



Montaje de los Sistemas Fotovoltaicos

Tema 4

5.1 Estudio y planificación previa del proceso

En un proyecto de instalación fotovoltaica el montaje constituye la fase práctica del mismo, independientemente de su envergadura, características y aplicación. No obstante, el profesional que pretende llevar a cabo un buen montaje debe tener presente que para ello es necesario subdividir esta fase en tres etapas principales:

- Diseño
- Planificación
- Realización

Estas etapas están relacionadas entre sí y su peso en la fase de montaje dependerá de las características de la propia instalación. La búsqueda de una solución técnica y/o práctica, la envergadura de la instalación, etc., son aspectos que influirán en la importancia de cada una de estas tres etapas. Cabe indicar que, la omisión del diseño o la planificación, por pequeña y sencilla que pueda parecer la instalación, afectará directamente y de forma negativa al montaje de la misma, y suele ser causa de molestias al cliente e insatisfacción del mismo por incumplimiento de plazos, desagrado con el aspecto final de la instalación, etc. Y lo que es peor, dicha omisión puede provocar el incumplimiento de alguna de las especificaciones técnicas y, en última instancia, el mal funcionamiento de una instalación que adolecerá de averías y no cumplirá los objetivos y funciones para los que fue diseñada. El diseño del montaje es una tarea que debe abordarse en la propia fase de diseño general de la instalación, no limitándose está al cálculo y dimensionado que, además, no podrán realizarse de forma correcta y adecuada sin tener en cuenta aspectos como la ubicación real de los elementos, su anclaje e interconexión, las distancias entre los mismos, los aspectos constructivos de la vivienda, el terreno, etc. Con esto se quiere hacer hincapié en la necesidad de que no sea sólo el proyectista diseñador el que visite el lugar de la instalación, sino también el instalador-montador (que puede ser también el proyectista diseñador), que es quien finalmente se encontrará con las posibles dificultades e inconvenientes que en una visita previa pueden ser reconocidos y tenidos en cuenta.

En esta etapa de diseño, donde debe quedar completamente definido el conjunto de la instalación, hay que contar siempre con el usuario, propietario o peticionario de la misma, ya que es entonces cuando debe tener lugar el planteamiento, el debate y la toma de decisiones sobre aspectos prácticos como el control, la monitorización y el mantenimiento, los requisitos estéticos, el impacto visual, los riesgos de robo y actos vandálicos, etc. En este sentido, el profesional debe informar, preguntar y consultar al futuro usuario todos aquellos aspectos que, de una u otra manera, le afectarán durante la utilización de su instalación fotovoltaica. Debe tenerse en cuenta que el usuario no tiene por qué conocer de antemano cómo funciona y qué posibilidades tiene su instalación.

A continuación, se describen brevemente dos de los aspectos antes mencionados.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Impacto visual

Cada vez con más frecuencia, la evaluación del impacto visual de una instalación no se limita a una apreciación subjetiva de la posible ruptura de la estética del entorno en donde se vayan a ubicar los paneles, debida tanto a la falta de integración arquitectónica, como al contraste de estilos, sino que su consideración puede ser de obligado cumplimiento para la aceptación del proyecto. Este es uno de los aspectos menos cuidados y, quizás, una de las razones por las que podría ser rechazado las instalaciones fotovoltaicas.



Fig. 5.1. Muestra del fuerte contraste entre el campo de paneles fotovoltaicos y un entorno extraño a los mismos.

Evaluación de los riesgos de robo, actos vandálicos, etc.

Estos riesgos experimentan una tendencia a crecer, por lo que es imprescindible tomar las debidas precauciones. Las medidas de seguridad serán tanto más drásticas cuanto mayor sea el peligro o probabilidad de que ocurran estos actos. Al igual que en el caso anterior, de entre los subsistemas que pueden identificarse en una instalación fotovoltaica (generación, acumulación, regulación, acondicionamiento...), es el primero el más susceptible a estos actos indeseados.

Si no resulta posible ubicar los paneles en lugares inaccesibles o de muy difícil acceso, a veces no queda más remedio que diseñar el montaje de los mismos de forma que sea prácticamente imposible desmontarlos sin romperlo y, por lo tanto, hacerlos inservibles. Esta medida disuasoria tiene, claro está, el mantenimiento sin recurrir a herramientas especiales o romper parte de la estructura, pero en ocasiones es la única solución para paliar el problema que los actos de pillaje representan, sobre todo en zonas aisladas.

Entre las posibles medidas extremas que se pueden tomar, pueden citarse:

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



- Rodear los paneles con un marco o perfil angular de acero.
- Pegar los módulos al marco o perfiles de la estructura con una soldadura química (fría).
- Elevar artificialmente la altura de la estructura soporte.
- Efectuar soldaduras en puntos “estratégicos” como, por ejemplo, alrededor de las tuercas de sujeción, haciendo imposible su manipulación con herramientas comunes.



Fig. 5.2. Colocación de una verja metálica que rodeará a los paneles y los aislará de la vía pública.

En cuanto a la planificación del montaje, el propósito principal de esta etapa es minimizar los posibles imprevistos que puedan surgir y asegurar en la medida de lo posible, el cumplimiento de plazos y presupuestos. Si en la fase anterior de diseño se define y especifica qué hay que hacer, en esta etapa debe definirse y especificarse cómo hay que hacerlo. Es muy recomendable definir de antemano el momento, la secuencia y los tiempos previstos de operaciones, la gestión del personal montador, la gestión del material y de los recursos. En definitiva, se trata de no dejar nada para última hora, ni en manos de la improvisación. Además, el buen profesional debe prever las necesidades en cuanto a herramientas y material diverso se refiere (resulta bastante molesto y poco profesional preguntarle al propietario si tiene una escalera, un multímetro (o polímetro), un destornillador, o lo que sea). Considérese, por ejemplo, el inconveniente y el trastorno que supondría para el montador, tener previsto la colocación de un inversor de tamaño considerable en un parámetro y percatarse en el momento de hacerlo de que dicho parámetro no tiene las características

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



constructivas adecuadas para soportarlo o sujetarlo. O que al dirigirse hacia el lugar de la instalación, el vehículo donde se transportan los distintos elementos y materiales no pueda acceder hasta las proximidades de este lugar. Un buen diseño del montaje y una buena planificación del mismo minimizan, cuando no evitan, la necesidad de la búsqueda precipitada de soluciones prácticas durante las operaciones.

Otro aspecto que se debe considerar durante la planificación es cómo y en qué medida afectará el montaje de la instalación fotovoltaica a las personas ajenas a la misma, a su trabajo y a sus actividades.

En este sentido, el profesional debe informar con la suficiente antelación sobre las operaciones que conlleven cortes de luz, ruido, polvo, obstrucción y/o ocupación de vías de paso (acceso de vehículos, pasillos, etc.), utilización de espacios (habitaciones, despachos, etc.), necesidad de presencia del propietario, etc. Ni que decir tiene que cuanto mayor y más compleja sea la instalación, más importancia adquiere la etapa de planificación.

Definido y especificado qué es lo que se va a hacer y cómo se va a hacer, ya sólo queda llevarlo a efecto. Esto constituye la etapa de realización o montaje, propiamente dicho. Si se han tenido en cuenta, evaluado y analizado todas las consideraciones y aspectos mencionados hasta este punto, el montaje se convierte en un conjunto de tareas mucho más llevaderas, ya que todo está previsto y las posibles dudas se han resuelto con anterioridad. No obstante, en la etapa de realización el profesional requiere, sobre todo en instalaciones medianas y grandes, la utilización de planos, esquemas, manuales de instalación, instrucciones, etc., que especifiquen y faciliten las tareas de montaje. El objetivo de ello es doble: llevar a cabo las operaciones de forma correcta y eficiente, y evitar disconformidades por parte del propietario del estilo “eso no es lo acordado”. Téngase en cuenta, además, que dichos esquemas e instrucciones son, en ocasiones, la única interfaz entre el diseñador y el montador, razón por la cual no deben limitarse a tener un carácter descriptivo y orientativo, sino específico y obligatorio. Decir también, que a falta de una simbología normalizada, lo usual es reflejar en los esquemas los distintos elementos de forma que se puedan identificar fácilmente a simple vista, o acompañarlos de las leyendas identificativas correspondientes.

A lo largo de este capítulo y al tratar el montaje de los distintos elementos que componen una instalación fotovoltaica, se hará mención a aspectos particulares sobre el mismo que el lector podrá encuadrar fácilmente en alguna de las tres etapas que se acaban de describir (diseño, planificación y realización).

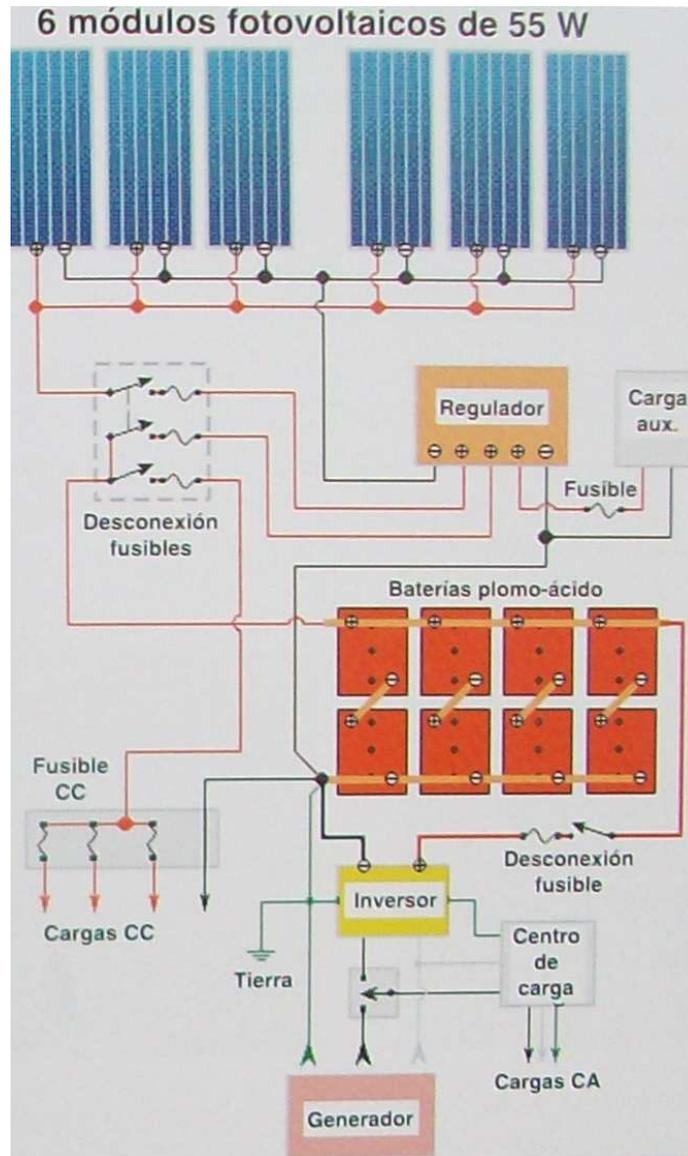


Fig. 5.3. Esquema de montaje de una instalación FV.

5.2 LA ESTRUCTURA SOPORTE

Aunque en determinadas ocasiones es posible el montaje de paneles fotovoltaicos (o de módulos concebidos especialmente para ser instalados sin necesidad de una estructura soporte propiamente dicha), aprovechando un elemento arquitectónico existente o incluso sustituyéndolo (**figuras 5.4 y 5.5**), en la generalidad de los casos dicha estructura se hace indispensable, ya que cumple un triple cometido:

-Actuar de armazón para conferir rigidez al conjunto de módulos, configurando la disposición y geometría del panel que sean adecuados en cada caso.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



-Asegurar la correcta inclinación y orientación de los paneles, que serán en general distintas según el tipo de aplicación y la localización geográfica.

-Servir de elemento intermedio para la unión de los paneles y el suelo o elemento constructivo (tejado, pared, etc.) que debe soportar el peso y las fuerzas transmitidas por aquéllos, asegurando un anclaje firme y una estabilidad perfecta y permanente.



Fig. 5.4. Estos módulos de silicio amorfo descansan directamente sobre el tejado, no siendo preciso construir una estructura soporte separada.



Fig. 5.5. Módulos fotovoltaicos especiales, contruidos en forma de tejas, que pueden sustituir a éstas en un tejado convencional e integrarse perfectamente en el mismo.

La estructura soporte de los paneles es un elemento auxiliar, por lo general metálico (acero galvanizado, aluminio o acero inoxidable), semejante a otros muchos con análogas características que pueden encontrarse en innumerables aplicaciones constructivas. No se trata, pues, de un elemento específico de la tecnología fotovoltaica (de ahí que no se haya descrito en anteriores capítulos).

El técnico fotovoltaico debe limitarse a comprobar, en lo que a la estructura respecta, que ésta ha sido realizada con las suficientes garantías para que cumpla su misión en condiciones de absoluta seguridad.

Además del peso de los módulos y de la propia estructura, ésta estará sometida a la sobrecarga producida por el viento, el cual producirá sobre los paneles una presión dinámica (llamada así por ser consecuencia de su velocidad) que puede ser muy grande (dependiendo

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



del lugar). De ahí la importancia de asegurar perfectamente la robustez, no solamente de la propia estructura, sino también y muy especialmente, del anclaje de la misma.

En general, será válido suponer que el viento puede actuar en cualquier dirección, aunque de forma horizontal, debiéndose considerar en cada caso la dirección o direcciones que produzcan acciones más desfavorables.

Un panel formado por un cierto número de módulos fotovoltaicos convenientemente ensamblados en una estructura a una cierta altura sobre el suelo puede considerarse, en una primera aproximación, como una gran superficie rígida que, debido a su inclinación, sufre la acción del viento de dos formas bien diferentes, según el sentido con que sople éste (figura 4.6).

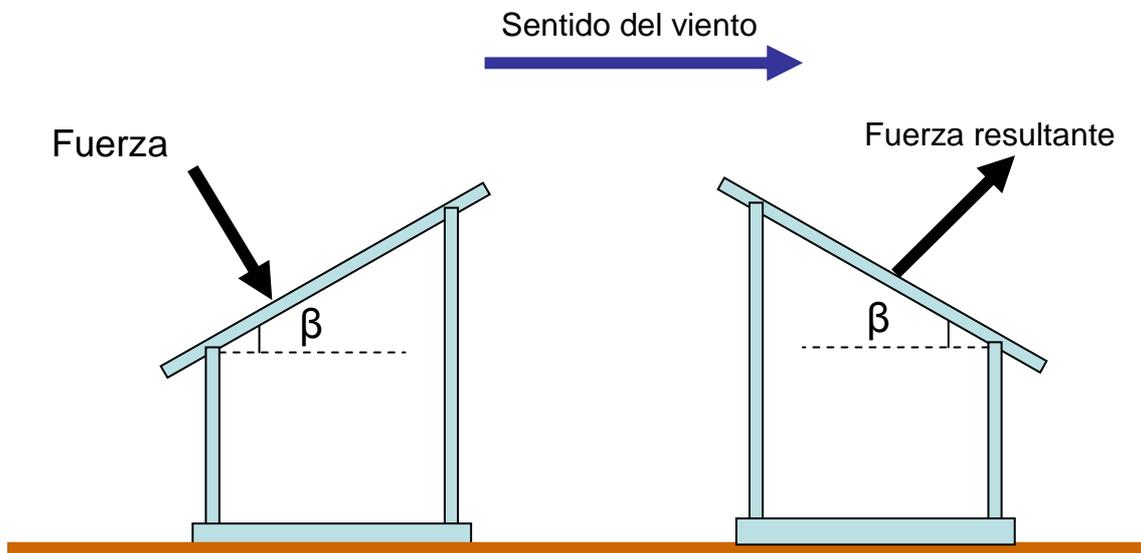


Fig. 5.6. La estructura de la izquierda está sometida a una fuerza total que tiende a comprimirla sobre sus anclajes. Por el contrario, la de la derecha, que recibe el viento por su parte dorsal, tiende a ser levantada.

Cuando el viento sopla de tal forma que incide sobre los paneles por detrás, la componente neta es una fuerza que tiende a arrancarlos de sus soportes, transmitiendo este esfuerzo de tracción a los apoyos de la propia estructura. Esta situación es más peligrosa que la que origina un viento frontal, pues los elementos de anclaje, e incluso el propio hormigón de la base, resisten mucho mejor los esfuerzos a compresión que a tracción.

Es necesario tener en cuenta que, a causa de un vendaval (fuertes vientos) extraordinario podría hacer que los paneles, la estructura o ambos salgan literalmente volando, generalmente por las fuerzas de succión producidas. De ahí la necesidad de extremar las medidas de prevención y contar siempre con un amplio margen de seguridad al realizar la sujeción de los paneles a la estructura y de ésta a la base o muro de anclaje.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



La primera y última fila de un campo de paneles serán, lógicamente, las que más fuerzas eólica (fuerzas del viento) van a soportar, por lo que es recomendable reforzar la estructura y anclajes de dichas filas (uno de los errores más frecuentes en los proyectos de varias filas es no tener en cuenta el hecho obvio de que las filas interiores quedan parcialmente protegidas del viento).

Además de las fuerzas producidas por el viento, merece la pena citar otras posibles cargas como la de la nieve sobre los paneles o las fuerzas de empuje hidrostático en lugares donde el nivel freático está muy próximo a la superficie.

Los intentos de normalizar y simplificar el diseño de las estructuras de paneles fotovoltaicos han tenido un desigual éxito. Si bien es cierto, que a diferencia de lo que ocurría hace años, ya no se diseña o fabrica una estructura específica para cada instalación realizada, existen todavía demasiadas variantes y soluciones ofrecidas por los distintos fabricantes, no todas ellas compatibles entre sí.

En base a conseguir una minimización de los costes de instalación sin pérdida de calidad, en el diseño de las estructuras se debería tender a:

- Desarrollar Kits de montaje universales.
- Minimizar el número total de piezas necesarias, mediante la utilización de piezas multifuncionales (por ejemplo, un elemento, además de constituir un apoyo mecánico, puede servir de guía o conducto para los conductores eléctricos).
- Prever un sistema de ensamblaje sencillo para reducir los costos de mano de obra.
- Utilizar, en lo posible, partes pre-ensambladas en taller o fábrica.
- Asegurar la máxima protección a los paneles contra el robo o vandalismo.



Fig. 5.7. Los fabricantes de módulos suelen incluir en sus Kits de montaje para pequeñas instalaciones las piezas que componen la estructura soporte. En este caso son de aluminio, muy ligeras.

En la actualidad, la mayoría de las estructuras empleadas en instalaciones de cierta importancia son de acero galvanizado en caliente (normas UNE 37-501 y UNE 37-508), debiendo poseer un espesor de galvanizado de 120 micras o más, recomendándose incluso 200 micras. Dicho proceso de galvanizado en caliente consiste en la inmersión de todos los perfiles y piezas que componen la estructura en un baño de zinc fundido. De esta forma, el zinc recubre perfectamente todas las hendiduras, bordes, ángulos, soldaduras, etc., penetrando en los pequeños resquicios y orificios del material que, en caso de usar otro método de recubrimiento superficial, quedarían desprotegidos y se convertirán en focos de corrosión.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Todo queda recubierto de una capa uniforme y duradera de zinc puro que aísla al acero de la intemperie.



Fig. 5.8. Ciertas partes de la estructura pueden servir también para albergar y conducir el cableado que va hasta la arqueta que ubica la caja de conexiones principal.

Todo tornillero utilizada deberá ser de acero inoxidable (si las piezas no son atraídas por un imán, podemos suponer que los son). Adicionalmente, y para prever los posibles efectos de los pares galvánicos entre paneles y estructura, sobre todo en ambientes fuertemente salinos, conviene instalar unos inhibidores de corrosión galvánica, para evitar la corrosión por par galvánico.

Las estructuras de pequeño tamaño pueden estar hechas enteramente de aluminio, que aunque tiene menor resistencia que el acero, presenta ventajas evidentes, como su menor peso.

MONTAJE SOBRE SUELO:

Existen dos diferente tipos de estructuras: las de único apoyo, en las que un poste metálico o mástil sostiene a los paneles y los soportes de entramado longitudinales (rastrales o racks).

En primer sistema está reservado por lo general para pequeñas instalaciones, si bien también existen grandes campos de paneles que constan de muchos mástiles independientes.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.9. Estructura con un único apoyo, que puede albergar hasta 32 módulos.

También es utilizado el sistema de poste en el caso de estructuras dotadas de algún mecanismo de movimiento (sistemas de seguimiento solar o trackers) para conseguir que los paneles sigan lo mejor posible el curso del Sol y obtener así una apreciable ganancia neta de energía en comparación con los sistemas estáticos. Este tipo de estructuras se compran siempre prefabricadas y ya vienen con instrucciones de montaje muy precisas.



Fig. 5.10. Conjunto de estructuras de apoyo único.



Fig. 5.11. Estructuras dotadas de mecanismo de seguimiento solar.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Preparación del terreno

La cimentación de la estructura, bien sea ésta con zapatas independientes de hormigón, losa, entre otras, exige una excavación de profundidad suficiente, debiendo ser las dimensiones del hueco tanto mayores cuanto más blando sea el terreno.

El hueco será un paralelepípedo rectangular, es decir, sus caras laterales serán verticales y formando ángulos rectos, y la base quedará perfectamente horizontal, limpiando y compactando si fuese necesario.

Tendrá la orientación adecuada para que a su vez la estructura quede correctamente orientada, debiéndose tener esto muy presente antes de comenzar las excavaciones.

Preparación del hormigón

Si no se utiliza un hormigón preparado, que se vierte directamente desde el camión-hormigonera en los hoyos, la labor de dosificación y preparación de los morteros y hormigones debe encomendarse a un albañil con experiencia en estas tareas.

El cemento, que debe ser de la categoría adecuada, se presenta frecuentemente en sacos. Se recomienda una dosificación volumétrica de cemento-arena-grava igual a 1:2:4, y teniendo en cuenta que el material sólido necesario para conseguir un metro cúbico de hormigón ocupa 1450 litros, se necesitarán:

- 205 litros de cemento
- 415 litros de arena
- 830 litros de grava

En cuanto a la cantidad de agua a añadir, en teoría un hormigón es más resistente cuanto menos agua lleve, pero en la práctica, para que el mismo sea manejable y fácil de trabajar, se requiere al menos 50 ó 55 litros de agua por cada dos sacos de cemento (100 kg).

Sí, por ejemplo, se dispone de una hormigonera en obra que en cada amasada puede proporcionar $\frac{1}{4}$ de metro cúbico de hormigón, se debe llenar a razón de una palada de cemento por cada dos de arena y cuatro de grava (sin olvidar también el agua) hasta rebosar.

Si las cargas o la naturaleza del terreno lo requieren, puede ser aconsejable preparar también una primera capa de hormigón, llamada de "limpieza", que será la que se vierta primero y que tendrá entre 10 cm y 20 cm de espesor, sobre la cual se puede disponer horizontalmente una armadura o entramado reticulado de barras corrugadas que aumentarán la resistencia de la zapata.

Ejecución de la cimentación

Se utilizan dos técnicas diferentes. La primera, la más habitual, consiste en, una vez realizada la excavación, enfocar para poder conformar la base exterior, posicionar los pernos, mediante una plantilla o con listones de manera colocados a la distancia precisa y, habiendo comprobado que las posiciones de los pernos son las correctas, proceder con cuidado al



vertido del hormigón, evitando que se mueva la plantilla y los pernos, y esperar a que éste fragüe.

La segunda técnica consiste en encobrar y hormigonar primero y, una vez fraguado el hormigón en todas las cimentaciones, marcar la situación de los orificios donde irán los pernos, mediante una plantilla que debe ser una réplica exacta de las bases de la estructura, y proceder al taladro del hormigón con el diámetro y profundidad adecuados. A continuación se verterá sobre los orificios así dispuestos un mortero fino o un preparado comercial adecuado para lograr una buena adherencia, e inmediatamente se introducirán los pernos montados en su correspondiente plantilla. Éstos deberán quedar perfectamente perpendiculares y, como en el caso anterior, sobresaliendo en la cantidad necesaria para tener en cuenta el grosor tanto de la chapa base de la estructura como de la capa de nivelación que, en su caso, fuese preciso efectuar.

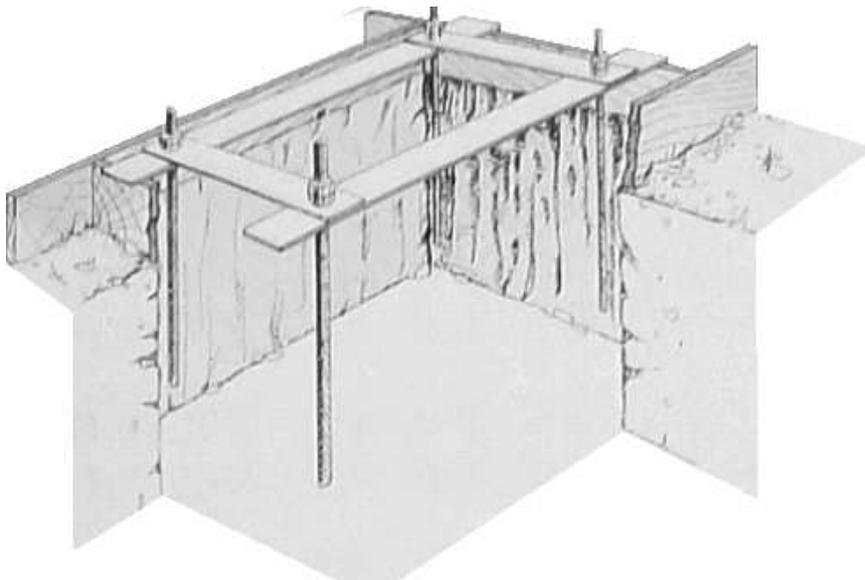


Fig. 5.12. Excavación lista para recibir el hormigón que aprisionará a los pernos o espárragos roscados en la posición adecuada.

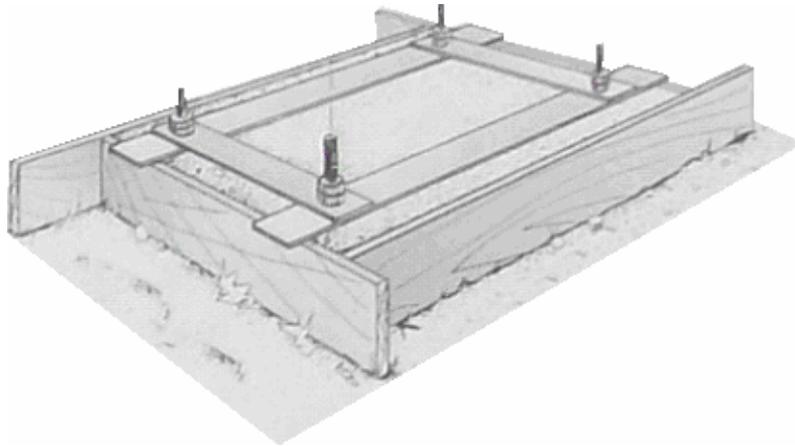


Fig. 5.13. El hormigón se vierte hasta que quede rasante en el encofrado. Obsérvese que los pernos deben sobresalir.

Esta segunda técnica del fraguado previo también se usa en aquellas estructuras pequeñas y de poco peso, ya que se pueden sustituir los grandes espárragos roscados por simples tornillos de acero de cabeza hexagonal, de métrica apropiada, que se introducirán en tacos metálicos o químicos (nunca de plástico) una vez colocada la base de la estructura sobre su pedestal. Tanto en uno u otro caso es conveniente que los cables que transportan la energía eléctrica desde los paneles queden lo más ocultos y protegidos posibles, para lo cual hay que prever una canalización y una salida lateral. Esto se logra introduciendo un tubo de diámetro adecuado en el agujero de la excavación antes de verter en éste el hormigón. Dicho tubo deberá sobresalir al menos medio metro en cada extremo. Si se utiliza una plantilla con orificio central, uno de los extremos del tubo saldrá precisamente por dicho orificio.

Como se ha mencionado anteriormente, y especialmente cuando se han de realizar varias zapatas idénticas, resulta útil emplear una plantilla metálica que reproduzca fielmente la base de los apoyos verticales de la estructura que han de anclarse sobre el hormigón, a fin de facilitar las operaciones.

En la **figura 5.14** se puede ver una típica plantilla, que tiene ocho taladores en su perímetro para los espárragos embebidos en el hormigón y un agujero de mayor diámetro en el centro para el tubo pasacables.

La plantilla quedará siempre a unos cinco centímetros, aproximadamente, sobre la superficie.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES

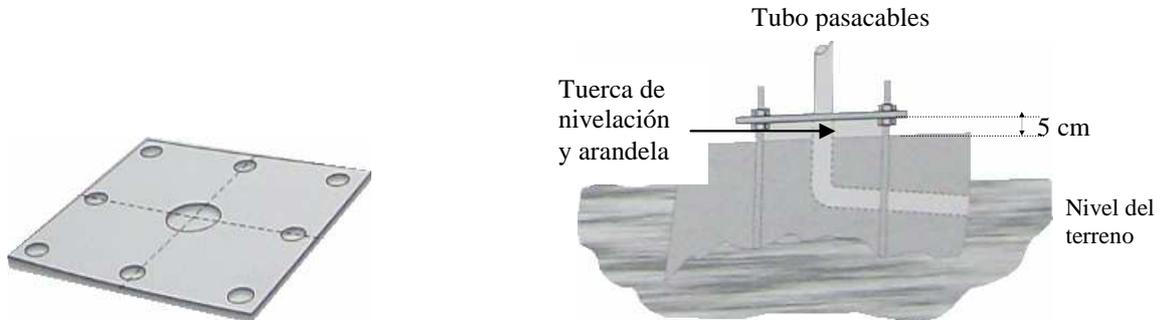


Fig. 5.14. Plantilla para marcar los puntos de anclaje, y corte transversal de la zapata y de la plantilla una vez posicionada ésta.



Fig. 5.14.1. Aspecto de la obra, esperando a que la primera capa de hormigón frague.

Es una buena práctica soldar los extremos inferiores de los espárragos a un perfil en L (figura 5.15) a fin de aumentar la rigidez del conjunto.

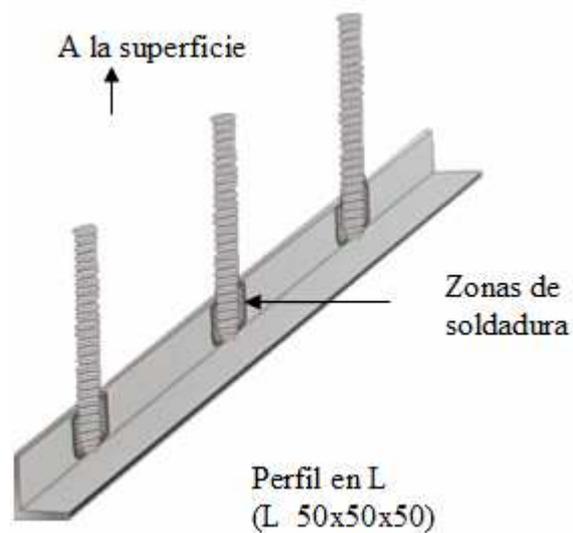


Fig. 5.15. Detalle de la parte inferior de los espárragos embebidos en el hormigón. Los tres que se encuentran alineados en un lado y en el opuesto (que no se muestra en la figura) se sueldan a un perfil en L, para favorecer la rigidez y aumentar la resistencia a la tracción.

Una vez haya fraguado el hormigón, hay que proceder a la operación de reglaje de la plantilla, que consiste en asegurarse de que ésta queda perfectamente horizontal. Ello se puede realizar por los métodos habituales de nivelación utilizados en construcción, bastando asegurar la horizontalidad de los ejes de simetría de aquélla.

Actuando sobre las tuercas de nivelación, situadas inmediatamente debajo de la plantilla (conviene que lleven también una arandela), se logra que ésta quede perfectamente horizontal.

A continuación, y después de untar con aceite mineral la parte inferior de la plantilla a fin de evitar que se adhiera al mortero (llamando mortero de reglaje) que hay que introducir bajo la placa, se prepara una mezcla de cemento y arena que constituirá el mortero de alta resistencia que hay que introducir (aprovechando el agujero central entre la parte inferior de la plantilla y la superficie del hormigón).

Una vez vertido el mortero de reglaje y cuando rebose por los cuatro lados de la plantilla, se alisa con ayuda de la espátula sus zonas visibles, dejándolas con un ángulo de unos 45°.

Cuando el mortero haya fraguado, se retira la chapa de la plantilla, quedando así la cimentación lista para recibir a la estructura metálica.



Fig. 5.15.1. Cimentación ya terminada y preparada para recibir las estructuras (izquierda). Parte inferior de las estructuras, ya ancladas sobre la base cimentada (derecha).

ANCLAJE DE LA ESTRUCTURA

Se supone que previamente ya se ha llevado al lugar de la obra la estructura parcial o totalmente ensamblada. A este respecto, es válido afirmar que, en general, cuantas más operaciones puedan realizarse en taller (por ejemplo, las soldaduras de los perfiles) mejor será, aunque también es cierto que para el transporte y manipulación en obra de las estructuras pueden requerirse medios mecánicos (**figura 5.16**) que hagan aumentar los costes de la instalación.

Situada la estructura (o los pilares de la misma, según el método que se haya elegido) junto a las zapatas de apoyo ya preparadas, se montarán los pilares sobre las mismas, generalmente con ayuda de una grúa (de requerirse), encajando los espárragos en los correspondientes orificios de la base del pilar (que tendrá la misma geometría que la plantilla antes usada).



Fig. 5.16. Traslado de parte de una estructura hasta el lugar en que va a ser instalada.

Una vez colocadas las arandelas, tuercas y contratueras, se procederá a su apriete, efectuando éste en dos pasadas, a fin de no crear tensiones desiguales.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



En el caso de que la estructura lleve puesta a tierra (la cual se deberá haber previsto dejando un agujero para el conductor de tierra en la zapata elegida para ello), puede usarse una pletina independiente que se habrá alojado en cualquiera de los pernos de anclaje (**figura 5.17**) y a la cual se conectará el conductor de tierra que llegará hasta el extremo superior de la pica.

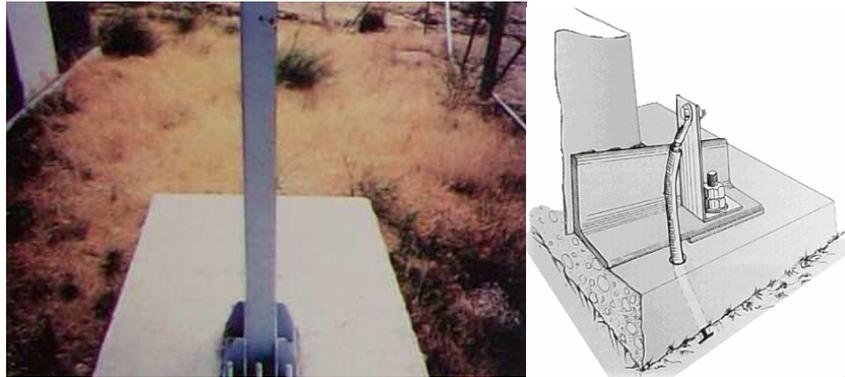


Fig. 5.17. Detalle del anclaje de una estructura y del cable de puesta a tierra (derecha).



Fig. 5.17.1. Conductores desnudos de puesta a tierra

En lugares especialmente expuestos a robos o vandalismos, o bien para lograr una protección adicional, a veces se procede a recubrir todo el pie de la estructura, una vez montado éste, con mortero u hormigón, bien realizando un segundo encofrado encima de la zapata o bien esparciendo la masa sobre ella hasta que cubra las puntas superiores de los pernos e incluso las cartelas (piezas en forma de escuadra que suelen llevar los pilares en su base para reforzar su estabilidad).

Terminación de la estructura

Una vez anclada y asegurada, se completan aquellas partes de la estructura que todavía estuviesen sin montar, de acuerdo con las guías de montaje que siempre deberá proveer a tal efecto el suministrador de la estructura o el encargado de su diseño.

Existen muchas estructuras diferentes, pero todas ellas tienen similitudes entre sí, diferenciándose en la mayor o menor facilidad que presentan para el montaje.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



En la mayoría, es preferible que los módulos estén ya pre-ensamblados en grupos antes de ponerlos en la estructura.

Las **figuras 5.18 y 5.19** ilustran gráficamente la composición y modo de ensamblaje de algunas estructuras comerciales bastantes comunes.

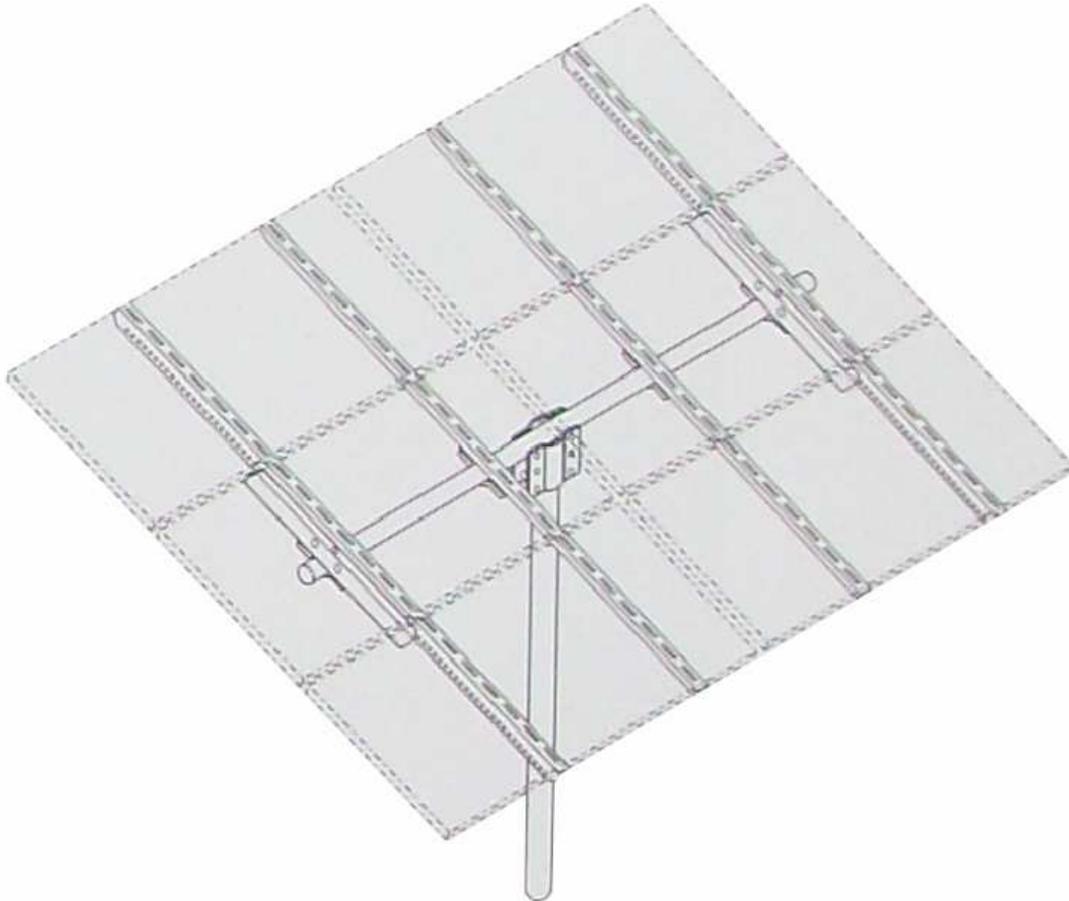


Fig. 5.18. Sencilla estructura monomástil capaz de albergar seis módulos. Se monta en pocos minutos con herramientas comunes, pudiéndose ajustar fácilmente el ángulo de inclinación.

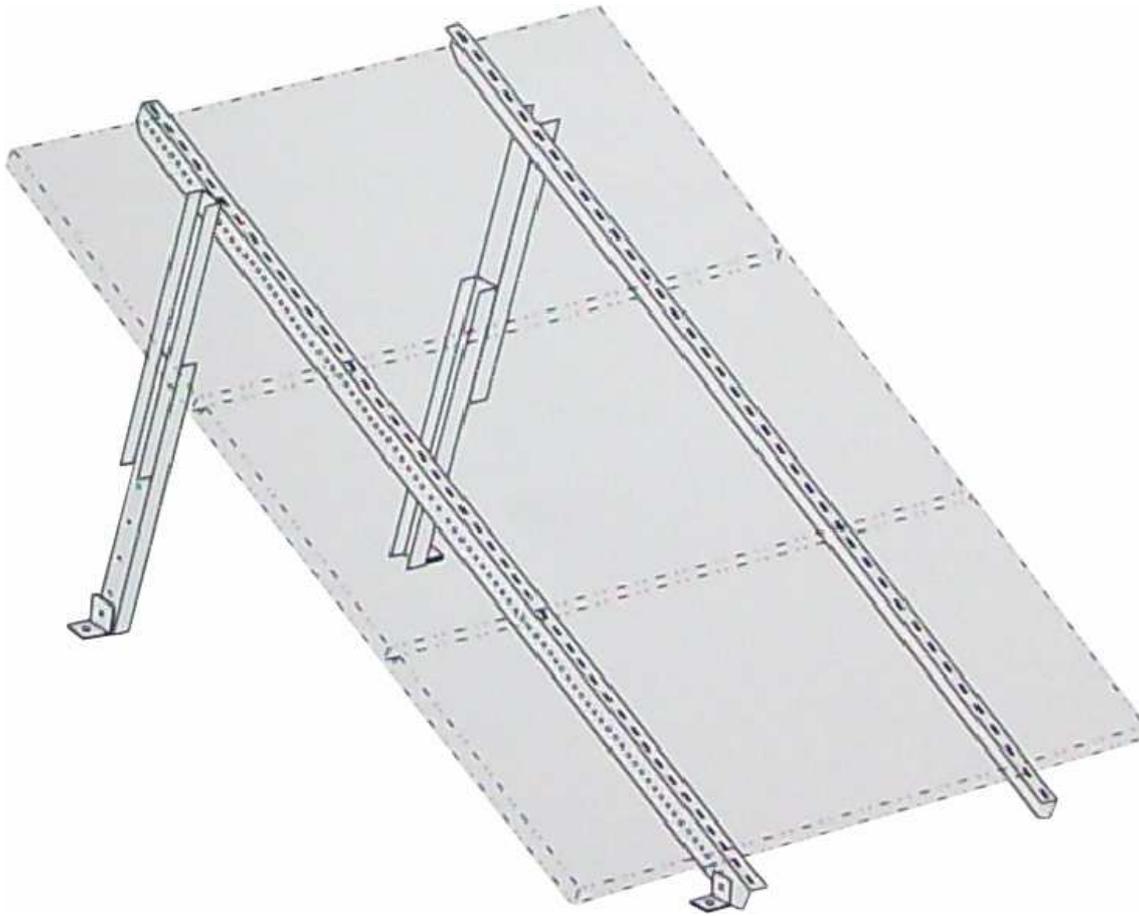


Fig. 5.19. Otra pequeña estructura a base de perfiles ranurados. El ángulo requerido se logra deslizando las patas ajustables y bloqueándolas mediante tornillo y tuerca en la posición adecuada.

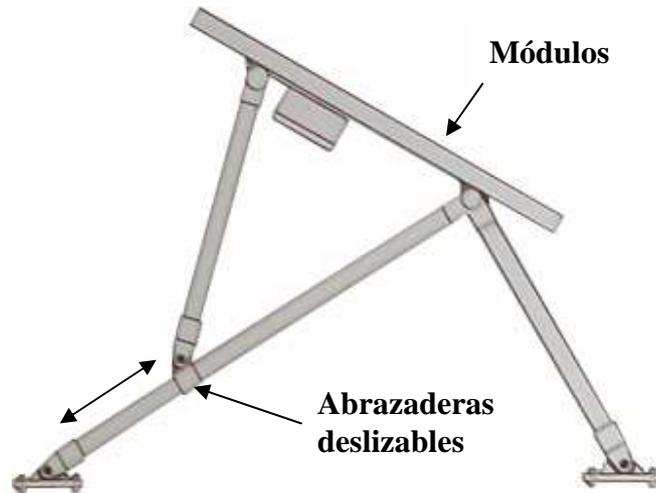


Fig. 5.20. Este diseño utiliza perfiles tubulares. El ajuste del ángulo se realiza mediante la abrazadera deslizante mostrada.



Fig. 5.21. En las estructuras de mayor tamaño, el montaje es una tarea que comporta riesgo, y no puede dejarse en manos de operarios inexpertos.

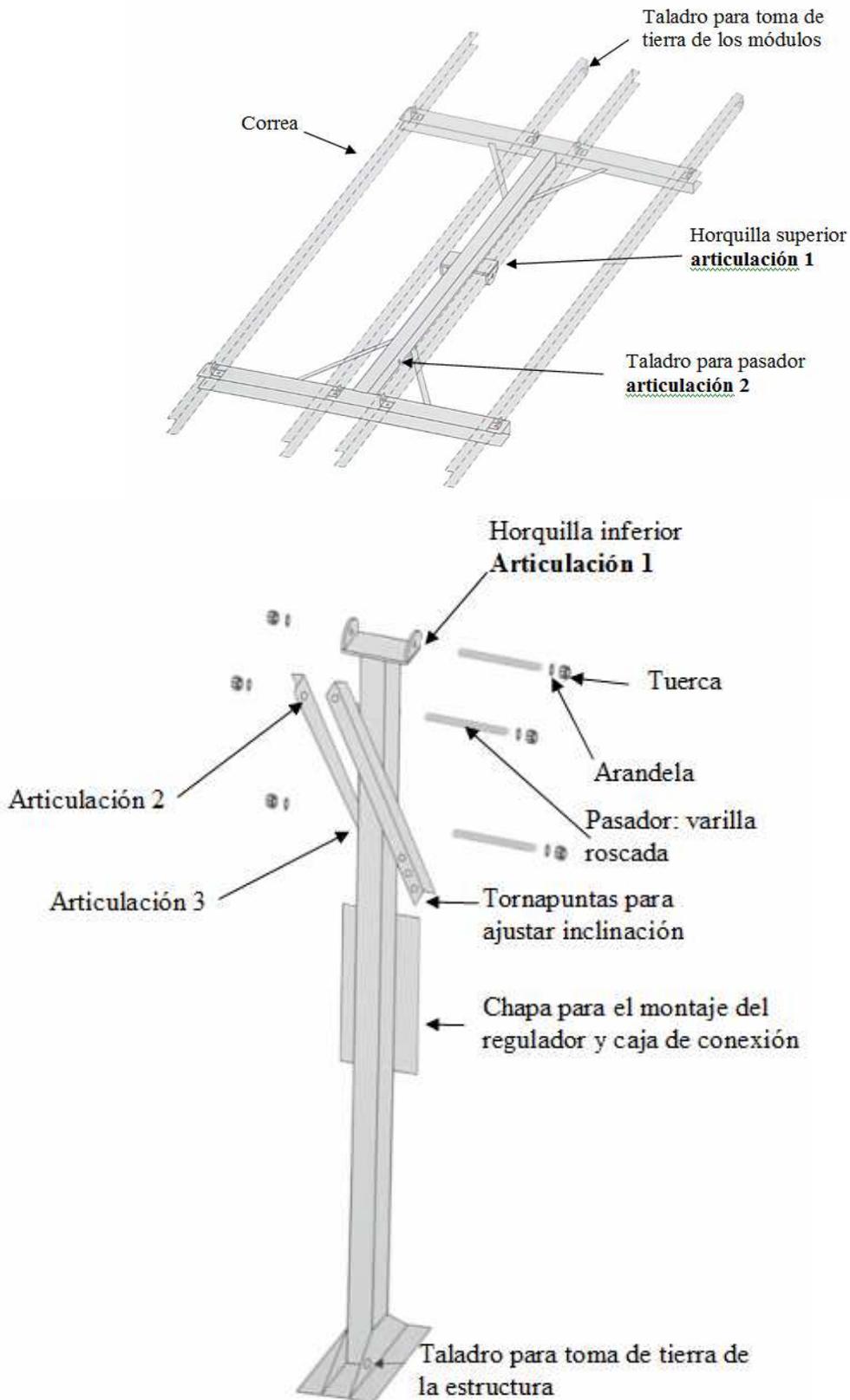


Fig 5.22. Despiece de una estructura típica para suelo.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.23 En este diseño, las dos grandes vigas reticuladas de cada lado vienen ya a la obra listas para se acopladas de forma relativamente sencilla.



Fig. 5.24. Pequeña estructura apta para un par de paneles, que se puede sujetar sobre un mástil mediante dos abrazaderas.



Fig. 5.25. Ejemplo de solución práctica de montaje de un pequeño módulo fotovoltaica en un poste.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.26. Estructura que utiliza rastrales de madera, convenientemente tratada para resistir la intemperie, sobre los cuales se atornillan las piezas metálicas que se observan en la fotografía.



Fig. 5.27. Proceso final del montaje de los paneles pre-ensamblados en la estructura de la figura anterior (27). Los paneles se disponen horizontalmente, como se observa en la fotografía, el operario asegura las uniones en la parte frontal, y posteriormente se levantan, terminando por atornilla las patas a las piezas metálicas del rastrel posterior.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.28. Ejemplo de montaje de paneles fotovoltaicos en una cubierta inclinada

Montaje sobre Cubierta o Techo

Tanto la propia cubierta, bien sea ésta plana o inclinada, como el edificio o construcción al cual pertenezca deberán soportar sin problemas las sobrecargas que produzca la estructura de paneles, por lo cual antes de acometer la instalación deberá existir un informe favorable a la misma por partes del arquitecto o técnico competente.

Las estructuras montadas sobre cubiertas de edificaciones ya existentes siempre son relativamente más pequeñas y menos pesadas que las de suelo.

Para el caso de cubiertas planas; y si la resistencia de la misma lo permite, una técnica apropiada es el anclaje de la estructura sobre una losa de hormigón con un peso suficiente para hacer frente a vientos fuertes. La losa puede, simplemente, descansar sobre la cubierta, sin necesidad de anclaje con la misma.

La segunda alternativa conlleva la perforación de la cubierta y el anclaje de las barras o perfiles metálicos de sustentación de la estructura a las vigas bajo cubierta, operación siempre delicada que ha de realizarse por operarios especializados en estos trabajos. Particular cuidado ha de ponerse en el sellado e impermeabilización de las zonas por donde se hayan efectuado los taladros.

Para tejados inclinados siempre hay que utilizar esta segunda opción, o recurrir a una integración arquitectónica de los paneles, técnica todavía sin mucho desarrollo, que ha de perfeccionarse.

Dada la variedad existente de cubiertas y tejados, no es posible efectuar una descripción exhaustiva de todos los métodos que se utilizan. Puede decirse que, en general, son todavía semi-artesanales y cada empresa instaladora desarrolla muchas veces sus propios métodos de montaje, frecuentemente con piezas específicas. En la actualidad se está trabajando para conseguir una integración arquitectónica de los paneles fotovoltaicos en edificios, ya que la normalización y regularización de ambos sistemas se considera una de las claves para el desarrollo futuro de una arquitectura fotovoltaica a gran escala.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.29. Módulos especialmente diseñados para sustituir a la tejas convencionales.



Fig.5.30. Ejemplos de montaje de paneles fotovoltaicos en una cubierta inclinada.

Como ejemplos representativos de cómo hay que ejecutar una instalación sobre cubierta, a continuación se describen gráficamente los procesos de montaje, paso a paso, de los tres casos más corrientes.

El primero es apto para cubiertas planas horizontales o inclinadas, mientras que los otros dos se utilizan en el caso de tejados convencionales, según que la inclinación del panel sea la misma que la de estos o sea diferente.

Las piezas y los sistemas son comercializados por la compañía americana PSP (Profesional Solar Products) y se adaptan bien a los módulos fabricados por varias importantes compañías internacionales adicionales.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



1



2



3



4



5



6

Fig. 5.31. Sistema "Fastjack" para montaje en cubiertas planas.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES

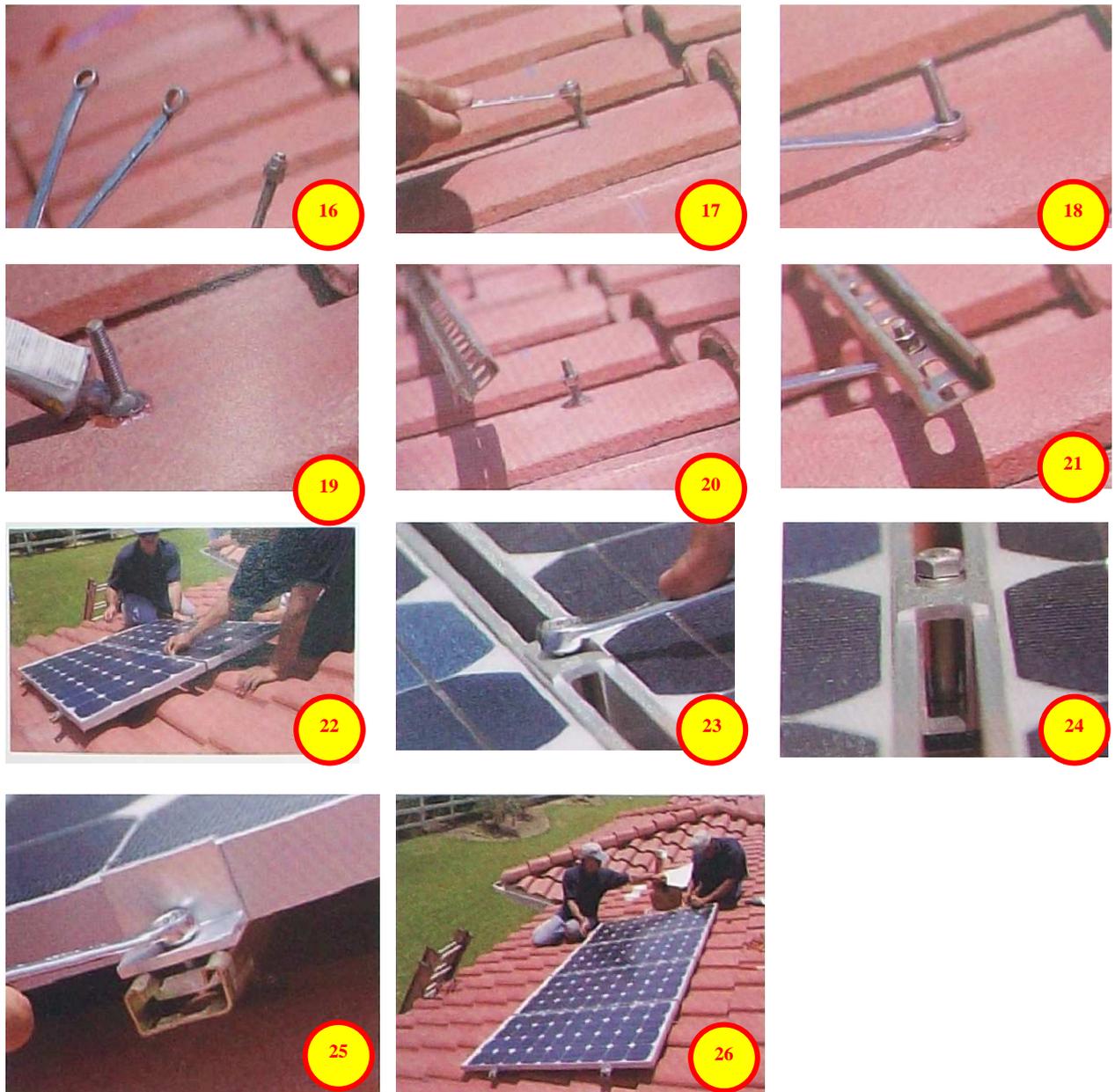
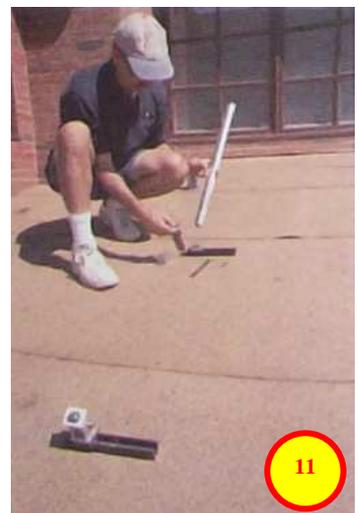
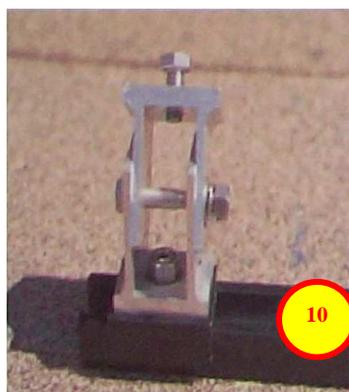
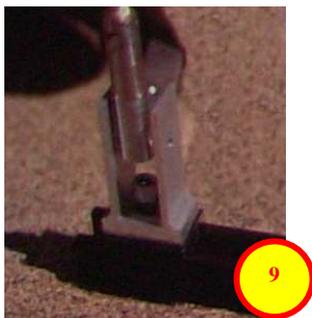
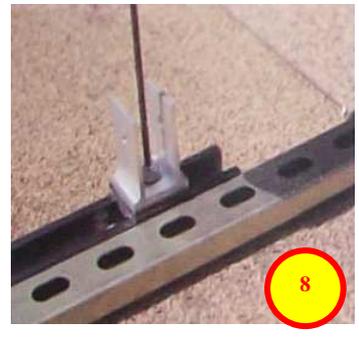


Fig. 5.31. Sistema "Tile Trac", para tejados de teja y paneles con la misma inclinación que el tejado.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES

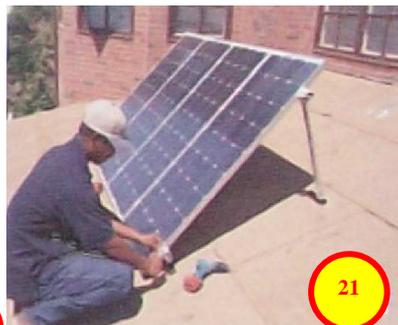




Fig. 5.32. Sistema "Tile Track Rack, para cubierta inclinadas con distinto ángulo que los paneles.

Protección contra la corrosión

A pesar de que la estructura llega a la obra convenientemente protegida contra la corrosión, normalmente mediante un galvanizado total, existe el riesgo de que durante el montaje se produzcan pequeños golpes que den lugar a pequeños desperfectos superficiales, aparentemente sin importancia, pero que pueden ser origen (y de hecho así sucede) de focos puntuales de corrosión.

Conviene, pues, repasar (una vez terminado totalmente el montaje) todas las estructuras, elemento a elemento, en busca de zonas en que se aprecie daños y aplicar con un pincel un producto protector a propósito de los varios que industrialmente se utilizan. Esta sencilla operación es a menudos olvidada, siendo causa de la aparición al cabo del tiempo de corrosión localizada. Dichos productos, de consistencia líquida espesa, contienen inhibidores de oxidación y resinas, adhiriéndose químicamente a los metales ferrosos y protegiéndolos así de la oxidación.

Los elementos metálicos embebidos en el hormigón pueden sufrir oxidación si, debido a la degradación de aquél, quedan al descubierto. Este hecho es grave, ya que el óxido aumenta el volumen de la armadura metálica del hormigón o de los elementos férreos embebidos, provocando la rotura del hormigón. Un hormigón degenerado se puede reparar, pero el tratamiento requiere la intervención de un especialista.



Fig. 5.33. Imprimación antióxido y modo de aplicarla.



5.3 Ensamblado de los módulos

Se trata en este apartado el montaje del subsistema de generación, que comprende, en el caso más general, las tareas de ubicación del campo fotovoltaico, conexión y ensamblado de los módulos, e izado y fijación de los paneles a la estructura.

Ubicación del campo fotovoltaico

El lugar en el que se va a situar el campo fotovoltaico se debe determinar en la fase de diseño de la instalación. Una de las tareas iniciales, cuando no la primera, del estudio de una instalación fotovoltaica es la evaluación del emplazamiento del campo solar, lo que comprende el estudio de sombras, inclinación y orientación de los paneles, etc. Algunas de las recomendaciones o consejos prácticos que se pueden dar a este respecto, son:

- Elegir un día soleado para la evaluación del emplazamiento.
- En el análisis de la orientación del campo fotovoltaico, manejar una buena brújula (profesional), situarse en el lugar al aire libre y no apoyarla sobre ningún objeto que pueda alterar la indicación de la misma.
- La brújula debe servir para precisar, no para determinar. El instalador debe tener sentido de la orientación, lo que no resulta complicado en un día soleado y conociendo la hora. Hay que ser crítico en el análisis de los datos y no determinar la orientación si existe una discrepancia considerable entre la indicación de la brújula y las apreciaciones propias.
- Una vez conocidas las dimensiones de la estructura, es conveniente delimitar y señalar el perímetro de la misma, lo que facilitará su posterior montaje. Si la estructura se va a colocar en o próxima a un lugar accesible o susceptible de alguna modificación (el suelo, una azotea, etc.), es conveniente informar al propietario sobre el espacio que debe quedar libre de obstáculos que pueden proyectar sombras sobre los paneles.
- Generalmente, habrá más de una ubicación posible y adecuada. En estos casos deben considerarse los aspectos ya mencionados de integración, accesibilidad, etc.



Fig. 5.34. Utilización de un instrumento para la determinación de las sombras proyectadas por el entorno.

Fig. 5.35. Obsérvese la disparidad existente entre las dos indicaciones de dos brújulas idénticas situadas sobre una mesa de madera. La mesa tiene un marco metálico en la parte inferior, sin embargo la brújula que se ve afectada es la que está más alejada de este marco (la de abajo en la imagen).





Fig. 5.36. Montaje incorrecto de los paneles. Obsérvense las sombras proyectadas y el anclaje poco seguro e inestable.

Conexión y ensamblado de los módulos

Los módulos fotovoltaicos disponen de una o dos cajas de conexiones donde están accesibles los terminales positivo y negativo. Estas cajas disponen de unos orificios diseñados para admitir, en el caso más general, tanto “prensaestopas” (o más correctamente, prensacables), como tubo protector para cables. En algunos casos, los prensaestopas se incluyen ya en la caja. Hay fabricantes que proporcionan Kits de interconexión, que se componen de tubo no metálico flexible con prensaestopas en ambos extremos y ya listos para adaptarse a las cajas de conexión de sus módulos. Conviene recordar que los prensaestopas tienen una doble finalidad. Por un lado, deben asegurar que se mantiene la estanquidad en el orificio de la caja, y por otro lado, deben servir como sujeción del cable del interior. En el caso de utilizar tubo protector, este segundo aspecto queda asegurado.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.37. Elementos de un “prensaestopa” (más propiamente, prensacables). La rosca de la derecha entra en el orificio de la caja de conexión del módulo y se fija mediante una tuerca. La tapa de la izquierda asegura el prensado del cable por medio de su interior cónico (cuanto más se enrosca la tapa, más se estrechará la parte flexible del prensaestopas).

Los prensaestopas no admiten cables o conductores de cualquier sección, sino que son específicos para un estrecho rango de la misma.

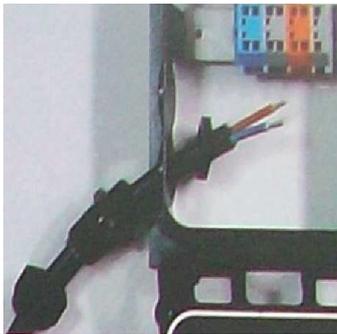


Fig. 5.38. Detalle de la caja de conexión de un módulo fotovoltaico. Obsérvense las distintas partes del prensaestopa (sin colocar) y cómo la sección del cable utilizado se ajusta al mismo, incluso antes de prensarlo.

También conviene señalar que aunque las cajas de conexiones tengan el grado de protección apropiado (aptas para la intemperie), es una buena práctica sellar todas las juntas y orificios con algún tipo de cinta, o sustancia especial para esta función.

Uno de los errores más frecuentes en el conexionado eléctrico de los módulos fotovoltaicos es no considerar las posibles implicaciones de la forma en que éste se realiza, y limitarse a asegurar que la conexión lógica serie-paralelo sea la correcta. Obsérvense, por ejemplo, los dos esquemas de conexionado que se muestran en la **figura 5.39**. Ambos corresponden a la conexión en paralelo de cuatro módulos fotovoltaicos, pero son eléctricamente diferentes.

En el esquema de la izquierda, el conexionado en paralelo se efectúa utilizando las cajas de conexión de los módulos (tal como indican algunos fabricantes en sus manuales). Lo primero que se observa en dicho esquema es que la intensidad de corriente que circula por los cables es diferente. A medida que se avanza hacia la derecha, los cables deben soportar la corriente del módulo correspondiente y la de todos los situados a su izquierda. Cuanto más módulos en paralelo haya pone de manifiesto una instalación inadecuada, o ineficiente, que puede resultar un cableado de sección uniforme en el campo fotovoltaico (que es lo usual), con el que se corre el riesgo de un infradimensionado en ciertas secciones del cableado, o al contrario, un sobredimensionado no necesario.

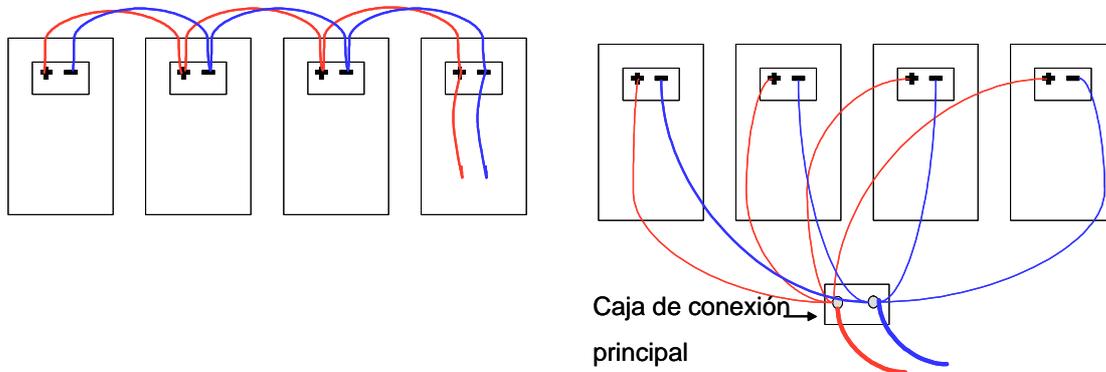


Fig. 5.39. Dos esquemas eléctricamente diferentes de conexionado de módulos FV en paralelo.

Por otro lado, un posible problema en un módulo, puede afectar a todos los situados a su izquierda (en este esquema), hasta el punto de que la corriente del campo fotovoltaico puede depender del buen funcionamiento del módulo (y sus conexiones) situado más a la derecha. Por último, y relacionado con lo que se acaba de decir, cabe destacar la poca flexibilidad del esquema de la izquierda, con el que no es posible desconectar (para mantenimiento, sustitución, etc.) las distintas ramas en paralelo sin interrumpir con ello la corriente de otras ramas del campo fotovoltaico.

Con el esquema mostrado a la derecha se evitan todos los inconvenientes descritos anteriormente, siendo para ello un replanteo del cableado y la utilización de una caja de conexión exterior principal. Conviene señalar que este esquema es obligatorio en algunos países, como Estados Unidos.



Fig. 5.40. Bloque de terminales para la conexión en paralelo de hasta 6 cables. Para la conexión en paralelo de varios cables es recomendable utilizar bloques de terminales del estilo del de la figura, diseñados para este fin.



Fig. 5.41. Caja de conexiones principal de un sistema fotovoltaico con el negativo puesta a tierra. Obsérvense el descargador de sobretensiones.

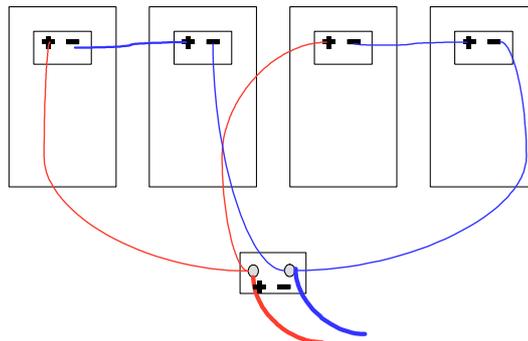


Fig. 5.42. Ejemplo de conexión en paralelo de dos filas formadas por dos módulos en serie, utilizando una caja de conexión exterior principal.

Si se van a conectar un elevado número de módulos en serie (más de diez), es una buena práctica clasificar los módulos previamente en dos o tres grupos, en función del valor de su corriente en el punto de máxima potencia, a fin de minimizar las pérdidas por dispersión.

La conexión serie-paralelo de los módulos también debe realizarse atendiendo a su colocación dentro del campo fotovoltaico. Considérese, por ejemplo, los dos esquemas de **la figura 5.43**, en los que a partir de cuatro módulos de 12 V se desea obtener una salida a 24 V.

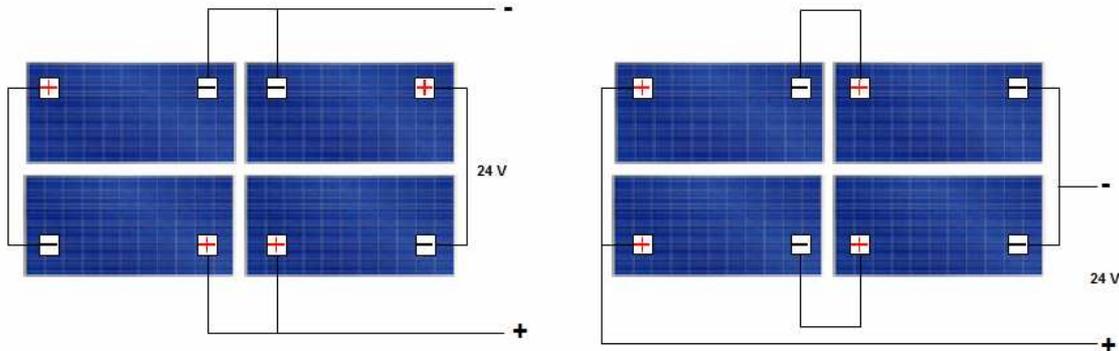


Fig. 5.43. Dos posibles maneras de interconexión de 4 módulos de 12 V para obtener 24 V (vista frontal)

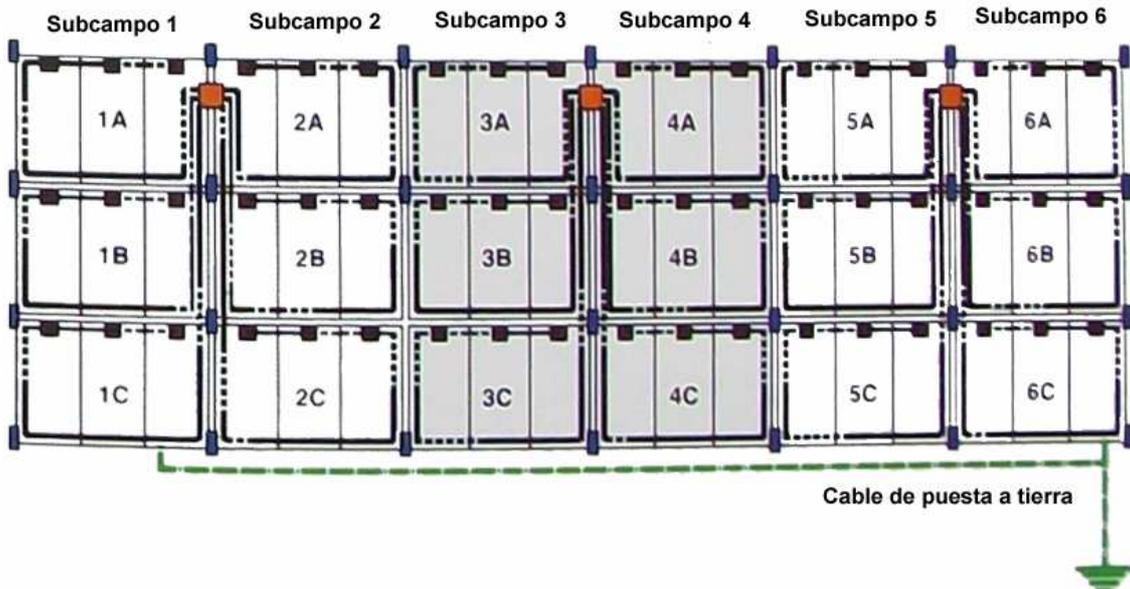
En el esquema de la izquierda, en el caso de un sombreado que anule prácticamente los módulos inferiores (más susceptibles al mismo), los módulos superiores también quedarán anulados en la misma proporción, ya que se encuentran conectados en serie con los inferiores. Sin embargo, con el esquema de la derecha, aunque los módulos inferiores no funcionasen, los de la fila superior no se verían afectados, manteniéndose así una tensión de 24 V, aunque la intensidad total del campo sería la mitad que la que se obtendría si los cuatro módulos funcionasen normalmente.

Queda, pues, patente, la necesidad de un adecuado diseño de la interconexión de los módulos. Cuando el campo fotovoltaico es de un tamaño considerable y existe una configuración serie-paralelo de cierta complejidad, el montaje de los módulos requiere el manejo de un plano o esquema donde se refleje dicha configuración, con el fin de no cometer errores y facilitar la tarea de interconexión.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



-  Caja de conexión de módulo
-  Caja de conexión en tejado
-  Soporte de estructura
-  Tubo, no metálico, flexible



Módulos en serie: 3
Paneles en paralelo por subcampo: 3
Subcampos en paralelo: 6
Total módulos: 54

Fig. 5.44. Esquema detallado de la configuración de un campo fotovoltaico.

La secuencia de operaciones a seguir durante el montaje de los módulos depende en gran medida de las características de la estructura soporte. Así, en instalaciones pequeñas, y cuando dichas características permitan acceder con facilidad a la parte trasera de los módulos, el conexionado de los mismos suele realizarse una vez fijados éstos a la estructura. En otros casos, por diseño, por comodidad o por inaccesibilidad, el conexionado de los módulos es previo a su fijación en la estructura. En estas situaciones, lo que se fija a ella no son los módulos, sino los paneles formados por el interconexionado y ensamblado de los mismos. Este ensamblado se lleva a cabo mediante unas sencillas estructuras secundarias (marcos, largueros, travesaños, etc.) que hacen la función de bastidor y que serán las que finalmente se fijen a la estructura. Por último, será necesario conectar los distintos paneles entre sí.

Durante el conexionado de los módulos debe tenerse en cuenta la presencia de tensión en sus terminales cuando incide la radiación solar sobre aquéllos, de modo que durante su manipulación se recomienda cubrir completamente los módulos con un material opaco, o apoyar totalmente su superficie acristalada sobre una superficie también opaca.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.45. Conexión y ensamblado de módulos. Obsérvense los perfiles que se fijarán finalmente a la estructura.



Fig. 5.46. Acceder a las conexiones de los módulos sin retirarlos de la estructura puede resultar, en ocasiones, una tarea difícil y poco recomendada.



Fig. 5.47. Montaje y conexión de los paneles en una estructura. A la derecha, un panel ya montado y conectado.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.48. Aspecto final, una vez montado todos los paneles en la estructura.

Izado y fijación de los paneles a la estructura

Si no es posible colocar la estructura en su posición definitiva habiendo montado ya previamente en aquélla los paneles, éstos se agruparán para ser izados (generalmente mediante medios mecánicos), hasta el lugar donde vayan a ser instalados. Tener en cuenta que aunque un módulo de 100 Wp puede pesar tan solo 5Kg y ocupar una superficie de 1m², el peso de un panel formado por varios módulos, y la superficie total ocupada, hacen que su manipulación requiera los medios mecánicos antes mencionados.

Esta operación puede resultar delicada, tanto para los paneles como para las personas. Por ello, conviene proteger los paneles para evitar golpes accidentales durante las maniobras y adoptar mas medidas de seguridad personal adecuadas.



Fig. 5.49. en muchos casos, la operación de situar los paneles sobre un tejado, o una fachada, resulta una tarea difícil y arriesgada, sobre todo si no se disponen de los medios mecánicos adecuados.

Para la fijación de los módulos a la estructura, o al bastidor que conforma el panel, se utilizarán únicamente los orificios (huecos) que ya existan de fábrica en el marco de los mismos. Nunca se deberán hacer nuevos orificios en dicho marco, ya que se corre el riesgo de dañar el módulo y el orificio practicado carecería del tratamiento superficial al que el fabricante ha sometido el marco. Si son necesarios, los orificios se efectuarán en una pieza adicional que se interpondrá entre los módulos y el cuerpo principal de la estructura. Toda la tortillería utilizada para la

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



fijación de los paneles será de acero inoxidable, observado siempre las indicaciones facilitadas por el fabricante.



Fig. 5.50. Esquema facilitado con la documentación de un módulo fotovoltaico, en el que se detalla la fijación del marco a la estructura.



Fig. 5.50.1. En el Montaje de paneles sobre estructura en tejados inclinados es conveniente comenzar por la hilera situada en la parte superior.

5.4 Instalación de la toma de tierra y protecciones

La puesta a tierra comprende tanto la puesta a tierra de los equipos (tierra de protección) como la puesta a tierra de un conductor activo (tierra del sistema). Con respecto a esta última, en algunos países como Estados Unidos es obligatorio la puesta a tierra de un conductor activo en la parte de continua (generalmente el negativo) en instalaciones donde se prevean tensiones a circuito abierto en el campo fotovoltaico superiores a 50 V, y la puesta a tierra del neutro en la parte de alterna (si existe inversor). En otros países, como España, la puesta a tierra (en instalaciones fotovoltaicas) queda al libre albedrío del instalador y los errores cometidos son bastante frecuentes.

Puesta a tierra de los equipos

Cuando se decida poner a tierra las partes metálicas expuestas (como protección contra tormentas, contra contactos indirectos, etc.) hay ciertos aspectos importantes que se deben tener bien presentes:

-Algunos módulos fotovoltaicos disponen en el marco de un orificio específico para su puesta a tierra (generalmente señalado mediante el símbolo de tierra). Esto se debe a que, generalmente, los marcos son de aluminio anodizado y este tratamiento superficial se comporta como un aislante relativamente bueno, por lo que la conexión del conductor de protección en otro taladro no sería lo eficaz que debería ser. Además, para asegurar un buen contacto eléctrico, se recomienda utilizar un terminal de conexión de acero

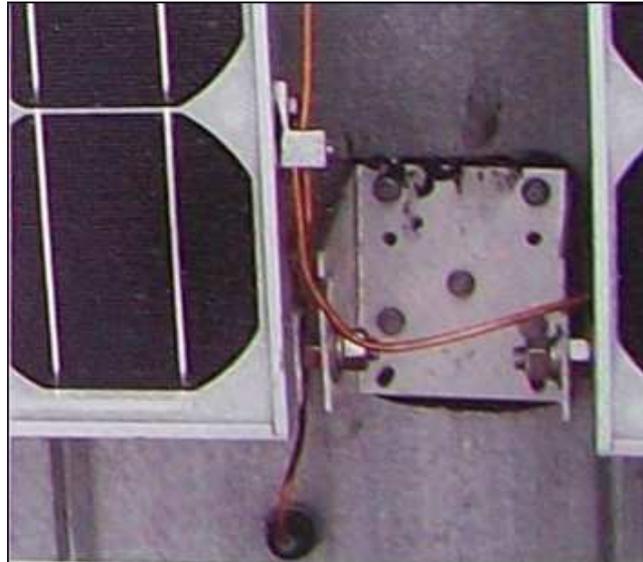
ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



inoxidable. Hay que señalar que, a pesar de lo dicho acerca del tratamiento superficial, el marco de un módulo se debe considerar como una parte metálica expuesta.

-Es recomendable que el conductor de protección no se atornille directamente al marco de los módulos, sino por medio de un terminal auxiliar, de modo que se pueda quitar un módulo (por avería, mantenimiento, etc.) sin interrumpir el tendido de tierra.

Fig.5.51 Detalle de la puesta a tierra de un módulo fotovoltaico. Obsérvense el terminal de conexión utilizado y el conductor desnudo de protección.



-La simple conexión de los marcos de los módulos a una estructura anclada en el suelo no se considera como una puesta a tierra eficaz.

-El conductor de protección de los módulos debería conectarse también a un punto de la estructura.

-Los conductores de protección deben conectarse al punto de puesta a tierra de la instalación, que a su vez se conectará al electrodo principal de tierra (generalmente de tipo pica o jabalina) a través del conductor de enlace. Cuando el campo fotovoltaico se encuentra a una distancia considerable del resto de la instalación, se recomienda instalar otro electrodo de tierra lo más cerca posible del campo, al que se conectará directamente el conductor de protección de dicho campo. Todos los electrodos de tierra presentes en la instalación deben conectarse eléctricamente entre sí.



1. Pica de acero cobreado de 14 mm de diámetro exterior y 2 m de longitud.
2. Conductor de enlace, Cu desnudo, enterrado a 80 cm y de 35 mm² de sección.
3. Punto de puesta a tierra.
4. Línea principal de tierra. Cu, PVC 1x16mm² bajo tubo.
5. Línea de tierra del campo FV. Cu, PVC 1x2,5 mm² bajo tubo.
6. Circuito interior. Cu, PVC 2x1,5 mm² + 1x2,5 mm² de protección bajo tubo.

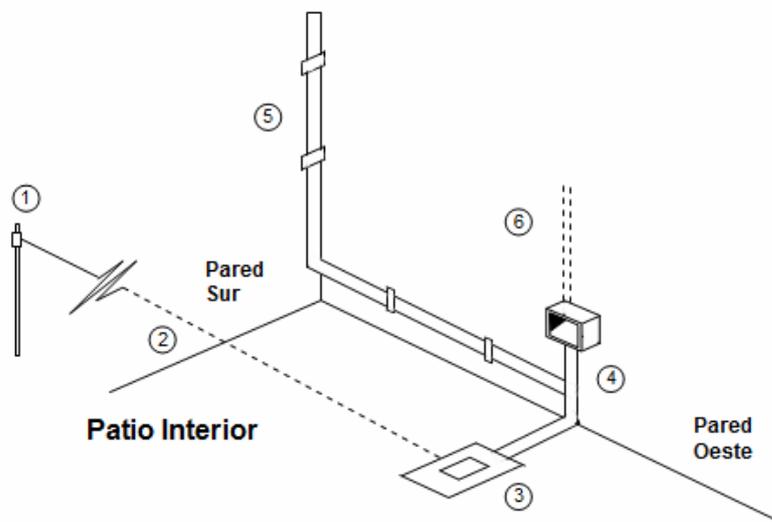


Fig. 5.52. Ejemplo de la instalación de puesta a tierra.

-Las secciones de los conductores de protección y de enlace, y las características de los electrodos de tierra (dimensiones, conexiones, etc.), cumplirán lo prescrito en los correspondientes reglamentos electrotécnicos de baja tensión.



Fig.5.53. Terminales de conexión usuales en la puesta a tierra.

-El conductor de protección del campo fotovoltaico debería ser desnudo, o ir protegido bajo tubo, ya que la cubierta verde y amarilla, usual en este tipo de conductores, no es apropiada para el tendido a la intemperie.



5.5 MONTAJE DE LA BATERÍA DE ACUMULADORES

En un sistema fotovoltaico autónomo, el montaje del subsistema de acumulación comprende dos aspectos principales con los que el profesional debe estar familiarizado y conocer sus técnicas e implicaciones: la ubicación y el conexionado.

Ubicación de los acumuladores

Comprende, a su vez, tres aspectos importantes: la manipulación, las características del lugar que albergará los acumuladores y su colocación.

Si se echa un vistazo a un catálogo de elementos de **2 V** de plomo-ácido (sean de electrolito líquido o de tipo gel), se observará que para capacidades en torno a los 1000 Ah, su peso ronda los 50 kg, llegando a pesar más de 200 kg cuando dicha capacidad alcanza los 4000 Ah. Capacidades como éstas, del orden de miles de Ah, son usuales en instalaciones fotovoltaicas autónomas de electrificación doméstica y otras aplicaciones de características similares en cuanto a consumo y autonomía. Así pues, el transporte y la manipulación de las baterías pueden requerir la existencia de medios materiales y técnicos adecuados para dichas tareas.



Fig. 5.54. Las soluciones adoptadas para el transporte y manipulación de las baterías pueden ser muy diversas y variopintas e inseguras.

El lugar donde se alojen las baterías (sala, caja, contenedor, armario, etc.) debe tener unas características muy concretas:

-Seco, fresco y protegido de la intemperie: es muy importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre la capacidad y la vida de las baterías.

-Provisto de ventilación adecuada: recuérdese también la necesidad de evacuación de los gases desprendidos durante los procesos de carga de baterías no selladas.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



-Suficientemente alejado de aparatos que puedan provocar chispas o llamas: en relación con lo anterior.

-De acceso restringido: puerta, tapa, etc.

-Con las señalizaciones pertinentes: “peligro eléctrico”, “prohibido fumar”, “material corrosivo”, etc.

Como se puede observar, no siempre será posible encontrar un lugar así en una vivienda y menos aún en una zona sin edificaciones alrededor, siendo necesario la adecuación de otro lugar, la construcción de uno nuevo, o la utilización de elementos específicamente diseñados. Lamentablemente, en algunas ocasiones esto no se hace y se opta por la colocación de las baterías en el lugar “menos malo”, generalmente con la idea equivocada, entre otras, de que unas cuantas baterías no entrañan un riesgo considerable y que las condiciones ambientales no les afectan en gran medida.

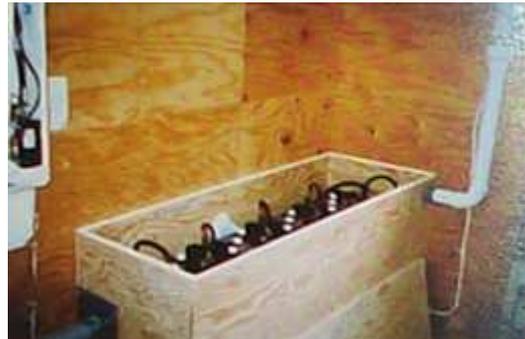


Fig. 5.55. Contenedor de baterías hecho a medida. Obsérvese el conducto de ventilación que parte de la esquina superior de la caja y sale al exterior. Este conducto dispone de un ventilador que se acciona automáticamente cuando la tensión en las baterías alcanza el valor correspondiente al gaseo.

Cuando se coloquen en un local o sala, las baterías deben estar aisladas eléctricamente del suelo por medio de una estructura (bancada) que suele ser de madera o metálica y resistente al ácido. La superficie del local debe soportar, de forma estable, el elevado peso que puede llegar a tener todo el sistema (bancada y baterías), y la colocación de las baterías. Esta colocación debe llevarse a cabo teniendo en cuenta el interconexionado final, de modo que la situación relativa de los distintos bornes debe respetar su diseño.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.56. Baterías colocadas sobre una bancada. Obsérvese cómo el espacio que existe entre la bancada y el suelo permite las posibles operaciones de limpieza de éste.

La sala de baterías suele albergar también al resto de los elementos de la instalación fotovoltaica (excepto los paneles, claro).

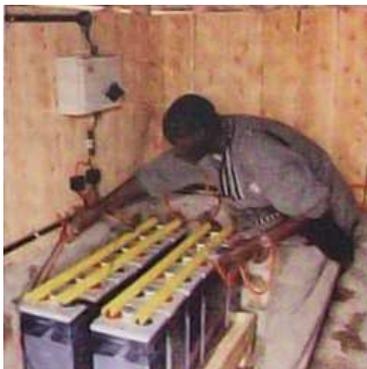


Fig. 5.57. En esta foto se observa que las baterías no permiten acceder de forma cómoda a los elementos colocados en la pared. Además, la manipulación de estos elementos puede provocar caídas de objetos sobre la baterías (con riesgo de daños materiales y cortocircuitos) y chispas peligrosas.

Conexionado

Al igual que sucede con los módulos fotovoltaicos, en el conexionado de las baterías hay que tener en cuentas ciertas consideraciones que van más allá de la propia configuración lógica serie-paralelo.

Los bornes de las baterías están diseñados para que su conexión se lleve a cabo mediante terminales específicos para baterías, sean de tipo estándar, mediante pletinas, u otros diseños particulares. El propósito de estos terminales es proporcionar un contacto eléctrico eficaz, seguro, fiable y duradero.



Fig. 5.58. Baterías conectadas según el esquema de carga cruzada y con cableado de ecalización (los cables de menor longitud)

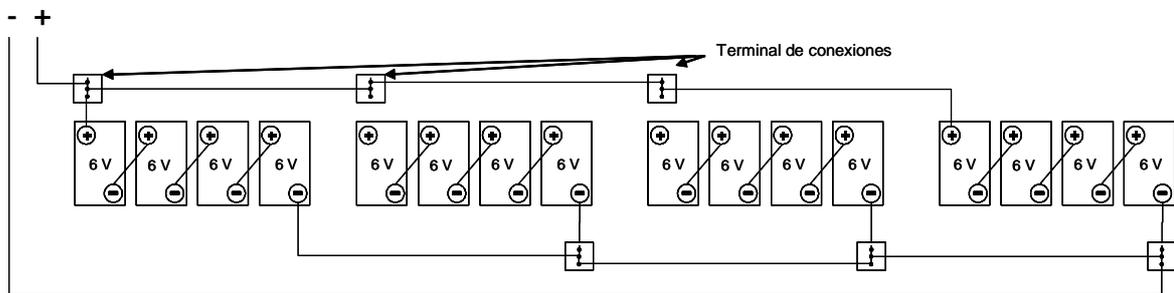
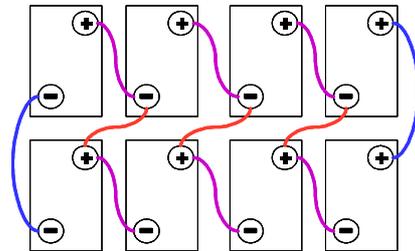


Fig. 5.59. Esquema de conexionado de un subsistema de acumulación formado por cuatro contenedores independientes, con cuatro baterías de 6 V cada uno. Obsérvese el conexionado en serie dentro de cada contenedor y el conexionado en paralelo entre los distintos contenedores según el esquema de carga cruzada.

Si el contacto entre el terminal y el borne de la batería es importante, no menos importante es la unión entre el terminal y el cable. Es más, mientras que el ajuste de un terminal a un borne es una operación mecánica sencilla, la conexión entre el cable y el terminal puede requerir cierta técnica, experiencia práctica y el empleo de herramientas específicas.

Fig. 5.60. Estos terminales de batería disponen de medios mecánicos sencillos para su conexión con el cable. Obsérvese los tornillos y roscas dispuestos a tal efecto.

Fig. 5.60.1. Estos terminales de batería requieren operaciones de prensado y/o soldadura para su conexión con el cable.





Fig. 5.61. Detalle de la secuencia de operación de prensado de un terminal de batería de tipo atornillado. Obsérvese como el prensado se efectúa en dos puntos, entre las marcas del terminal.



Fig. 5.62. Algunas herramientas utilizadas para el prensado de terminales con cables de gran sección. En la mostrada a la derecha, el prensado se efectúa por defecto de un golpe con un martillo sobre la pieza que sobresale verticalmente.



Fig. 5.63. Además de una correcta unión cable-terminal, es necesario que dichas conexiones se protejan con fundas termo-retráctiles con características apropiadas.

Otra práctica común, y muy recomendada, consiste en el hecho de proteger el conjunto de la conexión cable-terminal-borne con una cubierta protectora que impida el contacto humano accidental con partes activas (bajo tensión) y los contactos accidentales entre bornes causados por útiles metálicos y otros cables.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.64. Ejemplo de funda protectora para la conexión de la batería



ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.65 Obsérvense los protectores de los bornes y la falta de ventilación en la caja, que debería permanecer abierta durante la carga de la batería.

En cuanto a los cables de interconexión de las baterías, debe evitarse que su conexión con los bornes suponga un esfuerzo o tensión que provoque su movimiento en caso de desconexión accidental, o intencionada, con el riesgo de producirse cortocircuitos de consecuencias fatales. Es muy recomendable que antes de la conexión el cable pueda adoptar de forma estable la posición que tendrá una vez conectado. Los cables de gran sección suelen ser relativamente poco flexibles y conviene es elegir un cable con la flexibilidad adecuada, como los utilizados en soldadura.



Fig. 5.66. Obsérvense la geometría lineal de los cables de interconexión de las baterías, no sometidos a esfuerzo. En el supuesto de que se alterase la disposición de las baterías, los cables de interconexión podrían resultar inadecuados. Obsérvense también la ausencia de fundas protectoras en las conexiones.



Fig. 5.67. Una forma alternativa es utilizar contenedores plásticos para proteger las baterías. Se realizarán unas perforaciones para pasar los cables, finalmente se tapanán con los respectivas tapas de los contenedores.



Fig. 5.68. ejemplos de salas de baterías.



5.6 Montaje del resto de los componentes

Se agrupan en este apartado todos aquellos elementos que realizan funciones de control, acondicionamiento de potencia, monitorización, desconexión, protección, etc. El montaje de estos elementos obedece a los mismos criterios y consideraciones prácticas (cuando sean de aplicación) que los que se han mencionado en capítulos anteriores. Algunos componentes específicos como reguladores de carga, inversores y otros, tienen sus propios manuales de instalación, cuyas instrucciones e indicaciones, por escuetas que sean deberían seguirse al pie de la letra. En el mejor de los casos el profesional encontrará en estos manuales toda la información necesaria sobre como realizar el montaje del componente (esquemas de despieces, herramientas, recomendaciones, etc.). Cuando no sea así, la mejor herramienta del profesional será su experiencia.

Herramientas

Muchas de las operaciones que se llevan a cabo en una instalación fotovoltaica son similares a las de una instalación eléctrica convencional. Por tanto, el equipo de herramientas del profesional que ejecuta el montaje de una instalación fotovoltaica es, básicamente, el mismo que el de cualquier electricista que trabaja en instalaciones de baja tensión. La descripción del manejo y aplicaciones de cada una de las herramientas que actualmente existen para efectuar instalaciones eléctricas, podría ser objeto de un curso aparte.

No obstante, es preciso insistir en la conveniencia de haber practicado suficientemente con las herramientas básicas, siguiendo fielmente las instrucciones y recomendaciones sobre su utilización que el manual de uso de las mismas proporciona. Se debe elegir siempre marcas de primera calidad, no debiéndose escatimar a la hora de adquirir el equipo. La destreza en el uso de toda herramienta solamente se logra tras muchas horas de utilización, pero siempre que sea posible es muy recomendable asistir a algún taller o curso práctico impartido por expertos.

Nunca debe subestimarse la correcta elección de, por ejemplo, un alicate adecuado para el trabajo que se pretende hacer (regulable, de carraca, etc.) o del pelacables idóneo para cada tipo de cable o grosor de éste. Incluso herramientas tan comunes y simples como pueden ser la navaja de electricista o una llave fija, requiere utilizarse apropiadamente si se desea trabajar con eficiencia y reducir el riesgo de accidentes.

En la figuras **Fig. 5.69 a 5.73** se pueden observar algunas herramientas y equipamiento de uso común en montajes fotovoltaicos.



Fig. 5.69. Pelacables autoajustable. Accionado con una sola mano, puede pelar y eliminar aislamiento de cables de hasta 10 mm².

Fig. 5.70. Pelamangueras con ajuste de cuchilla para aislamiento de hasta 3 mm de espesor. Permite eliminar el aislamiento de cables muy gruesos.



Fig. 5.71. Cortacables capaz de realizar el corte en situaciones difíciles, como en el caso de cables que estén pegados a una pared.



Fig. 5.72. Equipo para electricista desplegado, y típico maletín de herramientas.

Aca: 0 a 1000 A
Acc: 0 a 1000 A
Vca: 0 a 600 V
Vcc: 0 a 600 V
R: 0 a 400 Ω



Fig. 5.73. Pinza amperimétrica de verdadero valor eficaz con multímetro

Evaluación de las dificultades para ejecutar el tendido de las líneas

A veces es preciso sacrificar la elección del camino o recorrido ideal del cableado para salvar dificultades u obstáculos que supondría un riesgo o un encarecimiento de la mano de obra de la instalación.

Si el cableado va a sujetarse en paramentos, habrá que comprobar que éstos presentan la consistencia suficiente para el firme asentamiento de los tacos (tarugos) de sujeción, ya que un problema frecuente en paredes antiguas es la falta de agarre y la tendencia al desconchado y desmenuzamiento de los morteros y enfoscados.

Para verificar la consistencia hay que rayar la superficie de la pared con un clavo o un destornillador. Si la ralladura realizada es únicamente superficial, es probable que el soporte sea consistente.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Asimismo, la adherencia de los alicatados se puede verificar mediante sondeo con un martillo o espátula.

Frecuentemente, las canalizaciones de los tubos por donde van los cables deben discurrir bajo el suelo, y en caso se debe prever el sobrecoste de los trabajos de albañilería necesarios, el cual nunca suele ser bajo.



Fig. 5.74. Apertura de un paso bajo el pavimento por el que discurrirá el (caja) de registro cableado.

Se recomienda prever el uso de un lubricante en gel para el tendido de cables bajo tubo. Este lubricante, debido a su bajo coeficiente de fricción, facilita la introducción y desplazamiento de los cables por el interior del tubo, generalmente de material plástico, que contiene y protege a los conductores eléctricos.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.75. Aplicación del lubricante para el tendido de los cables.

Consideraciones prácticas

Como ya se dijo anteriormente, todos los elementos principales de una instalación fotovoltaica (a excepción de los paneles) se suelen colocar en una sala o recinto común, lo que favorece enormemente las labores de control, supervisión, inspección y mantenimiento de la instalación. El montaje de dichos elementos se debe realizar de forma lógica y ordenada, cuidando que éstos no constituyan un desorden que sólo el operario que haya efectuado el montaje puede comprender. Hay fabricantes que ofrecen soluciones de montaje integradas, de modo que el profesional sólo debe preocuparse de encontrar la ubicación más adecuada de un panel o de un equipo compacto, puesto que la tarea de colocación, interconexión y anclaje de los componentes viene ya especificada por el propio fabricante.



Fig. 5.76. Ejemplo de montaje integrado. Los elementos de regulación, acondicionamiento y desconexión se montan sobre un mismo panel.



Fig. 5.77. Solución compacta y portátil que integra el regulador, el inversor, los interruptores automáticos y la monitorización en un mismo contenedor, diseñado específicamente por el fabricante

Una práctica muy recomendada es identificar adecuadamente todos los elementos de desconexión, sobre todo cuando la ubicación de los mismos dificulta dicha tarea. Del mismo modo, se recomienda la utilización uniforme de colores en todos los cables de igual polaridad

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



(incluidos los del campo fotovoltaico), de forma que ésta se pueda identificar fácilmente y sin riesgo de confusión. Cuando dicha uniformidad no sea posible, una solución válida podría ser marcar con cinta aislante de color los dos extremos de todos los cables de una polaridad (por ejemplo, marcar con cinta roja los extremos de todos los cables positivos y dejar los negativos sin marcar).

Fig. 5.78. Vista del conexionado interior de un elemento que alberga los dispositivos principales de protección y desconexión. Los cables de mayor sección corresponden al circuito batería-inversor. Obsérvese el marcado del cable positivo en los extremos del fusible de dicho circuito. Obsérvese también el shunt (a la derecha del extremo inferior de dicho fusible) interpuesto en el cable negativo, y el descargador de tensión (abajo-izquierda).

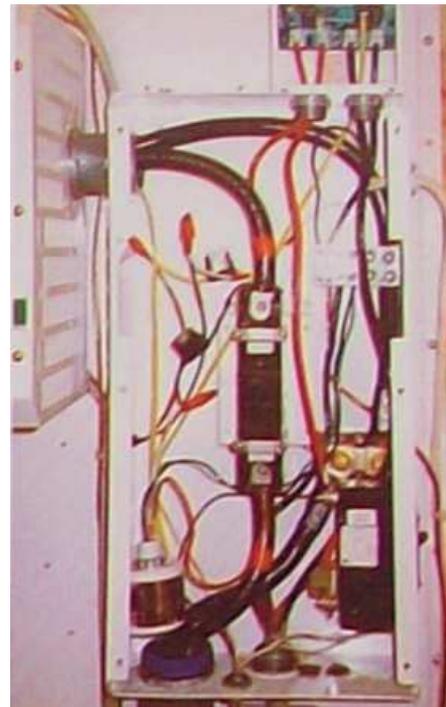


Fig. 5.79. A la izquierda se muestra el tipo de fusible (en línea) seleccionado por el profesional para realizar una operación indicada en el manual de instrucciones de un aparato de monitorización, que simplemente decía “coloque un fusible de 1 A y fusión rápida próxima a la conexión del cable positivo con la batería”. A la derecha se muestra el fusible montado y conectado.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



El marcado identificativo de los cables debe realizarse en el momento adecuado y, en ocasiones, no sólo atendiendo a su polaridad, sino también al circuito al que pertenecen. Resultaría un gran trastorno, por ejemplo, disponerse a cablear un regulador de carga y encontrarse con un tubo por el que simplemente salen cuatro cables negros. El cableado bajo tubo, aun siendo recomendado y en cierta longitud, puede dificultar la identificación de los cables, provocando en el peor de los casos, si no se toman las precauciones necesarias, equívocas de consecuencias fatales.

El profesional debe conocer a fondo los distintos elementos y sus variantes o modelos, a fin de poder adoptar la solución más adecuada en cada caso. Esto resulta especialmente ventajoso a la hora de llevar a cabo operaciones poco o nada específicas en las instrucciones de montaje facilitadas por el fabricante. En muchos casos, los manuales de los aparatos se limitan a detallar las características técnicas de los mismos, incluyendo, si acaso, un diagrama ilustrativo de las conexiones con otros elementos. Esto obliga al profesional en fotovoltaica a conocer y dominar las distintas técnicas y operaciones correspondientes a instalaciones eléctricas convencionales.

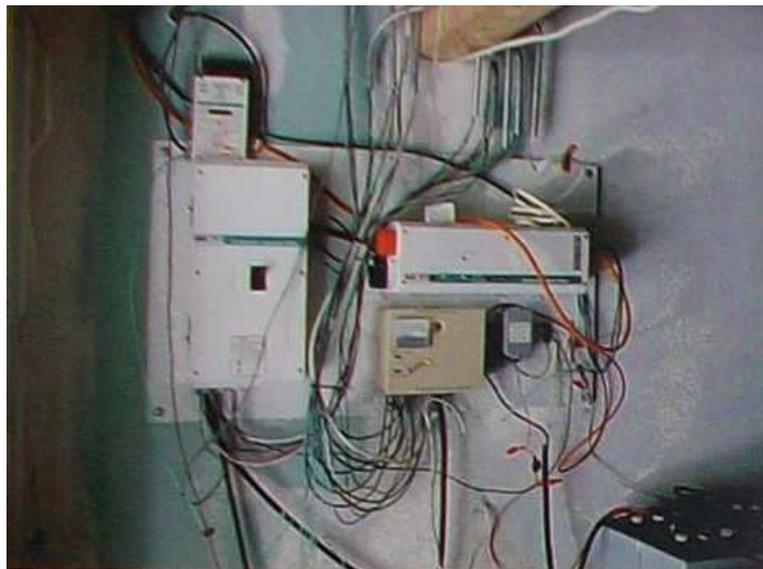


Fig. 5.80. Un cableado descuidado y desorganizado no sólo repercute en las tareas de montaje y operación del sistema, sino también en el resultado estético de dicho montaje, que en ocasiones puede resultar incluso agresivo.

5.7 PRUEBAS FINALES Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO

La instalación completa de un sistema fotovoltaico comprende tanto el montaje de los diferentes subsistemas, como su comprobación y puesta en funcionamiento. En el caso más general, una instalación fotovoltaica autónoma bien podría llevarse a cabo siguiendo

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



una secuencia lógica y ordenada de operaciones de montaje y comprobación similar a la descrita en el diagrama de flujo de la figura 5.81.

MP: Montaje de los paneles.
MB: Montaje de las baterías.
MR: Montaje del regulador.
MI: Montaje del inversor.
CP: Comprobación de los paneles.
CB: Comprobación de las baterías.
CR: Comprobación del regulador.
CI: Comprobación del inversor.

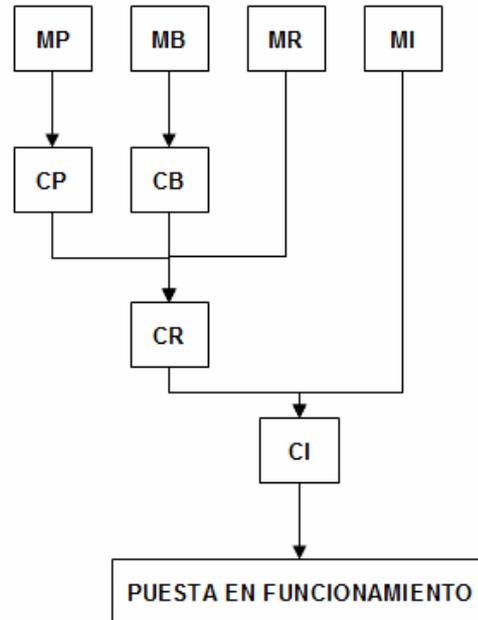


Fig. 5.81. Ejemplo de flujo de operaciones de una instalación fotovoltaica autónoma.

La interpretación de este diagrama de flujo es muy sencilla e intuitiva. Para poder realizar una operación es necesario que se completen todas y cada una de las operaciones que la preceden. Por ejemplo, la comprobación del funcionamiento del regulador de carga no puede efectuarse hasta que los paneles y las baterías estén montados y se haya comprobado su buen funcionamiento. Este esquema podría aplicarse, además, a cada una de las operaciones mostradas en el diagrama, avanzando así progresivamente en el nivel de especificación, tanto de las operaciones de comprobación, como de las de montaje. Cuanto más complejo sea el sistema, más niveles de especificación serán necesarios para llevar a cabo su instalación de forma correcta, segura y eficiente.

Cabe señalar que el montaje de una instalación no puede darse por concluido sin haber realizado la retirada de todo el material sobrante, desechos de obra, etc. Será necesario retirar los escombros, contenedores, material de embalaje, etc. Por último, debe efectuarse una escrupulosa limpieza general de toda la zona para que ésta quede, al menos, en las mismas condiciones previas al montaje, haciendo uso, si fuese preciso, de productos limpiadores apropiados.

También hay que hacer hincapié en que la puesta en funcionamiento de una instalación fotovoltaica no es una operación de “enchufar y listo”. Generalmente, será necesario que el profesional la visite en varias ocasiones, algo espaciadas en el tiempo, al objeto de poder determinar si su funcionamiento es correcto y dar así por finalizada la instalación y su puesta en marcha. Este será el punto de partida del siguiente capítulo.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.82. El técnico de la empresa instaladora explica al usuario algunas cuestiones básicas del funcionamiento de los aparatos (en este caso, de unos inversores de conexión a red), al tiempo que realiza pruebas de funcionamiento y puesta en marcha de la instalación.



Fig. 5.83. Un acabado pulcro y profesional implica necesariamente el cuidado de la estética de la instalación. La utilización de canaletas cubre-cables favorece el aspecto final.



5.8 Descripción gráfica del montaje de una instalación paso a paso

Para ilustrar gráficamente un típico proceso de montaje, a continuación se ofrece una secuencia de fotografías obtenidas durante la ejecución de una pequeña instalación autónoma para alimentación de un repetidor de telecomunicaciones.



Fig. 5.84. Las patas de la estructura, preparadas para ser atornilladas en la base de hormigón. En este caso se usarán tacos químicos.



Fig. 5.85. Detalles de la base de la estructura, una vez atornillada. Obsérvense las tuercas de nivelación (las inferiores).

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.86. La parte superior de la estructura, una vez montada



ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.87. Con una simple escalera, en este caso no resulta difícil colocar los módulos en su lugar.



Fig. 5.88. Los módulos se posicionan convenientemente, hasta que los taladros (huecos) de los marcos de aquéllos queden enfrentados con los correspondientes taladros en los perfiles en "L" de la estructura.



Fig. 5.89. Una vez atornillados los módulos, todo el panel se gira alrededor del tubo grueso hueco, que sirve de eje, hasta encontrar el ángulo indicado para cada caso, bloqueándolo en

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



dicha posición mediante el apriete de las tuercas dispuestas al efecto. Luego se continúa haciendo el mismo procedimiento en los demás paneles.



Fig. 5.90. La siguiente operación es efectuar la interconexión de los módulos, a través de sus correspondientes cajas de terminales, y agrupar los conductores en una única caja de conexión para todo el panel (situada en el apoyo izquierdo de la estructura).



Fig. 5.91. El conductor general, convenientemente protegido, se lleva desde la base de la estructura a una canalización subterránea.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.92. La instalación exterior ya está terminada. Sólo falta montar los acumuladores y demás elementos auxiliares en la caseta construida al efecto, y que también sirve para albergar los equipos de transmisión.



Fig. 5.93. Operación de descarga de los acumuladores, para la cual resulta imprescindible la utilización de los medios mecánicos.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.94. Los acumuladores, una vez montados. Obsérvense los separadores de material aislante que se colocan bajo las patas de la base.

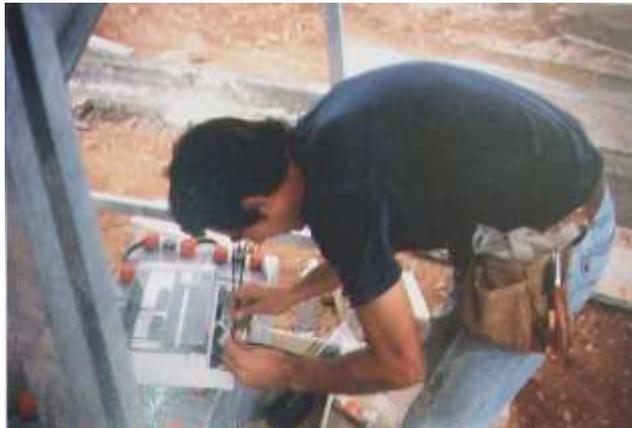


Fig. 5.94. Comprobación del regulador de carga y conexión del cableado a sus terminales.

ELECTRICIDAD GRATUITA CON PANELES SOLARES



Fig. 5.95. Los elementos de regulación y control pueden montarse directamente sobre la pared. Todos los cables se agrupan y recogen en canaletas de material plástico, lo que mejora el aspecto estético, y disminuye el riesgo de accidentes.