puede ser considerada como de carácter "universal", porque todas las normas existentes con anterioridad proveyeron información extremadamente útil, el primer borrador fue distribuido entre una gran cantidad de expertos de diferentes países (ver Anexo 2), y sus valiosos comentarios fueron también tenidos en cuenta.

En paralelo con la mencionada revisión de las normas existentes, se realizaron consultas a personas claves, involucradas en programas de electrificación rural, para

* SHS corresponde a la denominación inglesa Solar Home Systems

identificar sus preocupaciones y revelar sus puntos de vista sobre la utilidad y posibilidades de implementación de una norma “universal” para SHSs. El que tuviera flexibilidad, para permitir adaptarla a las condiciones particulares de cada país (clima, fabricación local, mercado interno, capacidades locales, etc.), ha sido la demanda más destacada. Con el fin de satisfacer esta demanda los requisitos que contiene han sido clasificados en tres categorías diferentes: Obligatorios, Recomendados y Sugeridos.

Requisitos *obligatorios*, en adelante señalados en el texto con el símbolo (C), son aquellos que pueden afectar directamente a la seguridad o a la confiabilidad. Su falta de cumplimiento puede acarrear daños personales o fallos del SHS, y por lo tanto constituyen un núcleo mínimo de requisitos que deben ser satisfechos en cualquier lugar del mundo y situación.

Requisitos *recomendados* (R) son aquellos que normalmente conducen a optimizar los sistemas. La mayoría son de aplicación Universal y de su incumplimiento se derivan incrementos en los costes. Sin embargo, como las consideraciones económicas pueden depender de las condiciones locales, su aplicación debe ser analizada en cada caso particular.

Requisitos *sugeridos* (S) Son aquellos que contribuyen a la calidad y robustez de la instalación. Ahora bien, cualquier juicio sobre la bondad de una instalación es esencialmente subjetivo, por lo que los requisitos sugeridos aquí pueden estar influidos por la experiencia personal de los autores, y su aplicación debe ser analizada en cada caso.

(NOTA: Los símbolos C, R y S se utilizan en este documento para especificar el carácter de obligatorio, recomendado o sugerido de cada especificación, de acuerdo con las definiciones precedentes.)

La norma aquí propuesta pretende ser de utilidad en los procedimientos que buscan afianzar la calidad, en el entendimiento de que seguir sus recomendaciones tendrá como consecuencia el que los SHSs, funcionen satisfactoriamente. En particular, tiene la intención de servir como referencia de calidad en las especificaciones de las compras que realicen los Gobiernos Nacionales, donantes e inversores. Además intenta ser de utilidad para fabricantes e instaladores como guía para el diseño de los SHS. Importa resaltar la vocación universal de la norma, porque cuanto más amplia sea su adopción mayores serán los beneficios que se deriven de ella, tanto para los usuarios como para la industria fotovoltaica y para la credibilidad del sector fotovoltaico. Confiar en procedimientos de certificación ampliamente aceptados en los mercados internacionales es un símbolo de madurez tecnológica, y el sector eléctrico, que utiliza normas IEC ó VDE, es un buen ejemplo de esto.

Los procedimientos sistemáticos de afianzamiento de la calidad deben incluir varios pasos, a saber: definición de las especificaciones a las que deben responder los

componentes y sistemas, definición de los ensayos de laboratorio y controles de calidad *in-situ* de los sistemas. De acuerdo con las condiciones estipuladas en el contrato Thermie-B, este documento se restringe al primero de estos pasos, es decir, a la definición de una norma técnica para SHSs, mientras que la definición de los procedimientos de ensayo queda pendiente para trabajos futuros. Sin embargo, es importante mencionar que la necesidad de esos pasos posteriores fue considerada al escribir esta norma, de modo que la posibilidad de asociar procedimientos de ensayo, para la fehaciente comprobación del cumplimiento de las especificaciones, ha estado presente en la mente de los autores.

Debe remarcarse que esta norma se limita a aspectos puramente técnicos. Otros aspectos como garantías, documentación, repuestos, etiquetas, etc., son también esenciales para el éxito de los programas de electrificación rural fotovoltaica y para la satisfacción de los usuarios. Sin embargo, estos aspectos están fuertemente influenciados por las condiciones locales (esquemas de mantenimiento, capacidad tecnológica local, etc.) y por lo tanto son poco susceptibles de estandarización universal.

En lo que sigue, este informe se divide:

El apartado 2 contiene una discusión sobre el comportamiento de los SHSs, que sirve de base para determinar y clasificar las especificaciones.

El apartado 3 presenta formalmente las especificaciones de modo que puedan utilizarse en los documentos contractuales reguladores de los programas de electrificación rural fotovoltaica. Para ello, las especificaciones han sido clasificadas bajo tres epígrafes: Sistema, Componentes e Instalación

Nota: Una vez establecida una referencia para la longitud de los cables y la cantidad de lámparas, las especificaciones del *sistema* y de los *componentes* pueden ser chequeadas utilizando prototipos. Sin embargo, las correspondientes a la *instalación* deberán ser verificados *in-situ*.

El trabajo de revisión preliminar a la redacción de esta norma "universal", ha confirmado que algunas soluciones técnicas difieren sustancialmente de un país a otro. Se tomó entonces la decisión consciente de incluir en la redacción de las especificaciones algunos términos generales (más bien vagos), tales como "ajustes adecuados", "ampliamente aceptados", etc., y se sugiere que los procedimientos de afianzamiento de la calidad basados en esta norma recurran al uso de las opiniones subjetivas de los expertos para juzgar si los correspondientes requisitos se satisfacen adecuadamente.

Podría considerarse que el uso de estos términos generales representa una puerta para las controversias y obstaculizará la aplicación de los procedimientos. Sin embargo, algunas experiencias pasadas con programas fotovoltaicos de gran entidad han demostrado que la incorporación del elemento "juicio de los expertos" en los

procedimientos de afianzamiento de la calidad puede proveer un adecuado grado de flexibilidad y puede conducir a sustanciales mejoras en la relación costo/calidad en los sistemas fotovoltaicos involucrados^{2,3,4}.

Nota a la segunda versión

Todos los cambios introducidos en esta nueva versión respecto a la anterior se han indicado, explícitamente, mediante notas a pie de página, tanto en la sección 2 como en la 3.

2 ESPECIFICACIONES DE SHS, SUS COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO.

Los SHSs generalmente responden a un esquema común que comprende los siguientes componentes:

- Un *generador fotovoltaico* compuesto por uno o más *módulos fotovoltaicos*, los cuales están interconectados para conformar una unidad generadora de corriente continua, CC.
- Una *estructura de soporte* mecánica para el generador fotovoltaico.
- Una *batería* de plomo-ácido compuesta de varias *vasos*, cada uno de 2 V de voltaje nominal.
- Un *regulador de carga* para prevenir excesivas descargas o sobrecargas de la batería.
- Las *cargas* (lámparas, radio, etc.).
- El *cableado* (cables, interruptores y cajas de conexión).

Esta clasificación de componentes es útil a efectos de presentación, y puede ser también utilizada de un modo más general. Por ejemplo, el término *batería* puede usarse para referirse no solamente a la batería en sí misma, sino también para referirse al contenedor de la batería, los conectores, etc.

La mayoría de los SHSs actuales son de baja potencia (típicamente < 100 Wp) y operan enteramente en CC. Es posible también que los SHS provean energía eléctrica en corriente alterna, CA, utilizando convertidores CC/CA, también llamados onduladores o inversores, pero razones de costo y confiabilidad normalmente tienden a restringir su uso a sistemas de mayor potencia (> 200 Wp). Esto es así, por ejemplo, cuando los SHSs están orientados a satisfacer mercados emergentes con alto poder adquisitivo⁵. En esta norma no se definen especificaciones para convertidores CC/CA, las cuales quedan pendientes para futuros trabajos.

La calidad de un SHS particular puede ser juzgada en términos de confiabilidad, comportamiento energético, seguridad, facilidad de uso y simplicidad de la instalación y mantenimiento. Además, en especial en grandes programas de electrificación rural, puede ser importante que los SHSs tengan la capacidad de operar con diferentes componentes (por ejemplo provenientes de distintos fabricantes) y diferentes tamaños. Cuando se evalúan SHSs, cada uno de estos criterios debe ser considerado y traducido en requisitos concretos.

En algunos casos, se pueden especificar dos requisitos alternativos para un mismo componente o sistema. Esto normalmente ocurre cuando se plantea una opción entre

calidad técnica y costes, y la selección final debe ser hecha en función de las disponibilidades y restricciones locales. Por ejemplo, el tamaño de una batería para uso solar se expresa en términos de *Días de Autonomía*, y esta norma propone, en la sección 2.1.3, que obligatoriamente sea igual o mayor que 5, y recomienda preferiblemente que sea igual a 8 (≥ 5 (C), 8 (R)). Esto no es una contradicción, se trata simplemente de que la especificación obligatoria representa un mínimo absoluto, mientras que la especificación recomendada representa una solución más deseable pero también más costosa.

2.1 CONFIABILIDAD

La confiabilidad de un SHS, en el sentido de ausencia de fallos, depende no solamente de la confiabilidad de sus componentes, sino también de otras características del sistema que pueden afectar directamente a la vida útil de las baterías y lámparas, tales como tamaño, umbrales de tensión del regulador de carga, calidad de la instalación, etc. Todos los componentes del sistema deben satisfacer requisitos similares de calidad y confiabilidad porque, si hubiera un único componente defectuoso en un sistema que en caso contrario se consideraría “perfecto”, ese componente limitaría la calidad del sistema como un todo.

2.1.1 Generador fotovoltaico.

- *Módulos fotovoltaicos certificados de acuerdo con la norma internacional IEC-61215 o con la norma nacional para módulos fotovoltaicos utilizada en el país de interés. (R)*

Este requisito actualmente excluye los módulos fotovoltaicos de capa delgada, aunque existen procedimientos de certificación para estos módulos (IEC-61646, SERI/TR-213-3624). Los módulos de capa delgada se permiten en algunos proyectos financiados por el Banco Mundial, y nuevos y prometedores módulos están surgiendo en los mercados internacionales. Pero hasta ahora las experiencias de campo con los módulos de capa delgada disponibles comercialmente han sido bastante desalentadoras^{6,7}. Su uso en programas de electrificación a gran escala se considera todavía muy arriesgado, y se recomienda que sean aceptados solamente si están avalados por adecuadas garantías a largo plazo.

Algunos fabricantes incluyen sistemáticamente diodos de paso (by-pass) en sus módulos fotovoltaicos, para protegerlos contra el fenómeno de “punto caliente”. Sin embargo, debe señalarse que la probabilidad de que un módulo fotovoltaico sea dañado por efecto de “punto caliente” es prácticamente despreciable en los sistemas de CC que funcionen a menos de 24 V. Es por esto que el uso de tales diodos es irrelevante en los SHSs y no han sido considerados en esta especificación.

2.1.2 Estructura de soporte

- *Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables. (C)*
- *Las estructuras de soporte deben soportar vientos de 120 km/h, como mínimo. (R)*

Se pueden utilizar muchos materiales para las estructuras de soporte, entre ellos acero inoxidable, aluminio, hierro galvanizado con una capa protectora de 30 μm , madera tratada, etc.

- *En el caso de módulos fotovoltaicos con marco, su fijación a los soportes sólo puede realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable. (C)*

Es importante mencionar que la alternativa de módulos fotovoltaicos sin marco unidos a la estructura de soporte con un producto adhesivo adecuado, aunque todavía poco utilizada en el mercado de los SHS, está teniendo un comportamiento satisfactorio en otras aplicaciones generales y puede también ser aceptada.

- *El ángulo de inclinación debe optimizar la captación de energía solar durante el peor mes, es decir el mes con la peor relación entre los valores diarios de la irradiación y el consumo, ambos en media mensual. Generalmente puede suponerse que la demanda de los usuarios es constante, lo que lleva a la fórmula:*

$$\text{Inclinación } (^{\circ}) = \max \{ |\Phi| + 10^{\circ} \}$$

donde Φ es la latitud del lugar de instalación. (R)

Esta fórmula conduce a un ángulo mínimo de inclinación de 10° , el cual es suficiente para permitir el drenaje del agua de lluvia. Es útil señalar que pequeñas desviaciones acimutales ($\pm 30^{\circ}$) y/o de inclinación ($\pm 10^{\circ}$) tienen una influencia relativamente pequeña sobre la captación de radiación y, en consecuencia, sobre la producción del panel fotovoltaico.

La mayoría de los expertos consultados se oponen a los sistemas con seguimiento manual, porque significan riesgo de daño de los módulos y riesgo de perder energía, por falta o mal ajuste de la orientación. Sin embargo, ha sido usado en algunos lugares con resultados positivos, no sólo en términos de ganancia de energía sino también en términos de participación de los usuarios. Naturalmente, es necesaria una adecuada capacitación, y los dispositivos necesarios para permitir el movimiento y ajuste de los módulos también deben ajustarse a los requisitos especificados más arriba. Por lo tanto:

- ***Estructuras de soporte estáticas son generalmente preferibles a las de seguimiento (R)***
- ***En caso de que se utilicen sistemas de seguimiento manual (2 a 3 posiciones por día moviéndose de este a oeste), todos sus componentes deberán satisfacer los requisitos especificados anteriormente para las estructuras de soporte (C)***

2.1.3 Batería

La característica de operación más importante de una batería en un SHS es el *ciclado*. Durante un *ciclo diario* la batería se carga durante el día y se descarga durante la noche. Sobrepuesto al ciclado diario hay un *ciclo estacional*, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación. Estos ciclos, junto con otros parámetros operativos (temperatura ambiente, corriente, voltaje, etc.), afectan a la vida de la batería y a los requisitos de mantenimiento. Para maximizar la vida útil de las baterías de plomo-ácido, hay que evitar las siguientes condiciones operativas⁸:

- ◆ Altos voltajes durante la carga (para prevenir la corrosión y la pérdida de agua).
- ◆ Bajos voltajes durante la descarga (corrosión)
- ◆ Descargas profundas (sulfatación, crecimiento de dendritas)
- ◆ Períodos extensos sin recargas totales (sulfatación)
- ◆ Temperaturas altas de la batería (todos los procesos de envejecimiento se aceleran)
- ◆ Estratificación del electrolito (sulfatación)
- ◆ Corrientes de carga muy bajas (sulfatación)

Estas reglas conducen a especificaciones para el dimensionamiento (tanto de la batería como del generador fotovoltaico) y para los procedimientos de protección de la batería (reguladores de carga). Sin embargo, hay que señalar que algunas de las reglas están en contradicción con otras (por ejemplo, las cargas completas necesitan de altos voltajes pero los altos voltajes aceleran la corrosión), por lo que hay que buscar soluciones de compromiso que tengan en cuenta las condiciones locales: radiación solar, precios e impuestos de las baterías y los módulos fotovoltaicos, fabricación local, infraestructura de reciclado, etc. Quizás esto explica la falta de consenso que, sobre este aspecto, muestran las diferentes fuentes de información (normas, expertos, etc.) consultadas durante la preparación de esta norma. En consecuencia, los requisitos indicados más adelante deberán adaptarse a las particulares circunstancias locales.

La necesidad de evitar descargas excesivas lleva a limitar la máxima profundidad de descarga hasta un cierto valor, PD_{MAX} , que generalmente está entre 0,3 y 0,6, pero que puede aproximarse a 0,8 según el tipo de batería. Cuando se alcanza este límite, hay que interrumpir el suministro de energía a las cargas. La capacidad disponible, C_U , es, por lo tanto, menor que la capacidad nominal, C_B , que se refiere a la carga total que podría extraerse de la batería si no se impusiesen límites de ningún tipo. Es obvio que C_U es igual al producto $C_B \times PD_{MAX}$.

Típicamente, se puede obtener un buen compromiso entre costo y confiabilidad con una batería que tenga una capacidad útil que esté entre 3 (en lugares donde no se esperen períodos nublados prolongados) y 5 (en regiones donde sean probables períodos nublados prolongados) veces la demanda total diaria de energía de la vivienda. De este modo, la profundidad de descarga en un ciclo diario, PD_d , estará entre 0,06 y 0,2. La selección de un valor de capacidad en particular depende principalmente del tipo de batería. Las “buenas” baterías son capaces de resistir ciclos más profundos que las “malas” baterías. Por lo tanto, para una misma aplicación, las “buenas” baterías pueden ser más pequeñas que las “malas” baterías, en términos de capacidad nominal.

Las baterías de mejor calidad para uso fotovoltaico están hechas con placas tubulares y rejillas con bajo contenido de Sb-Se. Con estas baterías se pueden alcanzar vidas útiles superiores a 8 años, con $PD_d = 0,2$ y frecuencias de mantenimiento entre 1 y 2 veces al año. Una desventaja particular de las baterías tubulares en SHSs es que no aceptan fácilmente regímenes de carga muy bajos, además, son caras y están poco disponibles en los mercados actuales de los países en desarrollo. Sin embargo, no deberían ser excluidas de los programas fotovoltaicos. Por el contrario, es recomendable que los programas de electrificación rural a gran escala consideren la posibilidad de alentar a los fabricantes para que pongan estos productos en el mercado.

En contraste, las baterías para automóviles, usualmente referidas como SLI*, tienen algunas ventajas. Son las baterías más baratas cuando se las compara en términos de capacidad nominal (la diferencia de precio puede llegar a 4 ó 5 veces), son frecuentemente producidas localmente y están ampliamente disponibles en todos los mercados. La producción local no sólo es conveniente por razones económicas y sociales, sino también porque representa la mejor posibilidad para el reciclado de las baterías usadas y, en consecuencia, para evitar problemas ambientales. El principal inconveniente es su relativa corta vida. Debido a que el diseño de los vasos se optimiza para entregar altas corrientes durante períodos cortos de tiempo, tienen grandes áreas y placas delgadas, y están poco adaptados para suministrar corrientes

* Corresponde a las iniciales de las palabras inglesas STARTING, LIGHTING, IGNITION.

bajas durante largos períodos de tiempo antes de recargarlos de nuevo, como se requiere en los SHSs. Por lo tanto, es necesario utilizar baterías de capacidad más grande, $PD_d \leq 0,1$, y densidad del electrolito menor a la que se utilizaría normalmente (por ejemplo, 1,24 en lugar de 1,28 g/cl). Esto es necesario para reducir la corrosión y prolongar así la vida de las baterías. El aumento de resistencia interna de la batería, asociado a estas prácticas, no representa problema alguno en los SHSs, porque los regímenes de carga y descarga son relativamente bajos en comparación con los regímenes convencionales. Las baterías *SLI* clásicas utilizan aleaciones de plomo y antimonio en las rejillas, y exigen ser frecuentemente rellenadas con agua destilada.

La menor vida útil de las baterías para automóviles puede compensarse, hasta cierto punto, introduciendo modificaciones relativamente simples que afectan al diseño de la batería pero no a su tecnología. Las modificaciones más comunes son: placas más gruesas y mayor cantidad de electrolito en el espacio por encima de las placas. Estas baterías *SLI modificadas* se comercializan a veces como baterías “solares” y representan una alternativa interesante para el futuro de los SHSs. Siempre que sea posible, deben seleccionarse baterías *SLI* modificadas (y los fabricantes locales deben ser alentados a que las produzcan) en lugar de baterías *SLI* convencionales. Para que una batería pueda ser apropiadamente considerada como “*SLI* modificada”, debe cumplir las siguientes condiciones:

- ***El espesor de cada rejilla debe exceder los 2mm. (C)***
- ***La cantidad de electrolito debe exceder 1,15 l por vaso y por cada 100 Ah de capacidad nominal en 20-horas. (C)***
- ***Los separadores deben ser de polietileno microporoso. (R)***
- ***La densidad del electrolito no debe exceder 1,25 g/cl. (S)***

Las baterías *SLI* de “bajo mantenimiento”, a veces comercializadas bajo el epígrafe de “baterías libres de mantenimiento”, a menudo utilizan aleaciones de plomo y calcio en las rejillas. El calcio aumenta el voltaje al que comienza a producirse el gaseo, pero reduce la cohesión del material activo de las placas. En consecuencia, el calcio reduce el consumo de agua, pero también reduce la resistencia al ciclado de la batería. Estas baterías son particularmente vulnerables a los daños por descargas profundas. Además están sujetas a deterioro por grandes variaciones de temperatura. Por esta razón, muchos diseñadores de sistemas fotovoltaicos recomiendan fuertemente no utilizarlas en aplicaciones fotovoltaicas en países cálidos. Sin embargo, la característica “libre de mantenimiento” resulta muy atractiva para algunos, y estas baterías se han utilizado extensamente en algunos países, como por ejemplo Brasil⁹.

También se producen otro tipo de baterías “*sin-mantenimiento*” para aplicaciones profesionales utilizando electrolito gelificado. Estas baterías, referidas como VRLA (Valve Regulated Lead Acid), son más resistentes a descargas profundas, pero son generalmente muy caras para su uso en SHSs, y además su reciclado requiere de instalaciones específicas. Por estas razones, aún cuando puedan constituir una opción tecnológica válida en algunos casos, no han sido consideradas en esta norma. Y lo mismo es aplicable a las baterías de NiCd.

A la hora de especificar las baterías, hay que tener presente que los ensayos de ciclado en condiciones representativas de su operación en SHSs es difícil y lenta. A pesar de pasados intentos en este sentido, no existen todavía procedimientos ampliamente aceptados y es muy probable que esta situación se mantenga durante los años venideros. Por ello, la solución más práctica consiste en confiar en normas ya existentes y bien establecidas para usos convencionales. Esto significa utilizar valores de capacidad correspondientes a una descarga en 20 horas, y número de ciclos correspondientes a una profundidad de descarga del 50 %. Entonces, y una vez confirmado que la producción de energía excederá la demanda durante el peor mes (ver 2.3.2), el dimensionado de la batería deberá regirse por las siguientes reglas¹⁰:

- ***La capacidad nominal de la batería en 20-horas expresada en Ah (medida a 20 °C y hasta que el voltaje de un vaso llegue a 1,8 V/vaso) no debe exceder CR veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (medida en las denominadas condiciones estándar: irradiancia igual a 1000 W/m² y temperatura de célula igual a 25° C). En la tabla siguiente se dan los valores de CR propuestos para cada tipo de batería.***

Tipo de Batería	CR	
	Obligatorio	Recomendado
Tubular	20	15
SLI:		
- Clásica	40	30
- Modificada	40	35
- Bajo-mantenimiento	40	30

- ***La máxima profundidad de descarga, PD_{MAX} (referida a la capacidad nominal de la batería en 20-horas) no debe exceder los valores propuestos en la siguiente tabla:***

Tipo de Batería	PD _{MAX} (%)	
	Obligatorio	Recomendado

Tubular	80	70
SLI:		
- Clásica	50	30
- Modificada	60	40
- Bajo-mantenimiento	30	20

- *La capacidad útil de la batería, C_U , (la capacidad nominal en 20 horas, como se definió anteriormente, multiplicada por la máxima profundidad de descarga) deberá permitir entre tres y cinco días de autonomía (R)*

El valor de CR debe ser lo suficientemente bajo para asegurar que los módulos fotovoltaicos son capaces de recargar adecuadamente la batería. Los valores propuestos de CR (relación entre la capacidad nominal de la batería, C_B , y la corriente de cortocircuito del generador) dependen del tipo de batería, como se muestra en la Tabla, y buscan evitar corrientes de carga que resulten excesivamente bajas para el tipo de batería considerado. La capacidad útil de la batería, C_U , debe también tomar en cuenta las condiciones meteorológicas locales. Obviamente cuanto más grande sea la cantidad de días nublados esperados, más grande deberá ser el valor de C_U .

A modo de ejemplo:

Imaginemos un SHS compuesto por un módulo fotovoltaico, cuya corriente de cortocircuito en condiciones estándar es igual a 3,3A, y por una batería SLI modificada. Entonces:

$C_B \leq 40 \times 3,3 = 132$ Ah es el valor obligatorio.

$C_B \leq 35 \times 3,3 = 115$ Ah es el valor recomendado.

Supongamos además que el SHS debe proveer 12 Ah al día, en un lugar bastante seco. Entonces:

$C_B \geq 12 \times 3/0.6 = 60$ Ah es el valor obligatorio.

$C_B \geq 12 \times 3/0.4 = 90$ Ah es el valor recomendado.

Por lo tanto C_B debe ser elegido en los siguientes rangos:

obligatorio $60 \text{ Ah} \leq C_B \leq 132 \text{ Ah}$.

recomendado $90 \text{ Ah} \leq C_B \leq 115 \text{ Ah}$.

Consideremos ahora el mismo ejemplo pero en un lugar con frecuentes lluvias, donde el número esperado de días nublados es elevado. En este caso, C_B debe ser elegido en los rangos:

obligatorio $100 \text{ Ah} \leq C_B \leq 132 \text{ Ah}$

recomendado $150 \text{ Ah} \leq C_B \leq 115 \text{ Ah}$

(Este rango “recomendado” no tiene sentido físico y por lo tanto sólo es aplicable el rango obligatorio).

Debe remarcarse que todos estos valores de capacidad corresponden a descargas en 20 horas. Si se deseasen otros regímenes de descarga, se pueden utilizar las siguientes relaciones empíricas: $C_{100}/C_{20} \approx 1,25$, $C_{40}/C_{20} \approx 1,14$.

Es de la mayor importancia señalar que las medidas de capacidad nominal se realizan mediante ensayos de descarga que se efectúan con posterioridad a procedimientos de carga bien estandarizados (por ejemplo, 24 horas a 2,4 V/vaso). Estos procedimientos aseguran la completa formación de las placas, lo que significa que las partes relevantes del material homogéneo de las placas, utilizado en la fabricación de la batería, se convierten en óxido de plomo en los electrodos positivos y en plomo en los electrodos negativos. Ahora bien, ocurre que las placas de las baterías nuevas no están a menudo completamente formadas, y tienen restos de otros materiales (SO_4Pb , PbO), lo que lleva a valores iniciales de la capacidad que están significativamente por debajo de los valores nominales. Esta pobre formación puede normalmente compensarse sometiendo la batería a apropiadas cargas iniciales, pero en los sistemas fotovoltaicos aislados no puede suponerse que esta condición se vaya a cumplir, debido a la intrínsecamente limitada disponibilidad de corriente de carga. El resultado es que una buena tecnología de baterías puede ser desaprovechada porque en el campo no puedan respetarse las instrucciones de carga inicial. Por lo tanto, deben hacerse las provisiones necesarias para asegurar que la capacidad inicial de las baterías no está significativamente por debajo de los valores nominales.

Esto puede lograrse con un proceso apropiado de formación durante la fabricación de la batería, o mediante la realización de cargas iniciales cuando la batería ya está instalada. Sin embargo, si se elige esta última alternativa, el personal que instale las baterías debe tener los equipos necesarios para cargarlas, y estar capacitado para controlar y realizar las cargas iniciales. Este tipo de solución es generalmente inapropiado en SHS, debido a lo remoto de las condiciones características de operación.

A menudo, las baterías se transportan sin electrolito, y no se llenan hasta el momento de su instalación definitiva. Este proceder ofrece ventajas de seguridad durante el transporte y evita la autodescarga durante el almacenaje, pero requiere (no siempre) de la realización de cargas iniciales en el lugar de instalación que, como se ha mencionado, es un procedimiento difícil en el caso de los SHSs. Una buena alternativa es almacenar las baterías “secas”, y llenarlas con electrolito justo antes de enviarlas a su destino final. Esto requiere que las baterías sean transportadas con electrolito, pero permite realizar la carga inicial en los talleres del instalador. Cualquiera que sea el caso, se especifica lo siguiente:

- *Deben hacerse las provisiones necesarias para asegurar que la capacidad inicial de las baterías puestas en operación no difiere en más del 95 % del valor nominal.*¹ (C)

Finalmente, en lo que respecta a la resistencia de la batería a las condiciones de operación, se proponen las siguientes especificaciones:

- *La vida de la batería (es decir, antes de que su capacidad residual caiga por debajo del 80 % de su capacidad nominal) a 20°C, debe exceder un cierto número de ciclos, NOC, cuando se descarga hasta una profundidad del 50%. En la Tabla siguiente se dan los valores de NOC para cada tipo de batería.* (R)

Tipo de Batería	NOC
Tubular	600
SLI	
- Clásica	200
- Modificada	200
- Bajo-mantenimiento	300

- *La autodescarga de las baterías a 25°C, no debe exceder el 6% de su capacidad nominal por mes.* (C)

2.1.4 Regulador de carga

La función primordial del regulador de carga es proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las sobredescargas. Además, se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario. Idealmente la regulación de carga debería atender directamente al estado de carga de la batería, y en la actualidad hay sofisticados reguladores de carga en el mercado que funcionan bajo este principio. Sin embargo, son aún muy complejos y caros, por lo que su uso es difícil de justificar en SHSs. En consonancia con ello, esta norma sólo considera reguladores de carga que atiendan al voltaje de la batería.

Típicamente el costo del regulador de carga representa sólo el 5 % de la inversión inicial en un SHS. Sin embargo, su impacto sobre el costo a largo plazo de un SHS es mucho más grande que ese porcentaje, porque las baterías pueden ser el componente mayor del coste total a lo largo de la vida útil del sistema, y la vida de la batería está directamente ligada a la calidad del regulador de carga. Por esta razón,

¹ En la versión anterior había una errata en el tanto por ciento exigido.

deben usarse reguladores de carga de buena calidad, los cuales deberían estar diseñados para una vida útil de por lo menos 10 años.

Con el fin de proteger las baterías contra descargas excesivas, el suministro de electricidad a las cargas debe interrumpirse cuando el voltaje de la batería cae por debajo de un cierto umbral, llamado “voltaje de desconexión de carga”. Y no debe reanudarse hasta que el voltaje de la batería no haya superado otro umbral más alto, llamado “voltaje de reconexión de carga”. Las normas existentes son bastante inconsistentes en lo que respecta a los valores concretos de estos umbrales, pero esto no es sorprendente, porque el comportamiento eléctrico de las baterías no sólo depende del diseño particular de cada batería y del proceso de fabricación, sino también de la edad de la misma.

En la práctica, la selección del voltaje de desconexión debe buscar una solución de compromiso entre un usuario satisfecho (valores bajos de desconexión que maximizan la disponibilidad de energía) y la protección de la batería y otros componentes del SHS (valores altos de desconexión que alejan el riesgo de sobrecarga). La experiencia de campo ha demostrado que los algoritmos muy protectores tienden a alentar prácticas indeseables, como por ejemplo el puenteo de los reguladores. A la luz de estas experiencias, es atrayente considerar el uso de luces de aviso, alarmas, rearmes, etc., para alertar al usuario del riesgo de desconexión, con el fin de que modere su consumo y pueda evitar la interrupción del suministro eléctrico. En el mercado de reguladores existe una amplia variedad de combinaciones de sistemas de alarma y protección contra descargas profundas.

A la hora de proponer especificaciones particulares, conviene primero advertir que las sugerencias de los distintos expertos consultados durante la redacción de esta norma han sido diversas y dispares. Por ejemplo, el sistema más aceptado en la India (actualmente, y de lejos, el mayor mercado mundial de SHSs) incorpora una llave denominada "puente para bodas" (wedding bypass) que permite al usuario eliminar la protección del regulador, y extraer así más energía de la batería en ocasiones especiales: celebraciones, etc. Los expertos de la India creen que no proveer esta característica, que es por otra parte un fuerte argumento de venta, alienta prácticas indeseables por parte de los usuarios. En consecuencia con ello, su recomendación es no excluir esta provisión de esta norma. Razones parecidas, junto con otras de seguridad (por ejemplo, evitar la mordedura de serpientes durante la noche), llevaron en el pasado a la inclusión de un inhibidor manual de la protección contra descargas profundas en el programa mexicano PRONASOL (hasta la fecha, el mayor programa de electrificación rural en el mundo). Sin embargo esta posibilidad fue recientemente excluida del programa porque hubo muchos abusos (muchos usuarios inhibían permanentemente la protección).

Continuando con esta discusión, hay que señalar que todos los medios de proteger a los equipos deben ser considerados en el contexto de quien mantiene la propiedad

del SHS y de quien tiene la responsabilidad de protegerlo. Consideremos algunos ejemplos ajenos al campo fotovoltaico. Los automóviles, que son típicamente propiedad de particulares, normalmente poseen un simple aviso (luz roja, o similar) de sobrecalentamiento del motor, y dejan al conductor la decisión de detenerse o no cuando la luz se enciende. En este caso el conductor es totalmente responsable de las consecuencias de la posible rotura del motor. En contraste, las casas conectadas a la red de distribución eléctrica normalmente tienen protecciones contra sobreconsumos, que desconectan automáticamente la carga, sin ninguna intervención del usuario, cuando se alcanzan ciertos límites. Esto sirve, de hecho, para proteger a la red de distribución, la cual es propiedad y debe ser mantenida por la compañía eléctrica.

La protección de equipos también debe considerarse en relación con el estándar de consumo energético, que se define en la sección 2.3.1. En los sistemas de pequeño tamaño es esperable una mayor frecuencia de eventos de descarga profunda, por lo tanto la protección es más necesaria, pero también aumenta la tentación de los usuarios de alterar los sistemas.

Finalmente, la disponibilidad de baterías, sus precios, y, por lo tanto, el impacto económico de las protecciones contra descargas profundas sobre la vida de las baterías también varía de un país a otro.

Cualquiera que sea el caso, está claro que los voltajes de desconexión y reconexión de carga deben adaptarse a cada tipo de batería. Los ensayos de capacidad de descarga llevados a cabo en el IES sobre muchas baterías, con el fin de definir con precisión la relación entre voltaje y estado de carga, SOC, han demostrado la inconveniencia de establecer valores universales para tales (ver la tabla que sigue). Además, la mayoría de los expertos consultados coincide en este punto, a pesar de que esta idea de voltajes universales todavía se utilice en muchos programas de SHSs.

ρ (g/cm ³)	BT1	BT2	BT3	BT4	BT5
V (v/vaso)	1,24	1,20	1,24	1,28	1,24
2	56	100	68	40	60
1,95	33	60	30	17	33
1,9	18	28	10	7	17
1,85	6	7	2	2	6
1,8	0	0	0	0	0

Estado de carga versus voltaje de vaso para varias baterías de SHS ensayadas en el IES, (En todos los casos, $C_{20} \approx 100$ Ah, $I_D = 7$ A, $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Teniendo en cuenta todas las incertidumbres mencionadas, se proponen las siguientes especificaciones:

- ***Debe haber protección contra descargas profundas. (C)***
- ***El “voltaje de desconexión de carga” debe corresponder al valor máximo de la profundidad de descarga definido en 2.1.3, precisamente para una corriente de descarga, expresada en amperios, igual al consumo diario, expresado en amperios-hora, dividido por 5. (C)***
- ***El “voltaje de reconexión de carga” debe ser 0,08 V/vaso (ó 0,5 V para 12 V) superior al voltaje de “desconexión de carga”. (R)***
- ***La inhibición manual de la protección contra descargas profundas no está permitida. (S)***
- ***Deben incluirse elementos de señalización y alarma previos a la desconexión. (R)***
- ***El “voltaje de alarma” (estado de carga bajo) debe ser 0.2V (para sistemas de 12V) superior a la tensión de desconexión del consumo. (R)²***
- ***Los voltajes de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de $\pm 1\%$ (± 20 mV/vaso, o ± 120 mV/batería de 12 V) y permanecer constantes en todo el rango de posible variación de la temperatura ambiente. (C)***

El encendido de aparatos eléctricos que requieren grandes corrientes de arranque (por ejemplo motores) pueden hacer que el voltaje de la batería caiga brevemente por debajo del voltaje de desconexión, aún cuando la batería tenga un aceptable estado de carga. Con el fin de evitar una interrupción indeseable de la alimentación en estas circunstancias.

- ***La desconexión de la carga debe retardarse entre 3 y 30 segundos desde que se alcanza el “voltaje de desconexión de carga”. (R)***

Hay que señalar que esta forma de especificar los umbrales de tensión de los reguladores, que busca su adecuación a cada tipo de batería en particular, conlleva la necesidad de realizar ensayos de descarga a una corriente específica para cada tipo de batería. Aunque esto está lejos de la práctica, hoy habitual, de utilizar umbrales de tensión pretendidamente universales, creemos que los costos de estos ensayos

² Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: *El “voltaje de alarma” (estado de carga bajo) debe elegirse de modo tal que la señal de alarma se active 30 minutos antes de que se produzca, suponiendo que todas las cargas están conectadas.*

serán ampliamente compensados por los beneficios resultantes en términos de la vida útil de las baterías, aún en el caso de programas de electrificación rural relativamente pequeños (aprox. 100 SHSs).

Para proteger las baterías contra sobrecargas, debe limitarse la corriente de carga cuando el voltaje alcanza un cierto umbral, llamado “voltaje de fin de carga”, y no debe restablecerse hasta que el voltaje caiga por debajo de otro umbral, denominado “voltaje de reposición”. Básicamente hay dos clases de reguladores de carga, y la diferencia principal es la posición del dispositivo de corte empleado para implantar esta protección. Los reguladores "serie" interrumpen la conexión entre el generador solar y la batería, mientras que los reguladores "paralelo" o "shunt" cortocircuitan al generador solar. Además, hay dos tipos básicos de estrategias de control. En los controladores “on-off” se interrumpe totalmente la corriente de carga cuando se alcanza el “voltaje de fin de carga”. Mientras que en los controladores con "modulación del ancho de pulso", o PWM, se recurre a reducir gradualmente la corriente de carga cuando se alcanza el “voltaje de fin de carga”, manteniendo así el voltaje constante, y precisamente igual a este valor. Ambos tipos de reguladores y de estrategias de control son adecuadas para SHSs. De hecho, recientes ensayos sistemáticos independientes^{11, 12, 13} no sugieren que haya una ventaja real asociada a cada tipo de regulador o estrategia de control, en términos de mejorar la vida útil de la batería.

En la práctica la selección de los voltajes de fin de carga y reposición debe buscar una solución de compromiso entre asegurar la carga completa de la batería (voltajes altos) y evitar la corrosión de las rejillas y el excesivo consumo de agua (voltajes bajos). Otra vez, los estándares de consumo establecidos para diseñar los SHSs juegan un papel importante. Lógicamente, en los SHSs diseñados para consumos estándar bajos, la tendencia al sobreconsumo será mayor que la tendencia a la sobrecarga. En consonancia con ello, la aceptación de carga debe priorizarse sobre el consumo de agua, lo que exige establecer un “voltaje de fin de carga” relativamente alto. La responsabilidad sobre el mantenimiento, y los precios de las baterías pueden también afectar al equilibrio de esta solución de compromiso.

Idealmente debería realizarse un ensayo de recarga de la batería para definir con precisión la relación entre el voltaje y la corriente de gaseo. Si ese fuera el caso:

- ***El “voltaje de fin de carga” debe corresponder a un factor de recarga entre 0,95 y 1, cuando la carga se realiza precisamente a una corriente constante igual a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico, en condiciones estándar de medida. (R)***

Sin embargo, es importante notar que la sensibilidad del “voltaje de fin de carga” al tipo de batería es relativamente baja (mucho menor que la sensibilidad del voltaje de desconexión para protección frente a sobrecarga, mencionado anteriormente). Por

ello, si los ensayos de recarga no están disponibles puede recurrirse a las siguientes prácticas generales:

- ***El “voltaje de fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,4 V/vaso, a 25°C. (C)***
- ***En los controladores “on-off”, el voltaje de reposición debe estar en el rango de 2,15 a 2,2 V/vaso, a 25°C. (C)***

En los reguladores con control por “modulación por ancho de pulso” (PWM), la tensión constante de fin de carga debería ser inferior a la requerida para los reguladores con control ON/OFF, con el objetivo de reducir la pérdida de agua y la tasa de corrosión. Los valores de corriente de gaseo medidos a 2,4V/vaso han resultado ser entre un 50 y un 60% superiores a los medidos a 2,35V/vaso para todas las baterías ensayadas. Además, la tasa de corrosión también se incrementa de forma significativa a elevadas tensiones, mientras que la carga se asegura manteniendo la tensión constante a un nivel adecuado. Por consiguiente, se escribirá:

- ***En el caso de reguladores PWM, el voltaje de “fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,35V/vaso, a 25°C.³ (C)***

Cualquiera que sea el caso:

- ***El “voltaje de fin de carga” y el “voltaje de reposición”, mencionados más arriba, deben corregirse por temperatura a razón de -4 a -5 mV/°C/vaso. (C). (Esta especificación debe ser C solamente si se espera que las temperaturas ambientes [interiores] en las cercanías del controlador varíen significativamente a lo largo del año, más que $\pm 10^\circ\text{C}$. En caso contrario el circuito de compensación de temperatura no es realmente necesario).***
- ***El “voltaje de fin de carga” y el “voltaje de reposición” deben tener una precisión del 1% ($\pm 20\text{mV/vaso}$, o $\pm 120\text{mV}$ para 12 V batería). (C)***
- ***Si se utilizan relés electromecánicos, la reposición de la carga debe retardarse entre 1 y 5 minutos. (C)***

Es muy importante resaltar que todos los umbrales de voltaje mencionados anteriormente están definidos en los terminales de la batería. Las caídas excesivas de voltaje (en el regulador de carga, cables, interruptores, fusibles, etc.) tienen

³ Esta especificación, junto con el párrafo previo explicativo, no estaba incluida en la anterior versión.

consecuencias negativas en el comportamiento de muchos sistemas¹¹ causando con frecuencia una disminución de la capacidad efectiva de carga del generador fotovoltaico. Debido a que típicamente los reguladores de carga miden el voltaje de la batería en los correspondiente terminales del propio regulador, tales caídas de tensión pueden reducir el voltaje de carga de la batería, y afectar con ello a su correcto funcionamiento. Caídas de tensión tan pequeñas como 30 mV/vaso pueden tener efectos significativos sobre la estimación del estado de carga de la batería y, en último extremo, sobre su tiempo de vida¹¹. Análogamente, cualquier caída excesiva de tensión en el circuito de consumo reduce el voltaje disponible en las cargas y puede afectar negativamente a su funcionamiento. Por lo tanto, es necesario limitar las caídas de voltaje tanto en el cableado (ver 2.1.6) como en el propio regulador. Para ello:

- ***Todos los terminales del regulador deben poder acomodar fácilmente cables de, al menos, 4 mm² de sección. (C)***
- ***Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del generador, deben ser inferiores al 4 % de la tensión nominal ($\cong 0,5$ V para 12 V), en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas apagadas y con la máxima corriente procedente del generador fotovoltaico. (C)***
- ***Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del consumo, deben ser inferiores al 4 % del voltaje nominal. ($\cong 0,5$ V para 12 V) en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas encendidas y sin corriente alguna procedente del generador fotovoltaico. (C)***

Aún así, pueden imaginarse condiciones operativas problemáticas para la batería derivadas, por ejemplo, de malos contactos. Por ello:

- ***El regulador de carga puede incluir una línea independiente para el sensor de tensión de batería. (S)***

Algunos diseñadores fotovoltaicos recomiendan recurrir a sobrecargas controladas, como medio para evitar la perniciosa estratificación del electrolito. Sin embargo, al día de hoy no existe una clara evidencia empírica de las ventajas reales derivadas de tal práctica en los SHSs. Y esta falta de evidencia empírica fomenta la publicación de opiniones muy diferentes respecto a cual es la mejor estrategia para tales sobrecargas controladas. Por ejemplo, el Fraunhofer ISE sugiere que:

- ***Las sobrecargas controladas deben efectuarse a un voltaje constante de 2,5 V/vaso. Las sobrecargas deben efectuarse después de cada descarga profunda y/o a cada intervalo de 14 días. La sobrecarga debe durar entre 1 y 5 horas. (S)***

- ***Debe ser posible la interrupción manual de la sobrecarga. (S)***

Como otro ejemplo, un fabricante europeo de reguladores sugiere el uso de dos ciclos de histéresis sobrepuestos, un ciclo correspondiente a la operación normal, definido por los voltajes de fin de carga y de reposición explicados más arriba, y otro ciclo para la sobrecarga controlada, regulado por un umbral superior mayor que el “voltaje de fin de carga” y un umbral inferior menor que el “voltaje de reposición”. El control se desplaza automáticamente de un ciclo al otro cada vez que se alcanzan los umbrales de voltaje de la sobrecarga controlada. En este caso:

- ***Los umbrales superior e inferior de la sobrecarga controlada deben ser, respectivamente, 2,5 y 2,25 V/vaso. (S)***

En todos los casos:

- ***Se debe evitar la sobrecarga de las baterías SLI de “bajo mantenimiento”. (C)***

Es importante notar que la posibilidad de realizar sobrecargas controladas afecta al valor elegido para el “voltaje de fin de carga”. Así se debe elegir 2,3 V en vez de 2,4, V, cuando se dispone efectivamente de esta posibilidad.

Generalmente, para evitar la descarga de la batería a través del generador fotovoltaico durante la noche, se emplea una protección contra el paso de corriente inversa. Aunque esta descarga normalmente no es severa, evitarla ayuda a mejorar el comportamiento energético de los SHSs. La protección contra corriente inversa es muy fácil de implementar tanto en reguladores “paralelo” (que ya de por sí incluyen un diodo de bloqueo para evitar la descarga de la batería a través del dispositivo de corte) como en reguladores “serie” (utilizando alguna lógica sencilla y de barata implantación). Por lo tanto:

- ***Deben proveerse protecciones contra corrientes inversas (C)***

En los SHSs pueden ocurrir situaciones anómalas. La situación potencialmente más peligrosa, tanto para el regulador de carga como para las cargas, es la operación sin baterías (lo que puede ocurrir cuando se realiza el mantenimiento de la batería o cuando se funde un fusible de protección de la misma). En caso de no haber una protección específica, el generador fotovoltaico pasará a gobernar el voltaje del circuito, que puede llegar a ser lo suficientemente alto como para destruir dispositivos electrónicos. Para evitar este problema:

- ***El regulador de carga debe ser capaz de resistir cualquier situación posible de operación “sin batería”, cuando el generador fotovoltaico opera en condiciones estándar de medida, y con cualquier condición de carga permitida. (C)***

- ***El regulador de carga debe también proteger a las cargas en cualquier situación posible de operación “sin batería”, como fue definida anteriormente, limitando el voltaje de salida a un máximo de 1,3 veces el valor nominal. (También se permite la total interrupción de la alimentación a las cargas). (C)***

Las baterías muy descargadas también presentan condiciones potencialmente peligrosas. Algunos reguladores no son capaces de operar con tensiones muy bajas y, por lo tanto, pueden entonces bloquear la corriente de carga procedente del generador. Para evitar esta situación:

- ***El regulador de carga debe permitir la carga de la batería desde el generador fotovoltaico con cualquier voltaje mayor que 1,5 V/vaso. (R)***

Obviamente, para proteger adecuadamente la batería el regulador de carga en sí mismo debe ser altamente confiable, y estar bien protegido contra posibles daños. Por consiguiente, el regulador de carga debe ser capaz de manejar con comodidad tanto la máxima corriente del generador fotovoltaico como la máxima corriente hacia las cargas. Para ello:

- ***El regulador de carga debe resistir sin daño la siguiente condición de operación: temperatura ambiente 45°C, corriente de carga 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en las condiciones estándar de medida, y corriente de descarga 25% superior a la correspondiente a todas las cargas encendidas y al voltaje nominal de operación. (C)***

Los circuitos también necesitan protección contra posibles daños provocados por impactos mecánicos y por condiciones ambientales adversas (humedad, polvo, insectos, etc.). Al mismo tiempo, debe permitirse la ventilación de los componentes del regulador. Para asegurar esto:

- ***Las cajas de los reguladores de carga deben como mínimo proveer protección IP 32, según las normas IEC 529 o DIN 40050. (C)***

El primer dígito de la referencia IP indica el grado de protección contra la entrada de cuerpos sólidos extraños, y el “3” indica protección contra objetos sólidos (herramientas, alambres, etc.) de un grosor superior a 2,5 mm. El segundo indica el grado de protección contra la entrada de agua, y el “2” significa que no debe haber efectos dañinos sobre los equipos cuando se inclina la caja un ángulo de hasta 15°, respecto a su posición normal, y el agua cae verticalmente sobre ella. La protección IP 32 debería ser considerada el mínimo absoluto requerido para los reguladores de carga. Si es posible debería aumentarse reduciendo el diámetro de los objetos sólidos a 1 mm y proveyendo protección contra el agua proveniente de cualquier dirección. Entonces:

- ***Las cajas de los reguladores de carga deben proveer protección IP 54, de acuerdo con IEC 529 o DIN 40050. (R)***

El grado de protección debe guardar relación con el tipo de instalación de que se trate. IP 32 puede ser aceptable para instalaciones interiores mientras que IP 54 debe ser siempre obligatoria para instalaciones exteriores.

Además:

- ***El regulador de carga debe estar protegido contra polaridad inversa tanto en la línea del generador como en la de la batería. Pueden utilizarse combinaciones diodos-fusibles u otra solución. (R)***

Los generadores fotovoltaicos típicamente conllevan la existencia de lazos conductivos largos (espiras), por lo que son necesarias protecciones contra las sobretensiones inducidas por rayos:

- ***El regulador de carga debe estar protegido contra sobretensiones por medio de un supresor de sobrevoltajes de 1000 W o mayor, instalado entre ambos polos (+ y -) de la entrada correspondiente al generador fotovoltaico. (R).***
- ***El regulador de carga debe estar protegido contra sobretensiones por medio de un supresor de sobrevoltajes de 1000 W o mayor, instalado entre ambos polos (+ y -) de la salida correspondiente a las cargas. (R)***

La familia de supresores adecuados incluyen varistores, MOVs, y dispositivos del tipo avalancha, TVS. La mayoría de los reguladores de carga para sistemas fotovoltaicos pequeños utilizan MOVs porque son significativamente más baratos que los otros tipos.

Finalmente, los reguladores de carga pueden inducir interferencias que perjudican el funcionamiento de radios y aparatos electrónicos. Por ejemplo, este efecto puede ser provocado por controladores PWM, que se usan para limitar la corriente desde el generador fotovoltaico. Por lo tanto:

- ***El regulador de carga no debe producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación. (C)***

Es conveniente observar que en las áreas rurales de muchos países, las emisoras de radio emiten en AM únicamente.

2.1.5 Las cargas (principalmente luminarias)

Las cargas típicas en los SHSs son luminarias, radios y televisores, correspondiendo generalmente a la iluminación la parte más importante del consumo energético de la casa. Usualmente las lámparas se incluyen en el suministro de los SHSs, pero no han

alcanzado todavía un nivel de estandarización ampliamente generalizado. En contraste, las radios y los televisores son directamente adquiridos por los usuarios en los comercios de aparatos electrodomésticos convencionales, son productos altamente estandarizados, y los correspondientes consumos tienden a ser modestos. Por estas razones, esta norma sólo analiza las luminarias, mientras que la información relativa a radios y televisores (pérdidas “stand-by” pequeñas, protección contra polaridad inversa, voltajes requeridos, etc.) se confía a otras actividades de capacitación e información en general.

Por razones de eficiencia, las lámparas fluorescentes son normalmente la base principal de la iluminación en los SHSs. El balasto de las lámparas fluorescentes es esencialmente un oscilador que debe asegurar eficiencias energéticas y lumínicas altas, y larga vida a los tubos. Quizás la mayor dificultad para esto sea el amplio rango en que varía el voltaje de entrada de los balastos (diferentes estados de carga de la batería, corrientes de descarga, etc.). Desafortunadamente, para asegurar una larga vida, el tubo necesita ser alimentado con una tensión constante. Hay algunos balastos en el mercado que incluyen etapas estabilizadoras de tensión, y ésta podría ser una solución adecuada para superar la dificultad mencionada. Sin embargo, el costo asociado está lejos de ser despreciable, debido a la necesidad de incorporar un transformador adicional.

Se han propuesto especificaciones para balastos de alta calidad¹⁴, pero aún no hay suficientes evidencias que justifiquen su imposición, y son necesarios más análisis de experiencias de campo y estudios de optimización de costos. Por ejemplo, algunos balastos precalientan los electrodos del tubo fluorescente, antes de proceder a la ignición definitiva. Esto resulta claramente beneficioso en términos de duración de la vida del tubo, pero su interés económico puede no ser tan claro si el repuesto de tubos es muy barato. Consideraciones parecidas pueden hacerse respecto de la forma de la onda de corriente que atraviese la lámpara. La mayoría de los balastos disponibles en el mercado fotovoltaico no se ajusta a las mencionadas especificaciones de alta calidad, y se han obtenido buenos resultados con balastos muy simples, cuando se han adaptado cuidadosamente a las condiciones particulares de operación en la región. Los requisitos que se proponen aquí son:

- ***Los balastos deben asegurar un encendido seguro y regulado en el rango de voltajes de -15% a +25% del voltaje nominal (10,3 V a 15 V para baterías de 12 V). (C)***
- ***Los balastos deben asegurar un encendido seguro y regulado en el rango de temperaturas ambientes de -5°C a +40°C. (C)***
- ***Los balastos deben estar protegidos contra daños cuando: (C)***

⇒la lámpara se extrae durante la operación, y cuando los balastos operan sin lámpara.

⇒la lámpara no enciende.

⇒el voltaje de alimentación se aplica con polaridad inversa.

⇒se cortocircuita la salida del balasto electrónico.

- **Los balastos no deben producir interferencias en las radiofrecuencias. (C)**
- **El consumo de los balastos cuando operan sin lámpara debe ser menor que el 20% de su consumo nominal. (R)**
- **La potencia DC mínima requerida en la entrada del balasto será el 90 % del valor nominal, en todo el rango de la potencia de operación (-15% a +25% del valor nominal)⁴. (C)**
- **El rendimiento lumínico del conjunto balasto-lámpara fluorescente debe ser como mínimo 35 lum/W^{5,6}. (C)**
- **El rendimiento lumínico del conjunto balasto lámpara fluorescente debe ser como mínimo 50 lum/W⁶. (R)**
- **El rendimiento lumínico del conjunto balasto-lámpara fluorescente debe ser como mínimo 60 lum/W⁶. (S)**

Ante la falta de una relación directa entre el tiempo de vida del tubo y otros parámetros eléctricos, se propone considerar directamente la resistencia cíclica de la lámpara como parámetro a especificar y ensayar. Ya se han dado algunos pasos en esta dirección por el proyecto chino del Banco Mundial –cuyas especificaciones¹⁵ requieren un mínimo de 1000 ciclos–, y también por el FISE, cuyo procedimiento internacional requiere un mínimo de 10000 ciclos para que la lámpara sea aceptable. Mientras que el primero está claramente por debajo del actual estado del arte, el segundo tiende a ser bastante restrictivo, especialmente de cara a los productos locales. En consecuencia, se añaden dos normas sobre resistencia al ciclado⁷:

⁴ Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: “El flujo luminoso mínimo del conjunto balasto-lámpara fluorescente debe ser el 80% del valor nominal”

⁵ La verificación de la calidad del servicio de la lámpara está relacionada con las pruebas de eficiencia lumínica y, por tanto, la prueba de cualquier otra eficiencia intermedia no es estrictamente necesaria. En consecuencia, se ha eliminado la especificación “La eficiencia eléctrica mínima del balasto debe ser del 70% en todo el rango de voltajes de operación (-15% a +25% del voltaje nominal” incluida en la versión anterior.

⁶ En la versión anterior, el valor del rendimiento lumínico obligatorio, recomendado y sugerido era, respectivamente: 25, 35 y 50 Lumen/W

⁷ Se han suprimido todas las especificaciones relacionadas con la forma de onda y el factor de cresta que figuraban en la anterior versión:

- ***La lámpara deberá resistir un mínimo de 5000 ciclos de conexión y desconexión (encendido y apagado). Cada ciclo consistirá en periodos de 60 segundos en la posición ON y 150 segundos en la posición OFF, a la potencia (voltaje) nominal de la lámpara. (C)***
- ***La lámpara deberá resistir un mínimo de 10000 ciclos de conexión y desconexión (encendido y apagado). Cada ciclo consistirá en periodos de 60 segundos en la posición ON y 150 segundos en la posición OFF, a la potencia (voltaje) nominal de la lámpara. (R)***

Con frecuencia, criterios de eficiencia han conducido a recomendar el uso exclusivo de lámparas fluorescentes. Sin embargo algunas experiencias¹⁶ sugieren que la flexibilidad en la iluminación es altamente apreciada por los usuarios. Para cocinar y leer son necesarios altos niveles de iluminación (y pueden ser obtenidos con lámparas fluorescentes), mientras que los bajos niveles de iluminación pueden ser más apropiados para tertulias o seguridad (evitar víboras, etc.). Por ejemplo, una lámpara incandescente de 2 W entrega aproximadamente 20 lúmenes y su rendimiento de color es muy bueno, haciéndolo equivalente a una vela de máxima calidad. En Brasil, la instalación simultánea de lámparas incandescentes de 2 W y fluorescentes de 18 W en una misma habitación, dejando al usuario la posibilidad de elegir en todo momento entre una u otra, ha proporcionado excelentes resultados, en términos de satisfacción de los usuarios y minimización del consumo energético. Esto sugiere:

- ***El uso simultáneo de lámparas fluorescentes y lámparas incandescentes de baja potencia (< 2W) debe estar permitido, siempre que no se supere el consumo de diseño. (R)***

- ***La forma de onda de la corriente que atraviesa la lámpara fluorescente debe ser simétrica en el tiempo dentro de un 10% (es decir, 60%/40% de máxima diferencia en la simetría de la forma de onda) en todo el rango de voltajes de 11 a 12,5 V y a una temperatura ambiente de 25^o C. (C)***
- ***El máximo factor de cresta (relación entre el pico máximo y el voltaje RMS de la onda aplicada al tubo fluorescente) debe ser menor que 2, en todo el rango de voltajes de 11 a 12,5 V y a una temperatura ambiente de 25^o C. (C)***

Varios de los expertos consultados creen que este conjunto de especificaciones para los balastos y lámparas fluorescentes no es suficiente para asegurar una calidad técnica aceptable. Ellos recomiendan ser más estrictos, mediante los siguientes requisitos:

- ***La componente de CC de la corriente que atraviesa la lámpara fluorescente debe ser cero. (R)***
- ***El máximo factor de cresta (relación entre el pico máximo y el voltaje RMS de la onda aplicada al tubo fluorescente) debe ser menor que 1,7, en todo el rango de voltajes de 11 a 12,5 V y a una temperatura ambiente de 25^o C. (R)***
- ***Se recomienda el precalentamiento de los electrodos. (R)***

Finalmente, la eficiencia lumínica puede mejorarse bastante si se agrega algún tipo de reflector de luz a la luminaria¹⁷. Los reflectores se montan por encima de las lámparas para redirigir hacia abajo el flujo luminoso que la lámpara emite hacia arriba. Los reflectores con coeficientes de reflexión altos, en ciertos casos, pueden casi duplicar el nivel de iluminación en la habitación. Por lo tanto:

- ***La eficiencia lumínica puede incrementarse agregando reflectores a la luminaria. (S)***

2.1.6 Cableado

Voltajes relativamente bajos y corrientes relativamente altas son característicos en los SHSs. Por lo tanto, incluso pequeñas caídas de tensión tienden a ser importantes y pueden producir efectos negativos sobre:

- ⇒ la corriente entregada por el generador fotovoltaico (un aumento de la tensión de operación hace que el punto de operación se mueva hacia la región de baja corriente de la curva I-V del generador fotovoltaico).
- ⇒ la regulación de la carga de la batería (debido a las diferencias entre los voltajes reales de la batería y los valores del voltaje en los terminales del regulador de carga).
- ⇒ la vida útil de las lámparas fluorescentes (bajo voltaje de operación).

En consecuencia, hay que prestar especial atención a minimizar las pérdidas de voltaje, cuidando los aspectos del cableado. Para ello, se proponen los siguientes requisitos:

- ***Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5% entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente. (R)***

Debe hacerse notar que las caídas de tensión reguladas por esta especificación son aquellas exclusivamente asociadas al cableado (cables y terminales). Deben ser interpretadas como adicionales a las caídas de tensión en el regulador de carga mencionadas anteriormente, en 2.1.4.

Para los cables de cobre (resistividad = 0,01724 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ a 20°C) y con tensiones nominales de 12 V, se puede emplear la siguiente fórmula:

$$S(\text{mm}^2) = 0,3 \times l(\text{m}) \times I_M(\text{A}) / \Delta V(\%)$$

Donde S es la sección mínima de los cables, l es la longitud de los cables, I_M la máxima corriente y ΔV las pérdidas permitidas de voltaje.

- ***Sin perjuicio de la especificación anterior, las mínimas secciones de los cables en cada una de las líneas serán las siguientes: (C)***

⇒ del generador fotovoltaico al regulador de carga: 2,5 mm²

⇒ del regulador de carga a las baterías: 4 mm²

Por ejemplo, suponiendo que la distancia entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga es igual a 10 m, y que la corriente máxima es de 5 A, la sección de los cables debe ser mayor que $0,3 \times 10 \times 5 / 3 = 5 \text{ mm}^2$

- ***Los cables externos deberán ser aptos para operar a la intemperie según la norma internacional IEC 60811 o la norma nacional para cables que sea relevante en el país de interés. (C)***
- ***Todos los terminales de los cables deben permitir una conexión segura y mecánicamente fuerte. Deben tener una resistencia interna pequeña, que no permita caídas de tensión superiores al 0,5 % del voltaje nominal. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente. (C)***
- ***Los terminales de los cables no deben favorecer la corrosión que se produce cuando hay contacto entre dos metales distintos. (C)***
- ***Los extremos de los cables de sección $\geq 4 \text{ mm}^2$ deben estar dotados con terminales específicos y de cobre. Los extremos de los cables de sección $\leq 2,5 \text{ mm}^2$ podrán retorcerse y estañarse para lograr una conexión adecuada. (C)***
- ***Todos los cables deben respetar un código de colores y/o estar debidamente etiquetados. (R)***
- ***Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del fusible. (C)***
- ***Los fusibles deben instalarse preferentemente en las líneas de polaridad positiva. (R)***
- ***Los interruptores deben ser especialmente aptos para CC. (R)***
- ***Si se permite el uso de interruptores para CA, la corriente nominal en CA debe exceder como mínimo en 200 % la corriente máxima a ser interrumpida en CC. (R)***

- ***Las combinaciones enchufe/toma de corriente deben tener protecciones contra la inversión de la polaridad del voltaje suministrado a los aparatos eléctricos. (C)***

Interesa comentar que, cuando no se disponga de productos específicos para CC, un modo práctico de implementar la protección contra inversión de polaridad consiste en utilizar productos CA precisamente de los que tienen dos conductores y tierra. En este caso, los dos terminales principales pueden cortocircuitarse y ser usados como uno de los polos (por ejemplo, positivo) mientras que el terminal de tierra se usa como el otro polo (negativo).

2.2 SEGURIDAD

En lo que concierne a seguridad, los SHSs tienen la ventaja de la baja tensión (típicamente 12 V) y la desventaja de la presencia de baterías, las cuales tienen corrientes de cortocircuito muy altas, contienen ácido sulfúrico, y liberan gases inflamables. Para evitar los riesgos asociados, interesa cumplir los siguientes requisitos:

- ***Tanto la batería como el regulador de carga deben estar protegidos contra sobrecorrientes y corrientes de cortocircuito por medio de fusibles, diodos, etc. Las protecciones deben afectar tanto a la línea del generador fotovoltaico como a la línea de las cargas. (C)***

Las protecciones contra sobrecorrientes o cortocircuitos pueden realizarse fácilmente de varias maneras (fusibles, diodos, etc.) y pueden estar o no incluidas dentro de la caja del regulador. En cualquiera de los casos, tales protecciones deben ser consideradas como parte del regulador de carga y, en consecuencia, cumplir con los requisitos relativos a caídas de tensión propuestos en 2.1.4.

Pueden ocurrir accidentes con la batería si ésta, o su contenedor, se vuelca, o si accidentalmente se cortocircuitan sus terminales, por ejemplo, mediante un destornillador u otra herramienta. Por ello, la ubicación y montaje de baterías debe respetar lo siguiente:

- ***La batería debe estar ubicada en un espacio bien ventilado y con acceso restringido. (C)***
- ***Deben tomarse precauciones para evitar el cortocircuito accidental de los terminales de la batería. (C)***

Estos requisitos pueden cumplirse de distintas maneras. En Indonesia se han utilizado extensamente cajas especiales para contener baterías¹⁸, con la ventaja de ser productos estandarizados y rápidos de instalar, pero que agregan costo a los SHSs y pueden significar una intrusión en las casas que los usuarios no aceptan fácilmente. En Bolivia¹⁹ los propios usuarios realizaron construcciones especiales

para las baterías y los reguladores de carga siguiendo técnicas similares a las que utilizan para sus viviendas. Esta variante tiene las ventajas de usar materiales locales y fomentar la participación de los usuarios. Con estas construcciones se lograron muy buenos resultados, incluso en casos de impacto directo de rayos, que causaron la explosión de baterías y reguladores, sin provocar daño a los usuarios.

Ubicar el regulador de carga en el alojamiento de la batería puede hacer difícil para los usuarios la observación de los indicadores de aquel. Sin embargo, este inconveniente se ha resuelto elegantemente en Brasil⁹ construyendo el alojamiento exterior de la batería contra una pared de la casa. Esta disposición permite instalar el regulador de carga en el interior de la casa manteniéndolo muy cerca de la batería, con el simple recurso de hacer que los cables atraviesen la pared.

La instalación de un sistema pararrayos completo esta lejos de ser aceptable desde el punto de vista económico. Por ejemplo, en las condiciones del Altiplano Boliviano, donde las tormentas eléctricas son frecuentes, las pérdidas anuales de módulos fotovoltaicos y reguladores debido a los rayos es de aproximadamente 0,2%, mientras que el costo de un tal sistema de protección representaría un incremento de costos de los SHSs de alrededor del 34%. Además, existen otras posibilidades mucho más baratas de protección, por lo tanto:

- ***En regiones con tormentas eléctricas frecuentes se debe instalar algún medio de aislar manualmente los polos positivo y negativo del lado del generador fotovoltaico. De este modo se puede aislar el generador fotovoltaico cuando hay riesgo de descargas eléctricas atmosféricas. (S)***

Finalmente, para evitar recibir descargas eléctricas al cambiar las lámparas fluorescentes:

- ***Los electrodos de los balastos nunca pueden estar conectados a los elementos de fijación (regletas, etc.) de las luminarias. (C)***

2.3 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO

El comportamiento energético de un SHS debe juzgarse en términos de la fiabilidad con que suministra electricidad a las cargas, y de la eficiencia con que utiliza la energía que proporciona el generador fotovoltaico. Ambos aspectos están esencialmente relacionados con el tamaño del sistema, la eficiencia de los componentes y los consumos por parte de los usuarios.

La fiabilidad puede cuantificarse en términos de la *Probabilidad de pérdida de carga*²⁰ (*Loss of Load Probability*), *LLP*, que es la probabilidad de quedarse a oscuras por falta de radiación solar. Debido a la naturaleza aleatoria de esta radiación el valor de *LLP* es siempre mayor que cero, aún en el caso de que el

sistema fotovoltaico no presente averías propiamente dichas. Obviamente, para un consumo dado cuanto más grande sea el sistema fotovoltaico, menor será el valor de *LLP* y mayor la fiabilidad.

El rendimiento global del sistema (Performance Ratio) PR,²¹ cuantifica cuanto de bien se utiliza la energía proveniente del generador fotovoltaico. Se define como: “la energía útil entregada a la carga” dividida por “la máxima energía que teóricamente puede producir el generador fotovoltaico”. Esto incluye todas las pérdidas en el generador (temperatura de las células, dispersión, etc.), las pérdidas del resto del sistema (autoconsumo del regulador de carga, eficiencia de la batería, etc.) y también la energía disponible que no es consumida por los usuarios. Obviamente, un sistema fotovoltaico que es “demasiado grande” puede entregar mucha más energía que la que requiere el usuario, y esto lleva al desperdicio de energía y a bajos valores de *PR*.

2.3.1 Demanda energética

¿Cuánta energía debe proveerse a una vivienda rural en un país en desarrollo para que sea económica y socialmente aceptable? Aunque esta pregunta está siempre presente al comienzo de todo programa de electrificación rural fotovoltaica, la respuesta, en términos de Wh/día, no tiene, hoy por hoy, una solución clara²². Existe un gran vacío, en la literatura especializada, de datos sobre consumos energéticos basados en experiencias reales en países en desarrollo, lo que no deja de ser paradójico cuando se consideran los miles de sistemas fotovoltaicos actualmente en operación. En cambio, hay una gran cantidad de escenarios de consumo que, aun comenzando con hipótesis muy distintas en lo concerniente a la cantidad de artefactos que componen la carga y el tiempo que son utilizados, conducen mayoritariamente a sistemas en el rango de 40 a 50 Wp. Esto se debe a que los proyectistas fotovoltaicos saben que los sistemas de esos tamaños son bien aceptados por los usuarios, y los mencionados escenarios deben ser por lo tanto interpretados más como ejercicios explicativos de este hecho que como diseños de sistemas basados en la evaluación de las necesidades reales.

La estandarización de las necesidades energéticas (es decir, el establecimiento de un valor único para el consumo energético de un gran número de familias) es una necesidad impuesta por la tecnología en sí misma, porque conduce a la estandarización de los sistemas correspondientes, que es un medio de reducir costes y garantizar la calidad técnica. Sin embargo, puede no corresponder muy bien con las necesidades de los usuarios individuales, y la historia fotovoltaica contiene algunos casos interesantes de ello^{23, 24}.

De todos modos, la definición de un “estándar” concreto de consumo de energía, en términos de Wh/día, es un paso inevitable en cualquier proyecto de electrificación rural fotovoltaico, no sólo para satisfacer las necesidades energéticas de los usuarios,

sino también para establecer una referencia técnica para ensayos, para comparación de las diferentes propuestas, para las garantías, etc.

El enfoque recién mencionado de seleccionar SHSs en el rango de 40 – 50 Wp, es equivalente a especificar que:

- ***El valor de diseño del consumo energético diario debe estar comprendido en el rango de 120 a 160 Wh/día. (R)***

La selección de un valor único dentro de este rango tiene consecuencias. Cuanto más grande sea el valor elegido más caros serán los SHSs, pero también será mayor el servicio ofrecido a los usuarios y, por consiguiente, las posibilidades de éxito.

Es importante notar que este rango no debe interpretarse como un límite superior a las posibilidades de los SHSs, sino más bien como una indicación de los tamaños típicos de los pequeños sistemas que pueden proveer servicios básicos a viviendas que sólo disponen de iluminación, radio y televisión blanco y negro. Otros servicios adicionales como ventiladores, refrigeradores, video, etc. también pueden ser alimentados con SHSs siempre que exista el financiamiento adecuado para pagar generadores fotovoltaicos y baterías más grandes. Entonces habrá que determinar los escenarios específicos de consumo energético para cada caso particular.

2.3.2 Fiabilidad y tamaño

El tamaño de un sistema fotovoltaico es un concepto general que abarca las dimensiones del generador fotovoltaico y de la batería, y es útil definir estas dimensiones con relación a la carga. En términos diarios, la *capacidad del generador*, C_A , se define como la relación entre la producción media de energía del generador fotovoltaico y la energía media demandada por la carga, L . La *capacidad del acumulador*, C_S , se define como la máxima energía que puede extraerse de la batería dividida por la energía media demandada por la carga. Es decir:

$$C_A = \eta A G_d / L \quad \text{y} \quad C_S = C_U / L$$

Donde A es el área del generador fotovoltaico, η es la eficiencia del generador fotovoltaico, G_d es el valor medio de la irradiación incidente sobre el plano del generador, L es el valor medio de la energía consumida por la carga y C_U es la capacidad útil de la batería, o sea, el producto de la capacidad nominal de la batería por la máxima profundidad de descarga permitida por el regulador. Importa notar que la capacidad del generador fotovoltaico, C_A , depende de las condiciones meteorológicas locales. Esto significa que el mismo generador fotovoltaico para las mismas cargas, puede resultar “grande” en algunos lugares y “pequeño” en otros con menor radiación solar.

Para una localidad y carga determinados, hay dos ideas generales que resultan intuitivas: la primera, que es posible encontrar muchas combinaciones de C_A y C_S que conducen al mismo valor de la probabilidad de pérdida de carga (LLP). La segunda, que cuanto mayor es el tamaño del sistema fotovoltaico, mayor es su costo y mayor su fiabilidad o, lo que es lo mismo, menor el valor de LLP .

La meta al diseñar un sistema fotovoltaico es encontrar la mejor solución de compromiso entre costo y fiabilidad. Con frecuencia la fiabilidad es un requisito apriorístico del usuario y, por lo tanto, el problema para el ingeniero fotovoltaico se formula del siguiente modo: ¿Qué combinación de C_A y C_S permite obtener un valor dado del LLP al mínimo costo?. Para facilitar esta tarea, es útil suponer inicialmente que el voltaje de trabajo coincide siempre con el nominal, V_{NOM} , y que éste, a su vez, coincide con el voltaje del generador en el punto de máxima potencia. Por lo tanto:

$$L = V_{NOM}Q_M$$

$$\eta A = V_{NOM}I_{MG}^*/(1 \text{ kW/m}^2)$$

y

$$C_A = I_{MG}^*G_d/(Q_M F_S 1000 \text{ W/m}^2)$$

Donde Q_M es la cantidad de corriente (expresada en Amperios-hora) consumida diariamente por la carga, I_{MG}^* es la corriente del generador fotovoltaico en el punto de máxima potencia y en las condiciones estándar de medida, y F_S es un factor de seguridad que toma en cuenta los efectos de la suciedad, la variación de la eficiencia del generador fotovoltaico con el espectro solar, etc. Un valor típico para F_S es 1,1. Esta aproximación, a pesar de que su apariencia pueda resultar grosera, da muy buenos resultados y sus condiciones de validez se discuten en la sección 2.3.3.

Una primera posibilidad para el dimensionamiento es confiar en meras conjeturas, en cuyo caso no se establecen relaciones cuantitativas entre C_A , C_S y LLP . Las dimensiones del generador y la batería se obtienen a partir de reglas simples basadas en experiencias previas. Reglas ampliamente usadas son:

- ***El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes pueda, como mínimo, igualar a la demandada por la carga. (R)***
- ***La capacidad útil de la batería (capacidad nominal multiplicada por la máxima profundidad de descarga) debe permitir entre 3 y 5 días de autonomía. (R)***

Se puede observar que la última especificación simplemente repite lo establecido en 2.1.3. Debe decirse que estas especificaciones llevan a situaciones bastante confortables en lo concerniente a la disponibilidad de energía. Esto es así porque la corriente del generador es frecuentemente mayor que la del punto de máxima potencia, y porque el factor $F_S = 1,1$ es bastante generoso. En la práctica esto conduce a relaciones generación real/consumo típicamente en el rango 1,1 a 1,2, lo que asegura que la batería no permanecerá por períodos prolongados sin recibir plena carga.

En sistemas con generadores dotados de seguimiento manual, como ya se mencionó en 2.1.2, la mayoría de los expertos consultados piensa que la energía perdida porque los usuarios olvidan mover los módulos, sobrepasa con creces la ganancia potencial de radiación debida al movimiento manual. Por esta razón:

- ***En los casos en que se provea seguimiento manual, la correspondiente ganancia de energía colectada no debe ser considerada a efectos del dimensionamiento. (R)***

Los requisitos relacionados con el tamaño de la batería ya han sido mencionados en 2.1.3. Obviamente debe elegirse 5 días de autonomía cuando se esperen períodos largos con baja radiación solar.

Volviendo al formalismo introducido anteriormente, esto significa que $C_A=1$ (con G_d correspondiente al valor menor de radiación solar media mensual sobre el plano del generador fotovoltaico) y $3 < C_S < 5$. Este método aproximado es, por supuesto, muy simple y útil para obtener una primera idea de las dimensiones del SHS requerido. Sin embargo, tiene algunas desventajas. No permite cuantificar la fiabilidad ni optimizar el sistema y no permite la consideración de distintas variantes en los SHSs (por ejemplo, variar el tamaño del generador fotovoltaico para adaptarlo al tamaño de los módulos disponibles, y compensar la variación aumentando o reduciendo el tamaño de las baterías) lo que es especialmente inoportuno en el contexto de la electrificación rural. En la literatura^{25,26,27} pueden encontrarse métodos más avanzados de dimensionamiento, que tratan todos estos aspectos, aunque su uso no se ha hecho extensivo.

2.3.3 Eficiencia energética

Un sistema fotovoltaico ideal, operando con sus módulos a 25°C durante todo el día, tendría un PR igual a 100%. Las razones por las cuales los valores reales son más bajos (típicamente alrededor de 60%) que ese valor son:

- ⇒ Pérdidas en el generador fotovoltaico (sombras, temperaturas de célula mayores que 25°C, elementos desparejos, pérdidas en cables, voltaje de operación distinto al correspondiente al punto de máxima potencia)

- ⇒ Pérdidas en el resto del sistema (regulador de carga, baterías y cables)
- ⇒ Poco uso de la energía disponible

Las pérdidas en el generador fotovoltaico pueden minimizarse mediante una instalación cuidadosa (ventilación de los módulos y secciones de cable adecuadas) y utilizando módulos fotovoltaicos cuyas características eléctricas estén bien adaptadas a la tarea de cargar baterías en el clima de que se trate. Las pérdidas del sistema pueden minimizarse utilizando reguladores de bajo consumo y baterías de buena calidad. Se proponen por lo tanto los siguientes requisitos:

- ***El generador fotovoltaico debe estar totalmente libre de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año. (C)***
- ***El voltaje del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico, a una temperatura ambiente igual a la máxima anual del lugar y a una irradiancia de 800 W/m^2 , $V_{MG}(T_{MAX})$ debe estar comprendida en el rango de 14,5 a 15 V. (R)***

Este requisito asegura que la corriente del generador fotovoltaico sea mayor que la corriente en el punto de máxima potencia durante la mayor parte del tiempo, siempre que los requisitos relativos a caídas de tensión en los cables y en el regulador de carga también se cumplan. Puede observarse también que por debajo de este rango de voltajes, hay riesgo de que la batería no se cargue totalmente, mientras que por encima de este rango la cantidad de células es innecesariamente alto. Si no se dispone de información más precisa, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$V_{MG}(T_{MAX}) = V_{MG}^* - 2T_{MAX}N_{CS}$$

Donde V_{MG}^* es la tensión en el punto de máxima potencia en las condiciones estandar de medida, N_{CS} es el número de células solares en serie, T_{MAX} es la temperatura ambiente máxima anual del lugar en °C, y todos los valores de voltaje están dados en mV.

Debe mencionarse que otras especificaciones, por ejemplo algunas elaboradas por el Banco Mundial, imponen el uso exclusivo de módulos con no menos de 36 células solares conectadas en serie. Sin embargo, esto parece ser un enfoque excesivamente conservador. De hecho, en muchos lugares del mundo se usan sin problemas módulos fotovoltaicos con 32 y 33 células, sin más que cuidar que las caídas de tensión en el regulador de carga y en el cableado sean bajas. En otro orden de cosas:

- ***El consumo energético parásito diario del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico***

y cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder del 3% del consumo diario previsto en el diseño⁸. (C)

Este requisito para la corriente parásita del regulador es generalmente aceptable, sin embargo la tecnología actual permite aún menores consumos del regulador de carga, por lo que también es posible considerar:

- ***El consumo energético parásito diario del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder del 1% del consumo diario previsto en el diseño⁹. (R)***

2.4 FACILIDAD DE USO

Los SHSs son bastante simples. Generalmente los usuarios no tienen dificultades significativas para aprender el modo correcto de utilizarlos, una vez que comprenden adecuadamente las limitaciones intrínsecas a la disponibilidad de energía. La información mostrada por el regulador de carga puede ayudar a esta comprensión.

Los reguladores que muestran información sobre los parámetros eléctricos (corriente de carga, tensión de batería, etc.) han sido extensamente utilizados en el pasado. Actualmente, sin embargo, está ampliamente aceptado que esto no es muy útil. Cuando el abastecimiento se interrumpe, lo más importante para el usuario es saber si ha sido debido a fallos del equipo o al agotamiento de la reserva de energía. Además, y con el fin de que el usuario pueda de antemano adoptar procedimientos de ahorro, también es útil indicar el riesgo de desconexión por baja disponibilidad de energía. Con esta finalidad, el regulador de carga puede incorporar una señalización de dos o tres niveles que muestre el estado de carga de la batería. Se propone que se adopte el siguiente enfoque:

- ***Cuando las cargas puedan ser utilizadas sin restricciones, porque el estado de carga de la batería es suficientemente elevado, se indicará con una señal de color verde. (C)***
- ***Cuando las cargas hayan sido desconectadas de la batería, porque el estado de carga es excesivamente bajo, se indicará con una señal de color rojo. (C)***

⁸ Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: “El consumo eléctrico parásito del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder de 15 mA”.

⁹ Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: “El consumo eléctrico parásito del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder de 5 mA”.

- ***La situación de riesgo de que se interrumpa el suministro de electricidad a las cargas, porque el estado de carga de la batería ha descendido hasta el nivel de alarma, se indicará con una señal de color amarillo. (R)***

Obviamente, las señales roja y amarilla corresponden a los voltajes de desconexión de carga y de alarma discutidos en 2.1.4. También puede ser útil utilizar señales más intuitivas como, por ejemplo, caras *felices, tristes o intermedias*.

Todas estas señales pueden activarse permanentemente siempre que se utilicen LEDs de muy bajo consumo. Sin embargo, es mejor solución activarlos sólo cuando se presiona un pulsador. Esto no sólo ahorra energía, sino que también fomenta la activa participación de los usuarios en el funcionamiento de su SHS. Por ello:

- ***Se permite la activación manual de las señales de estado de carga. (S)***

Por supuesto, sólo es posible ver con facilidad las indicaciones del regulador de carga si éste está ubicado en un lugar accesible y en una habitación de uso frecuente. Sin embargo, en algunos casos esto puede entrar en conflicto con la recomendación hecha anteriormente de colocar el regulador de carga lo más cerca posible de la batería, la que, a su vez, debe estar en un lugar bien ventilado y con acceso restringido. En estos casos, una buena solución es que el regulador desconecte las cargas cuando el nivel de carga de la batería alcanza el nivel de riesgo, y que esté provisto de un medio manual de reconexión. De este modo, los usuarios son alertados del riesgo de desconexión sin tener que estar mirando el indicador de estado de carga. Para estos casos:

- ***El usuario puede ser alertado de que el estado de carga de la batería alcanzó el nivel de alarma mediante una desconexión automática de las cargas, que pueda ser repuesta manualmente. (S)***

Importa notar que muchos reguladores de carga actuales, proveen información adicional que es principalmente para uso del personal de mantenimiento. La experiencia sugiere que la mayoría de los usuarios no deberían realizar ninguna tarea de mantenimiento fuera de limpiar los módulos fotovoltaicos. Hay ejemplos preocupantes de lo que puede suceder cuando se deja en manos de los usuarios otras tareas²⁸. Cada comunidad rural debería tener una persona, previamente entrenada y bien aceptada socialmente, que asuma la responsabilidad del mantenimiento primario (diagnóstico de fallos, reemplazo de fusibles, modificación del cableado, etc.). Cualquier información adicional que provean los reguladores debería ser interpretada por estas personas y, por lo tanto, debería estar adaptada a su capacidad y a su función en el esquema de mantenimiento.

2.5 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los SHSs deberían, preferiblemente, ser tratados como sistemas llave en mano, instalados y puestos en operación antes de ser transferidos a los usuarios. Sin embargo, cabe imaginar licitaciones exclusivamente destinadas a la adquisición de material, en el caso de empresas integradoras de sistemas (ESCOs, etc.). Entonces se debe prestar especial atención a que el suministro incluya todos los materiales necesarios para la instalación, como tornillos, terminales de baterías, etc., y a que estén debidamente identificados. Por lo tanto:

- ***Todos los materiales necesarios para la instalación (tornillos, conectores, etc.) deben estar incluidos en el suministro de los SHSs. (C)***
- ***Los módulos fotovoltaicos, baterías, reguladores de carga y balastos, deberán estar debidamente etiquetados. (C)***

Las tareas de mantenimiento de los SHSs que pueden ser realizadas directamente en el propio lugar de operación son: limpieza de los módulos fotovoltaicos, modificaciones del cableado, relleno de agua de las baterías, y reemplazo de fusibles, lámparas y reguladores de carga. Con el fin de facilitar estas tareas, y de simplificar la instalación inicial de los SHSs, se considera apropiado requerir que:

- ***El diseño de las estructuras de soporte debe facilitar la limpieza de los módulos fotovoltaicos y la inspección de las cajas de conexión. (C)***
- ***El montaje de las estructuras de soporte debe preservar su resistencia a la fatiga, corrosión y efectos del viento. (C)***
- ***Es preferible montar los módulos fotovoltaicos sobre pedestales o paredes, que hacerlo sobre los tejados. (S)***

Los montajes sobre pedestal o sobre pared generalmente permiten el fácil acceso a los módulos fotovoltaicos, sin poner en riesgo la estanqueidad del techo, y pueden representar un grado de libertad adicional cuando se buscan localizaciones sin sombras para el generador fotovoltaico. Los montajes sobre tejados a veces permiten reducir costos y, por lo tanto, también pueden ser aceptados, a condición de dejar un espacio entre el techo y los módulos para que circule aire. Por lo tanto:

- ***Si se permite el montaje en los tejados, deberá haber una separación de, por lo menos, 5 cm entre los módulos y el tejado ó cubierta para permitir la circulación de aire. (C)***
- ***Si se permite el montaje en los tejados, las estructuras de soporte no deberán fijarse a las tejas o a las chapas, sino a las vigas del tejado u otro elemento de la estructura de la vivienda. (C)***

- *La batería debería ubicarse en un lugar de fácil acceso (Nota: el acceso debería estar restringido por ejemplo mediante el uso de una puerta con cerradura). (R)*

“Fácil acceso” significa que la limpieza de los terminales de las baterías, la verificación del nivel de electrolito, el relleno de agua y el reemplazo de fusibles (si los hay) pueda realizarse sin mover las baterías.

- *Los reguladores de carga y las lámparas deben suministrarse con elementos de soporte y fijación adecuados para su montaje (la instalación debe ser relativamente simple). (C)*
- *El diseño de luminarias y reguladores de carga debe permitir el acceso con cierta facilidad a los fusibles y terminales de cables. (C)*
- *Las lentes de las lámparas, cubiertas, etc. (si existen) deben ser a prueba de insectos. (C)*
- *Las lentes, cubiertas, etc. (si existen) deben poder desmontarse fácilmente por el usuario, para el reemplazo de las lámparas o para limpieza. (R)*
- *Todos los tubos fluorescentes deben estar disponibles localmente. (C)*
- *La necesidad de herramientas debe minimizarse. (evitando tuercas de diferente tamaño / distintos tamaños de tornillos, etc.). (C)*

Finalmente, todo el cableado debe hacerse de acuerdo con las normas habituales, en particular:

- *Los cables deben asegurarse a las estructuras de soporte o a las paredes, para evitar esfuerzos mecánicos sobre otros elementos de la instalación eléctrica (cajas de conexión, balastos, interruptores, etc.). (C)*
- *Si están montados en superficie, los cables deben graparse a las paredes, a intervalos adecuados, para asegurar su posición vertical y horizontal. De no ser así, deben embutirse en las paredes y recubrirse con yeso o similar. (C)*
- *Los cables deben mantenerse fuera del alcance de los niños. (R)*
- *En general, los cables deben disponerse horizontalmente o verticalmente, nunca oblicuamente. (R)*

2.6 FLEXIBILIDAD

En el supuesto de que se satisfagan todos los requisitos arriba mencionados, es también importante que los SHSs de tal forma que cualquier componente pueda ser

sustituido por uno similar de otro proveedor, o por un componente técnicamente mejorado del mismo fabricante. La flexibilidad en términos del dimensionamiento del sistema también es importante. Para ello, es necesario prestar especial atención a la posibilidad de agrandar un SHS incrementando el tamaño del generador fotovoltaico o de la batería. Otro aspecto clave es la compatibilidad de la batería y el regulador.

Los módulos fotovoltaicos de idéntico voltaje nominal pueden conectarse en paralelo sin ninguna restricción, por lo tanto cuando se agranda un generador fotovoltaico sólo es necesario verificar la sección de los cables y la capacidad del regulador para manejar el nuevo valor de la corriente máxima.

Para aumentar la capacidad de almacenamiento de un SHS es necesario reemplazar la batería por una nueva, porque la conexión en paralelo de baterías nuevas y viejas no es nunca satisfactoria. Debe mencionarse que algunas especificaciones elaboradas por el Banco Mundial típicamente permiten hasta dos baterías idénticas conectadas en paralelo, aunque también indican que es preferible sólo una batería, y algunos fabricantes concuerdan con esta opinión. Por lo tanto, es necesario resaltar lo siguiente:

- *No se permite la conexión en paralelo de más de dos baterías. (C)*
- *No se permite la conexión paralelo de baterías diferentes. (C)*
- *No se permite la conexión en paralelo de baterías nuevas y viejas. (C)*

3 NORMA PARA SISTEMAS SOLARES DOMESTICOS (SHS^{*})

3.1 OBJETIVO

Esta sección presenta una propuesta de Norma Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos, SHS^{*}, destinados a proveer energía eléctrica para alimentar pequeñas cargas, principalmente iluminación, radio/cassettes y televisión blanco y negro.

Esta norma es aplicable a las características técnicas de los SHSs en sí mismos, es decir, al generador fotovoltaico, la batería, el regulador de carga y el cableado, así como a las luminarias. No es aplicable a otras cargas eléctricas.

Esta norma es aplicable sólo a los SHSs que utilizan baterías de plomo-ácido y operan en 12 V CC.

* SHS = corresponde a la denominación inglesa Solar Home Systems

Los requisitos especificados en esta norma están clasificados de acuerdo a su ámbito de aplicación: sistemas, componentes e instalación; y a su nivel de exigencia: obligatorios, recomendados o sugeridos. Cada especificación va acompañada de una referencia en clave, compuesta por dos letras y un número (p.ej. CB6), La primera letra indica el nivel de exigencia (ej: obligatorio), la segunda letra indica el ámbito de aplicación (ej: batería) de acuerdo a la tabla siguiente. El número es únicamente un identificador que se usa como referencia,

Primera Letra	Segunda letra
Obligatorio (C)	S istema
R ecomendado	G enerador fotovoltaico
S ugerido	Estr U ctura Soporte
	B atería
	R egulador de carga
	Cableado (W)
	L ámparas
	I nstalación

3.2 DEFINICIONES

C_A	Capacidad del Generador fotovoltaico.
C_B	Capacidad nominal de la batería en 20 horas (Ah).
C_U	Capacidad útil de la batería.
DOA	Días de autonomía.
$G_d(0)$	Valor medio mensual de la irradiación global diaria sobre superficie horizontal.
$G_d(\beta)$	Valor medio mensual de la irradiación global diaria sobre superficie inclinada un ángulo β y orientada hacia el ecuador.
F_S	Coefficiente de seguridad.
I_{MG}^*	Corriente del generador fotovoltaico en el punto de máxima potencia y en condiciones estándar de medida (1000 W/m ² de irradiancia y 25°C de temperatura en las células solares).
LLP	Probabilidad de pérdida de carga.
$NOC(50\%)$	Número de ciclos de vida de la batería cuando se la descarga a una profundidad de descarga del 50%.
N_{CS}	Número de células en serie del módulo

PD_{MAX}	Profundidad de descarga máxima de la batería.
Q_M	Cantidad de corriente consumida diariamente.
T_{MAX}	Temperatura ambiente máxima.
V_{MG}^*	Voltaje del generador fotovoltaico en el punto de máxima potencia en condiciones estándar de medida.
V_{NOM}	Voltaje nominal de la instalación (en SHS es, típicamente, de 12 V)

3.3 INFORMACIÓN GENERAL

Las condiciones climáticas pueden afectar al comportamiento y durabilidad de los SHSs. Si no se proponen otras condiciones particulares, deben utilizarse las siguientes:

- Humedad relativa: 80 %
- Rango de temperaturas ambiente: -5°C a 40°C
- Velocidad máxima del viento: 120 km/h

3.4 INFORMACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO

Para configurar el sistema es necesario conocer:

Cantidad x Potencia (W) de las lámparas fluorescentes

Cantidad x Potencia (W) de las lámparas incandescentes

Cantidad x Potencia de los enchufes (W)

Los datos necesarios para el diseño son:

Consumo diario de corriente Q_M = _____ Ah/día

Inclinación del generador fotovoltaico β = _____

Irradiación sobre el generador fotovoltaico $G_d(\beta)$ = _____ kWh/m²

Temperatura ambiente máxima T_{MAX} = _____ °C

3.5 REQUISITOS DEL SISTEMA

3.5.1 Obligatorios

- CS1 Tanto la batería como el regulador de carga deben estar protegidos contra sobrecorrientes y corrientes de cortocircuito por medio de fusibles, diodos, etc. Las protecciones deben afectar tanto a la línea del generador fotovoltaico como a la línea de las cargas.
- CS2 Los módulos fotovoltaicos, baterías, reguladores de carga y balastos, deberán estar debidamente etiquetados.

3.5.2 Recomendados

- RS1 El valor de diseño del consumo energético diario debe estar comprendido en el rango de 120 a 160 Wh/día.
- RS2 El tamaño del generador fotovoltaico debe asegurar que la energía producida durante el peor mes pueda, como mínimo, igualar a la demandada por la carga.
- RS3 La capacidad útil de la batería (capacidad nominal multiplicada por la máxima profundidad de descarga) debe permitir entre 3 y 5 días de autonomía.
- RS4 En los casos en que se provea seguimiento manual, la correspondiente ganancia de energía colectada no debe ser considerada a efectos del dimensionamiento.
- RS5 El voltaje del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico, a una temperatura ambiente igual a la máxima anual del lugar y a una irradiancia de 800 W/m^2 , $V_{\text{MAX}}(T_{\text{MAX}})$ debe estar comprendida en el rango de 14,5 a 15 V.

3.5.3 Sugeridos

- SS1 En regiones con tormentas eléctricas frecuentes se debe instalar algún medio de aislar manualmente los polos positivo y negativo del lado del generador fotovoltaico. De este modo se puede aislar el generador fotovoltaico cuando hay riesgo de descargas eléctricas atmosféricas.

3.6 REQUISITOS DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

3.6.1 Obligatorios

Ninguno.

3.6.2 Recomendados

RG1 Módulos fotovoltaicos certificados de acuerdo con la norma internacional IEC-61215 o con la norma nacional para módulos fotovoltaicos utilizada en el país de interés.

3.6.3 Sugeridos

Ninguno.

3.7 REQUISITOS DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

3.7.1 Obligatorios

- CU1 Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables.
- CU2 En el caso de módulos fotovoltaicos con marco, su fijación a los soportes sólo puede realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable.
- CU3 En caso de que se utilicen sistemas de seguimiento manual (2 a 3 posiciones por día moviéndose de este a oeste), todos sus componentes deberán satisfacer los requisitos especificados anteriormente para las estructuras de soporte.

3.7.2 Recomendados

- RU1 Las estructuras de soporte deben soportar vientos de 120 km/h, como mínimo.
- RU2 El ángulo de inclinación debe optimizar la captación de energía solar durante el peor mes, es decir el mes con la peor relación entre los valores diarios de la irradiación y el consumo, ambos en media mensual. Generalmente puede suponerse que la demanda de los usuarios es constante, lo que lleva a la fórmula:
$$\text{Inclinación } (^{\circ}) = \max \{ |\Phi| + 10^{\circ} \}$$
donde Φ es la latitud del lugar de instalación.
- RU3 Estructuras de soporte estáticas son generalmente preferibles a las de seguimiento.

3.7.3 Sugeridos

- SU1 Es preferible montar los módulos fotovoltaicos sobre pedestales o paredes, que hacerlo sobre los tejados.

3.8 REQUISITOS DE LA BATERÍA

3.8.1 Obligatorios

- CB1 El espesor de cada rejilla debe exceder los 2mm.
- CB2 La cantidad de electrolito debe exceder 1,15 l por vaso y por cada 100 Ah de capacidad nominal en 20-horas.
- CB3 La capacidad nominal de la batería en 20-horas expresada en Ah (medida a 20 °C y hasta que el voltaje de un vaso llegue a 1,8 V/vaso) no debe exceder CR veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (medida en las denominadas condiciones estándar: irradiancia igual a 1000 W/m² y temperatura de célula igual a 25° C). En la tabla siguiente se dan los valores de CR propuestos para cada tipo de batería.

Tipo de Batería	CR	
	Obligatorio	Recomendado
Tubular	20	15
SLI:		
- Clásica	40	30
- Modificada	40	35
- Bajo-mantenimiento	40	30

- CB4 La máxima profundidad de descarga, PD_{MAX} , (referida a la capacidad nominal de la batería en 20-horas) no debe exceder los valores propuestos en la siguiente tabla:

Tipo de Batería	$PD_{MAX}(\%)$	
	Obligatorio	Recomendado
Tubular	80	70
SLI:		
- Clásica	50	30
- Modificada	60	40
- Bajo-mantenimiento	30	20

- CB5 Deben hacerse las provisiones necesarias para asegurar que la capacidad inicial de las baterías puestas en operación no difiere en más del 95 % del valor nominal¹⁰.
- CB6 La autodescarga de las baterías a 25°C, no debe exceder el 6% de su capacidad nominal por mes.

3.8.2 Recomendados

- RB1 Los separadores deben ser de polietileno microporoso.
- RB2 La capacidad útil de la batería, C_U , (la capacidad nominal en 20 horas, como se definió anteriormente, multiplicada por la máxima profundidad de descarga) deberá permitir entre tres y cinco días de autonomía.
- RB3 La vida de la batería (es decir, antes de que su capacidad residual caiga por debajo del 80 % de su capacidad nominal) a 20°C, debe exceder un cierto número de ciclos, NOC, cuando se descarga hasta una profundidad del 50%. En la Tabla siguiente se dan los valores de NOC para cada tipo de batería.

Tipo de Batería	NOC
Tubular	600
SLI	
- Clásica	200
- Modificada	200
- Bajo-mantenimiento	300

3.8.3 Sugeridos

- SB1 La densidad del electrolito no debe exceder 1,25 g/cl.

¹⁰ En la versión anterior había una errata en el tanto por ciento exigido

3.9 REQUISITOS DEL REGULADOR DE CARGA

3.9.1 Obligatorios

- CR1 Debe haber protección contra descargas profundas.
- CR2 El “voltaje de desconexión de carga” debe corresponder al valor máximo de la profundidad de descarga definido en 2.1.3, precisamente para una corriente de descarga, expresada en amperios, igual al consumo diario, expresado en amperios-hora, dividido por 5.
- CR3 Los voltajes de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de $\pm 1\%$ (± 20 mV/vaso, o ± 120 mV/batería de 12 V) y permanecer constantes en todo el rango de posible variación de la temperatura ambiente.
- CR4 El “voltaje de fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,4 V/vaso, a 25 °C.
- CR5 En los controladores “on-off”, el “voltaje de reposición” debe estar en el rango de 2,15 a 2,2 V/vaso, a 25°C.
- CR6 El “voltaje de fin de carga” y el “voltaje de reposición” mencionados más arriba deben corregirse por temperatura a razón de -4 a -5 mV/°C/vaso. (Esta especificación debe ser C solamente si se espera que las temperaturas ambientes [interiores] en las cercanías del controlador varíen significativamente a lo largo del año, más que $\pm 10^\circ\text{C}$. En caso contrario el circuito de compensación de temperatura no es realmente necesario).
- CR7 Los voltajes de "fin de carga" y "reposición" deben tener una precisión del 1% (± 20 mV/vaso, o ± 120 mV para 12 V batería).
- CR8 Si se utilizan relés electromecánicos, la reposición de la carga debe retardarse entre 1 y 5 minutos.
- CR9 Todos los terminales del regulador deben poder acomodar fácilmente cables de, al menos, 4 mm² de sección.
- CR10 Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del generador, deben ser inferiores al 4 % de la tensión nominal ($\cong 0,5$ V para 12 V), en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas apagadas y con la máxima corriente procedente del generador fotovoltaico.
- CR11 Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del consumo, deben ser inferiores al 4 % del voltaje nominal. ($\cong 0,5$ V para 12 V) en las peores condiciones de operación, es decir, con

todas las cargas encendidas y sin corriente alguna procedente del generador fotovoltaico.

- CR12 Se debe evitar la sobrecarga de las baterías SLI de “bajo mantenimiento”.
- CR13 Deben proveerse protecciones contra corrientes inversas.
- CR14 El regulador de carga debe ser capaz de resistir cualquier situación posible de operación “sin batería”, cuando el generador fotovoltaico opera en condiciones estándar de medida, y con cualquier condición de carga permitida.
- CR15 El regulador de carga debe también proteger a las cargas en cualquier situación posible de operación “sin batería”, como fue definida anteriormente, limitando el voltaje de salida a un máximo de 1,3 veces el valor nominal. (También se permite la total interrupción de la alimentación a las cargas).
- CR16 El regulador de carga debe resistir sin daño la siguiente condición de operación: temperatura ambiente 45°C, corriente de carga 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en las condiciones estándar de medida, y corriente de descarga 25% superior a la correspondiente a todas las cargas encendidas y al voltaje nominal de operación.
- CR17 Las cajas de los reguladores de carga deben como mínimo proveer protección IP 32, según las normas IEC 529 o DIN 40050.
- CR18 El regulador de carga no debe producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación.
- CR19 El consumo energético parásito diario del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder del 3% del consumo diario previsto en el diseño^{II}.
- CR20 Cuando las cargas puedan ser utilizadas sin restricciones, porque el estado de carga de la batería es suficientemente elevado, se indicará con una señal de color verde.
- CR21 Cuando las cargas hayan sido desconectadas de la batería, porque el estado de carga es excesivamente bajo, se indicará con una señal de color rojo.

^{II} Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: “El consumo eléctrico parásito del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder de 15 mA”.

CR22 *En el caso de reguladores PWM, el voltaje de “fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,35V/vaso, a 25^o12.*

3.9.2 Recomendados

- RR1 El “voltaje de reconexión de carga” debe ser 0,08 V/vaso (ó 0,5 V para 12 V) superior al “voltaje de desconexión de carga”.
- RR2 Deben incluirse elementos de señalización y alarma previos a la desconexión.
- RR3 El “voltaje de alarma” (estado de carga bajo) debe ser 0.2V (para sistemas de 12V) superior a la tensión de desconexión del consumo¹³.
- RR4 La desconexión de la carga debe retardarse entre 3 y 30 segundos desde que se alcanza el “voltaje de desconexión de carga”.
- RR5 El “voltaje de fin de carga" debe corresponder a un factor de recarga entre 0,95 y 1, cuando la carga se realiza precisamente a una corriente constante igual a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico, en condiciones estándar de medida.
- RR6 El regulador de carga debe permitir la carga de la batería desde el generador fotovoltaico con cualquier voltaje mayor que 1,5 V/vaso.
- RR7 Las cajas de los reguladores de carga deben proveer protección IP 54, de acuerdo con IEC 529 o DIN 40050.
- RR8 El regulador de carga debe estar protegido contra polaridad inversa tanto en la línea del generador como en la de la batería. Pueden utilizarse combinaciones diodos-fusibles u otra solución.
- RR9 El regulador de carga debe estar protegido contra sobretensiones por medio de un supresor de sobrevoltajes de 1000 W o mayor, instalado entre ambos polos (+ y -) de la entrada correspondiente al generador fotovoltaico.
- RR10 El regulador de carga debe estar protegido contra sobretensiones por medio de un supresor de sobrevoltajes de 1000 W o mayor, instalado entre ambos polos (+ y -) de la salida correspondiente a las cargas.
- RR11 El consumo energético parásito diario del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y

¹² Esta especificación no estaba incluida en la anterior versión.

¹³ Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: *El “voltaje de alarma” (estado de carga bajo) debe elegirse de modo tal que la señal de alarma se active 30 minutos antes de que se produzca, suponiendo que todas las cargas están conectadas.*

cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder del 1% del consumo diario previsto en el diseño¹⁴.

- RR12 La situación de riesgo de que se interrumpa el suministro de electricidad a las cargas, porque el estado de carga de la batería ha descendido hasta el nivel de alarma, se indicará con una señal de color amarillo.

3.9.3 Sugeridos

- SR1 El regulador de carga puede incluir una línea independiente para el sensor de tensión de batería.
- SR2 Las sobrecargas controladas deben efectuarse a un voltaje constante de 2,5 V/vaso. Las sobrecargas deben efectuarse después de cada descarga profunda y/o a cada intervalo de 14 días. La sobrecarga debe durar entre 1 y 5 horas.
- SR3 Debe ser posible la interrupción manual de la sobrecarga.
- SR4 Los umbrales superior e inferior de la sobrecarga controlada deben ser, respectivamente, 2,5 y 2,25 V/vaso.
- SR5 La inhibición manual de la protección contra descargas profundas no está permitida.
- SR6 Se permite la activación manual de las señales de estado de carga.
- SR7 El usuario puede ser alertado de que el estado de carga de la batería alcanzó el nivel de alarma mediante una desconexión automática de las cargas, que pueda ser repuesta manualmente.

¹⁴ Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: “El consumo eléctrico parásito del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y cargas conectadas y pulsador (si existe) no presionado, no debe exceder de 5 mA”.

3.10 REQUISITOS PARA LAS LÁMPARAS

3.10.1 Obligatorios¹⁵.

- CL1 Los balastos deben asegurar un encendido seguro y regulado en el rango de voltajes de -15% a $+25\%$ del voltaje nominal (10,3 V a 15 V para baterías de 12 V).
- CL2 Los balastos deben asegurar un encendido seguro y regulado en el rango de temperaturas ambientes de -5°C a $+40^{\circ}\text{C}$.
- CL3 Los balastos deben estar protegidos contra daños cuando:
- \Rightarrow la lámpara se extrae durante la operación, y cuando los balastos operan sin lámpara.
 - \Rightarrow la lámpara no enciende.
 - \Rightarrow el voltaje de alimentación se aplica con polaridad inversa.
 - \Rightarrow se cortocircuita la salida del balasto electrónico.
- CL4 Los balastos no deben producir interferencias en las radiofrecuencias.
- CL5 La potencia DC mínima requerida en la entrada del balasto será el 90 % del valor nominal, en todo el rango de la potencia de operación (-15% a $+25\%$ del valor nominal)¹⁶
- CL6 El rendimiento lumínico del conjunto balasto-lámpara fluorescente debe ser como mínimo 35 lum/W¹⁷.
- CL7 La lámpara deberá resistir un mínimo de 5000 ciclos de conexión y desconexión (encendido y apagado). Cada ciclo consistirá en periodos de 60 segundos en la posición ON y 150 segundos en la posición OFF, a la potencia (voltaje) nominal de la lámpara.¹⁸

¹⁵ La verificación de la calidad del servicio de la lámpara está relacionada con las pruebas de eficiencia lumínica y, por tanto, la prueba de cualquier otra eficiencia intermedia no es estrictamente necesaria. En consecuencia, se ha eliminado la especificación “La eficiencia eléctrica mínima del balasto debe ser del 70% en todo el rango de voltajes de operación (-15% a $+25\%$ del voltaje nominal)” incluida en la versión anterior.

¹⁶ Esta especificación sustituye a la indicada en la primera versión: “El flujo luminoso mínimo del conjunto balasto-lámpara fluorescente debe ser el 80% del valor nominal”

¹⁷ En la versión anterior, el valor del rendimiento lumínico obligatorio, recomendado y sugerido era, respectivamente: 25, 35 y 50 Lumen/W

¹⁸ Se han suprimido las especificaciones obligatorias relacionadas con la forma de onda y el factor de cresta que figuraban en la anterior versión: “La forma de onda de la corriente que atraviesa la lámpara fluorescente debe ser simétrica en el tiempo dentro de un 10% (es decir, 60%/40% de máxima diferencia en la simetría de la forma de onda) en todo el rango de voltajes de 11 a 12,5 V y a una temperatura

- CL8 Los electrodos de los balastos nunca pueden estar conectados a los elementos de fijación (regletas, etc.) de las luminarias.
- CL9 Las lentes de las lamparas, cubiertas, etc. (si existen) deben ser a prueba de insectos.
- CL10 Todos los tubos fluorescentes deben estar disponibles localmente.

3.10.2 Recomendados.

- RL1 El consumo de los balastos cuando operan sin lámpara debe ser menor que el 20% de su consumo nominal.
- RL2 El rendimiento lumínico del conjunto balasto-lámpara fluorescente debe ser como mínimo 50 lum/W¹⁷.
- RL3 La lámpara deberá resistir un mínimo de 10000 ciclos de conexión y desconexión (encendido y apagado). Cada ciclo consistirá en periodos de 60 segundos en la posición ON y 150 segundos en la posición OFF, a la potencia (voltaje) nominal de la lámpara.¹⁹
- RL4 El uso simultáneo de lámparas fluorescentes y lámparas incandescentes de baja potencia (< 2W) debe estar permitido, siempre que no se supere el consumo de diseño.
- RL5 Las lentes, cubiertas, etc. (si existen) deben poder desmontarse fácilmente por el usuario, para el reemplazo de las lámparas o para limpieza.

3.10.3 Sugeridos

- SL1 La eficiencia lumínica puede incrementarse agregando reflectores a la luminaria.
- SL2 El rendimiento lumínico del conjunto balasto-lámpara fluorescente debe ser como mínimo 60 lum/W¹⁷.

ambiente de 25^o C” y “ El máximo factor de cresta (relación entre el pico máximo y el voltaje RMS de la onda aplicada al tubo fluorescente) debe ser menor que 2, en todo el rango de voltajes de 11 a 12,5 V y a una temperatura ambiente de 25^o C”.

¹⁹ Se han suprimido las especificaciones recomendadas relacionadas con la forma de onda y el factor de cresta que figuraban en la anterior versión: “La componente de CC de la corriente que atraviesa la lámpara fluorescente debe ser cero”; “El máximo factor de cresta (relación entre el pico máximo y el voltaje RMS de la onda aplicada al tubo fluorescente) debe ser menor que 1,7, en todo el rango de voltajes de 11 a 12,5 V y a una temperatura ambiente de 25^o C” y “Se recomienda el precalentamiento de los electrodos”.

3.11 REQUISITOS DEL CABLEADO

3.11.1 Obligatorio.

- CW1 Sin perjuicio de la especificación RW1, las mínimas secciones de los cables en cada una de las líneas serán las siguientes:
- ⇒ del generador fotovoltaico al regulador de carga: $2,5 \text{ mm}^2$
 - ⇒ del regulador de carga a las baterías: 4 mm^2
- CW2 Los cables externos deberán ser aptos para operar a la intemperie según la norma internacional IEC 60811 o la norma nacional para cables que sea relevante en el país de interés.
- CW3 Todos los terminales de los cables deben permitir una conexión segura y mecánicamente fuerte. Deben tener una resistencia interna pequeña, que no permita caídas de tensión superiores al 0,5 % del voltaje nominal. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente.
- CW4 Los terminales de los cables no deben favorecer la corrosión que se produce cuando hay contacto entre dos metales distintos.
- CW5 Los extremos de los cables de sección $\geq 4 \text{ mm}^2$ deben estar dotados con terminales específicos y de cobre. Los extremos de los cables de sección $\leq 2,5 \text{ mm}^2$ podrán retorcerse y estañarse para lograr una conexión adecuada.
- CW6 Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del fusible.
- CW7 Las combinaciones enchufe/toma de corriente deben tener protecciones contra la inversión de la polaridad del voltaje suministrado a los aparatos eléctricos.

3.11.2 Recomendados

- RW1 Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5% entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.
- RW2 Todos los cables deben respetar un código de colores y/o estar debidamente etiquetados.

- RW3 Los fusibles deben instalarse preferentemente en las líneas de polaridad positiva.
- RW4 Los interruptores deben ser especialmente aptos para CC.
- RW5 Si se permite el uso de interruptores para CA, la corriente nominal en CA debe exceder como mínimo en 200 % la corriente máxima a ser interrumpida en CC.

3.11.3 Sugeridos

Ninguno

3.12 REQUISITOS DE LA INSTALACIÓN

3.12.1 Obligatorios

- CI1 La batería debe estar ubicada en un espacio bien ventilado y con acceso restringido.
- CI2 Deben tomarse precauciones para evitar el cortocircuito accidental de los terminales de la batería.
- CI3 El generador fotovoltaico debe estar totalmente libre de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al mediodía, y a lo largo de todo el año.
- CI4 Todos los materiales necesarios para la instalación (tornillos, conectores, etc.) deben estar incluidos en el suministro de los SHSs.
- CI5 El diseño de las estructuras de soporte debe facilitar la limpieza de los módulos fotovoltaicos y la inspección de las cajas de conexión.
- CI6 El montaje de las estructuras de soporte debe preservar su resistencia a la fatiga, corrosión y efectos del viento.
- CI7 Si se permite el montaje en los tejados, deberá haber una separación de, por lo menos, 5 cm entre los módulos y el tejado ó cubierta para permitir la circulación de aire.
- CI8 Si se permite el montaje en los tejados, las estructuras de soporte no deberán fijarse a las tejas o a las chapas, sino a las vigas del tejado u otro elemento de la estructura de la vivienda.
- CI9 Los reguladores de carga y las lámparas deben suministrarse con elementos de soporte y fijación adecuados para su montaje (la instalación debe ser relativamente simple).
- CI10 El diseño de luminarias y reguladores de carga debe permitir el acceso con cierta facilidad a los fusibles y terminales de cables.
- CI11 La necesidad de herramientas debe minimizarse. (evitando tuercas de diferente tamaño / distintos tamaños de tornillos, etc.).
- CI12 Si están montados en superficie, los cables deben graparse a las paredes, a intervalos adecuados, para asegurar su posición vertical y horizontal. De no ser así, deben embutirse en las paredes y recubrirse con yeso o similar.
- CI13 Los cables deben asegurarse a las estructuras de soporte o a las paredes, para evitar esfuerzos mecánicos sobre otros elementos de la instalación eléctrica (cajas de conexión, balastos, interruptores, etc.).

- CI14 No se permite la conexión en paralelo de más de dos baterías.
- CI15 No se permite la conexión paralelo de baterías diferentes.
- CI16 No se permite la conexión en paralelo de baterías nuevas y viejas.

3.12.2 Recomendados

- RI1 La batería debería ubicarse en un lugar de fácil acceso (Nota: el acceso debería estar restringido por ejemplo mediante el uso de una puerta con cerradura).
- RI2 Los cables deben mantenerse fuera del alcance de los niños.
- RI3 En general, los cables deben disponerse horizontalmente o verticalmente, nunca oblicuamente.

3.12.3 Sugeridos

Ninguno

ANEXO 1. LISTA DE LAS NORMAS RECOPIADAS

País	Institución	Título	Año
<i>Bolivia</i>	<i>PROPER</i>	<i>Especificaciones técnicas</i>	<i>1996</i>
<i>Brasil</i>	<i>Centro de Pesquisas de Energia Electrica</i>	<i>Manual de Engenharia, Sistemas fotovoltaicoss</i>	<i>1995</i>
<i>Francia</i>	<i>Electricité de France</i>	<i>Directives générales pour l'utilisation des énergies renouvelables dans l'électrification rurale décentralisée</i>	<i>1997</i>
<i>Alemania</i>	<i>GTZ</i>	<i>Basic Electrification for Rural Households</i>	<i>1995</i>
<i>Alemania</i>	<i>Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme</i>	<i>Anforderungskatalog für Laderegler der Leistungsklasse von 50 W bis 200 W bei 12V/24V Nennspannung</i>	<i>1996</i>
<i>India</i>	<i>Indian Renewable Energy Development Agency</i>	<i>Model of Technical Specification for Solar Home Lighting Systems</i>	<i>1997</i>
<i>Indonesia</i>	<i>BPP Technology</i>	<i>Specifications for Solar Home Systems</i>	<i>1996</i>
<i>Kenia</i>	<i>Energy Alternatives AFRICA</i>	<i>Draft Components and Installation Standards</i>	<i>1997</i>
<i>Mexico</i>	<i>Instituto de Investigaciones Eléctricas</i>	<i>Especificación técnica para sistemas fotovoltaicos de iluminación doméstica</i>	<i>1992</i>
<i>Sahel</i>	<i>CILSS</i>	<i>Programme Regional d'Utilisation de l'Energie Solaire Photovoltaïque dans les pays du Sahel, CR-VI FED, Appel d'Offres Restreint</i>	<i>1989</i>
<i>Sud Africa</i>	<i>ESKOM Non-Grid Electrification</i>	<i>Standard Technical Specification for the supply of PV Systems Equipment for Solar Homes</i>	<i>1997</i>
<i>España</i>	<i>Instituto de Energía Solar</i>	<i>Elaboration of a label "Adapted PV Equipment for Developing Countries", Power for the World - A Common Concept, EC-JOU-CT93 - 0421</i>	<i>1994</i>
<i>España</i>	<i>CIEMAT</i>	<i>Estándares de calidad para los "Solar Home Systems (SHS)" en Sudáfrica</i>	<i>1997</i>
<i>Sri Lanka</i>	<i>Solar Power & Light Co, Ltd,</i>	<i>Specifications for Solar Home Systems</i>	<i>1997</i>
<i>Tunez</i>	<i>Agence pour la maîtrise de l'Energie</i>	<i>Cahier de charges: Acquisition et installation de 2000 petits systemes photovoltaïques</i>	<i>1995</i>
<i>USA</i>	<i>Asia Alternative Energy Unit (ASTAE)</i>	<i>Best Practices for Photovoltaic Household Electrification Programs</i>	<i>1996</i>
<i>USA</i>	<i>Sandia National Lab</i>	<i>Stand-Alone Photovoltaic Systems – A Handbook of Recommended Design Practices</i>	<i>1991</i>
<i>Zaire</i>	<i>Fonds National Medico-Social</i>	<i>Cahier des Charges pour Fourniture, Installation et Maintenance des Equipements</i>	<i>1991</i>

ANEXO 2
Lista de Revisores

Nombre	Organización	País
M.A. Abella	Instituto de Energías Renovables. C.I.E.M.A.T.	España
E. Alcor	ATERSA	España
S. Bezudenhaut	ESKOM	Sud Africa
W. Canedo	PROPER	Bolivia
L. Gunaratne	Solar Power & Light Co. Ltd	Sri Lanka
T. Hart	IT Power India	India
M. Hankins	Energy Africa	Kenia
J. Huacuz	Instituto de Investigaciones Eléctricas	Mexico
R. Posorski	GTZ	Alemania
Klaus Preisser	Fraunhofer-ISE	Alemania
Anhua Wang	Director UNDP Project for Development, PV in Western China, President of GANSU-PV Cy Ltd.	China
R. Zilles	Instituto de Electrotécnica e Energia, Universidade de Sao Paulo	Brasil

REFERENCIAS

- 1 “Systematic comparison of SHSs existing standards”. IES Internal Report. 1997.
- 2 F. Kabore “Energy for a sustained and social development in the Sahelian region, The Regional Solar Programme”. The Yearbook of Renewable Energies 1994. Ponte Press, Bochum, 1994.
- 3 S. Makukatin et al., The CILSS-project: a large-scale application of photovoltaics in Africa, 1st WCPEC, Hawaii, 1994.
- 4 K. Preiser, “Quality Issues for solar home systems”, IERE Workshop, Cocoyoc, Mexico, 1995.
- 5 The World PV Market to 2010. Directorate Generale for Energy of the Commission of the European Communities, Brussels, 1996.
- 6 M.J.Manimala. “Solar Photovoltaic Lanterns in rural India: a socio-economic evaluation of the schema as implemented in the state of Maharashtra in India”. 12th EC pv Solar Energy Conference. Amsterdam. 1994
- 7 E. Dunlop et al. “Electrical Characterisation and Analysis of Operating Conditions of Amorphous Silicon Building Integrated Photovoltaic Modules”. 14th EC pv Conference. Barcelona. 1997
- 8 G. Bopp et al., “Energy Storage in Photovoltaic stand alone energy supply systems”. Progress in Photovoltaics (to be published).
- 9 E. Barbosa et al. “Photovoltaic Electrification. Social and Technical diagnostic of systems installed in the north east of Brazil after one operating year”. 13th EC pv Conference. Nice. 1995
- 10 E. Lorenzo, P. Díaz, "Automotive Batteries for Solar Home Systems", Thermie-B Project DIF990-96ES, Final Report
- 11 J. Dunlop et al. "Performance of Battery Charge Controllers. First Year Test Report" 22th IEEE PV Specialist Conference. Las Vegas. 1991.
- 12 A. Illiceto et al. “Performance of different types of Battery Charge Regulators in Stand-alone PV Systems” 10th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon, 1991.
- 13 J. Woodworth et al. “Evaluation of the Batteries and Charge Controllers in Small Stand-alone Photovoltaic Systems” First WCPEC. Hawaii, 1994
- 14 Pfanner N et al. “Electronic Ballasts - Important Components in Photovoltaically Powered Lighting Systems” 10th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Lisbon, 1991.
- 15 DC Fluorescent Light Testing Procedure, Project Management Office, *World Bank/GEF Assisted China Renewable Energy Development Project*, China, 1999.
- 16 R. Zilles, “SHS programs in Sao Paulo state, Brasil: Utility and User Associations experiences”, 14th EC Photovoltaic Solar Energy. Barcelona, 1997.17 J.P. Louineau et al. *Rural Lighting*. IT Publications, 1994.
- 18 A.S. Dasuki. “The institutional and financial scheme for photovoltaic rural electrification” Proceedings of Seminar Sustainable Development of Rual Areas. Marrakech, 1995.
- 19 J. Aguilera, E. Lorenzo, “Rural Photovoltaic Electrification Programme on the Bolivian High Plateau”. Progress in Photovoltaics. vol. 4, 77-84. 1996.

-
- 20 L.L.Bucciarelli. "Estimating Loss-of-Power probabilities of Stand-alone Photovoltaic Solar Energy Systems", *Solar Energy*, vol. 32, 1987
 - 21 "Guidelines for the Assessment of Photovoltaic Plants", Document B, Analysis and Presentation of Monitoring Data", Issue 4.2, June 1993.
 - 22 E. Lorenzo. "Photovoltaic Rural Electrification". Invited Paper. *Progress in Photovoltaics*. vol. 5, 3-27. 1997.
 - 23 GH. Belli et al. "ENEL's ten years experience in the use of photovoltaic generation units to supply isolated dwellings with electricity" 11th EC pv Solar Energy Conference. Montreux. 1992.
 - 24 A.Hänel et al., "The performance of pv pumping system of the CILSS: one year monitoring results on 10 systems", 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Nice, 1995.
 - 25 R.Chapman, *Sizing Handbook for Stand-Alone Photovoltaic/Storage Systems*, Sandia Report, 1987.
 - 26 E. Lorenzo et al. *Solar Electricity*. Ed J. Wiley& Sons, 1994.
 - 27 F.Lasnier. *Photovoltaic Engineering Handbook*. Ed. Adam Hilger, 1990.
 - 28 J. Huacuz et al., "Field performance of lead-acid batteries in photovoltaic rural electrifications kits", *Solar Energy*, 55(4), 287-300, 1995.