

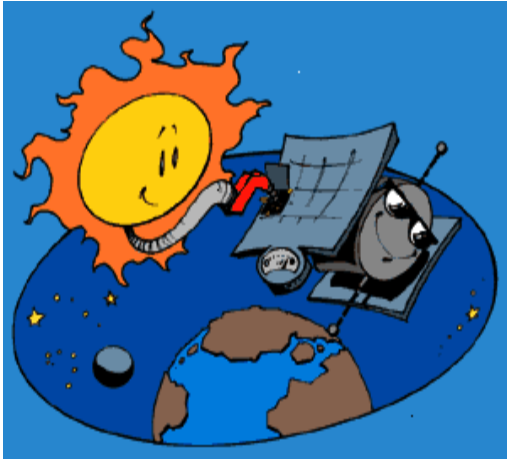
1. Presentación de energía solar fotovoltaica

1. Presentación de energía solar fotovoltaica.

1.1 Breve introducción.

1.1.1 Presentación de todas las energías renovables.

El potencial solar de España es el más alto de Europa debido a su privilegiada situación y climatología. Hacer una instalación para obtener energía solar puede ser mucho más barato y rentable de lo que se supone.



La energía solar es una de las fuentes de energía renovable que más desarrollo está experimentando en los últimos años y con mayores expectativas para el futuro. Cada año, el Sol arroja sobre la tierra cuatro mil veces más energía que la que se consume, lo que demuestra que esta fuente energética, aún infravalorada, está poco explotada en relación a sus posibilidades. El aprovechamiento de la energía solar consiste en captar por medio de diferentes tecnologías

la radiación del Sol que llega a la Tierra con el fin de emplear esa energía para diferentes aplicaciones, como calentar agua, generar energía, etc.

El uso del sol como fuente de energía no es algo nuevo, muchas culturas de la antigüedad en todo el mundo construían sus edificios basándose en la posición del astro para obtener mejores rendimientos. Sin embargo, el aprovechamiento del sol no es exclusivo de zonas con alta radiación solar.

Hoy día podemos aprovechar de diversas maneras las energías renovables:

La energía solar puede emplearse directamente para producir agua caliente para la ducha, el baño y la calefacción. Se trata de calentar el líquido en un captador solar (energía solar térmica).

Por el contrario, las células solares transforman la luz solar en corriente eléctrica (energía solar fotovoltaica).

Se prevé que la energía fotovoltaica reemplazará a las fuentes de energía convencionales, ya que debido a sus características es la que mejor se integra en los edificios. La energía fotovoltaica es una tecnología en continuo proceso de desarrollo. En los últimos años el mercado fotovoltaico ha crecido de forma espectacular.

El aprovechamiento de la fuerza hidráulica es ya tradicional. Respecto a su explotación, se distingue entre centrales hidroeléctricas acumuladoras y centrales no acumuladoras, que obtienen energía de la corriente de río o canal.

La importancia de las energías renovables ha aumentado considerablemente durante los últimos años.

Desde el 2005 hasta el año 2010 el gobierno pretende duplicar, con respecto a la del año 2000, la cuota de las energías renovables en el suministro energético. Para entonces dicha cuota sobre el consumo eléctrico bruto debe crecer, al menos hasta el 12,5%, y para el 2020 al menos hasta el 20%. A largo plazo, es decir, a mediados del siglo XXI, se deberá conseguir cubrir alrededor de un 25% de la demanda energética con energías renovables.

1.1.2 Importancia de la energía solar dentro de las energías renovables.

El sol produce energía en muchísima mayor cuantía de la que podemos usar. Con una expectativa de vida de varios miles de millones de años, se trata, además de la fuente energética de mayor duración que podamos desear.

El sol es un factor con el que también puede contarse en el centro de Europa. Incluso con las condiciones de insolación europeas, para cubrir hoy el conjunto de la demanda eléctrica mundial con energía fotovoltaica sería suficiente con una superficie de 145.000km². Eso corresponde a un cuadrado de 380 km de lado, menos de la mitad de la superficie de Alemania (375.000 km²), o tan solo el 1,5 % del área terrestre de Europa (10,5 millones de km²). Como vemos, el sol da mucho más de lo que podemos consumir.

[Base: demanda eléctrica mundial= 17600 TWh (tera=10¹²); producción de una planta fotovoltaica en el centro de Europa con el 12% de eficiencia= 120 kWh electricidad/ (m² x año)].

Muchas de las fuentes energéticas renovables tienen su origen, directa o indirectamente en el sol. Lo más lógico sería, por tanto, aprovechar la energía del sol directamente, sin pérdidas de conversión.

Sin embargo, no todas las fuentes energéticas renovables tienen su origen solar. Esto no ilustra el ejemplo de la energía geotérmica (geotermia): normalmente el sol sólo influye en la temperatura del suelo hasta los 10 o 20 metros superficiales. Así pues, a partir de profundidades de perforación de 100 m o más, las sondas terrestres apenas usan ya el calor solar. Éstas trabajan con energía geotérmica (unos dos tercios de este calor interior de la Tierra procede de la desintegración de isótopos naturales radioactivos como el uranio, el torio, el potasio y cerca de un tercio, del aporte de

calor del núcleo de la Tierra como consecuencia de las fuerzas de gravedad activas durante la génesis del planeta. El interior de la Tierra despiden constantemente un flujo de calor a la superficie por un valor medio global de $0,063\text{W/m}^2$). Tampoco la energía de las mareas tiene su origen solar: ésta surge por efecto de la fuerza de la gravedad de la luna.

Comparada con las fuentes energéticas renovables de origen no solar, la energía solar manifiesta una serie de ventajas nada despreciables:

- Con 1000 W/m^2 , la densidad máxima de potencia de la radiación global sobre la superficie de la Tierra supone un múltiplo de la de las fuentes energéticas comparables, tales como, por ejemplo, la energía geotérmica ($0,063\text{ W/m}^2$).
- Todo el mundo tiene acceso a la radiación solar. Los costes de explotación son nulos o mínimos. Una vez "enchufada", la energía fluye con costes de funcionamiento nulo o extremadamente bajo.
- La presencia de la radiación solar en nuestro planeta se corresponde en gran medida, con las regiones de asentamiento humano. Así pues, su captación y aprovechamiento pueden darse por igual sobre el terreno lo que favorece la organización de una industria energética descentralizada.
- La evolución cronológica de la radiación solar puede planificarse bien y la media anual es muy constante. Así pues, en la red internacional puede alcanzarse también una gran seguridad de suministro.
- El tiempo de amortización energética de las modernas plantas de energía solar y plantas solares térmicas está muy por debajo de su vida operativa prevista, de más de 25 años. Representan, por tanto, verdaderas fuentes energéticas y a lo largo de su vida generan ya, con el actual nivel térmico, mucha más energía de la que se precisa para su construcción.
- La explotación de la energía solar no está asociada a ninguna clase de riesgos medioambientales. Quedan, descartados los accidentes de petroleros, los reactores siniestrados u otras catástrofes causadas por el hombre.
- El aprovechamiento de la energía solar favorece la distensión internacional. Contribuye a evitar en todo el mundo los conflictos militares por los recursos fósiles y a reducir la pobreza. Ella misma carece de interés como objetivo de ataques militares o terroristas.

1.1.3 Ventajas e inconvenientes de la energía fotovoltaica.

Las **ventajas** de la energía solar fotovoltaica son numerosas. En primer lugar, son sistemas silenciosos, limpios y respetuosos con el medio ambiente, y suponen un gran ahorro en el traslado de energía, puesto que se encuentran cerca del punto de consumo. Cuando se trata de centrales fotovoltaicas, se requiere poco tiempo para su construcción, cerca de las localidades a las que tiene que suministrar energía. En el caso de los paneles fotovoltaicos instalados en las viviendas, éstos requieren un mínimo mantenimiento ofreciendo un gran periodo de vida útil, con lo que se amortiza en un breve periodo de tiempo. En definitiva, su uso ofrece un suministro de energía continuo y fiable sin tener que depender de las fuentes de energía convencional.

En cuanto a los **inconvenientes**, las instalaciones fotovoltaicas tienen unas limitaciones que deben llevar a sus usuarios a la moderación en el consumo y al empleo de aparatos de consumo con elevados rendimientos. Asimismo, el **precio y el gran tamaño de los paneles solares** frenan su expansión, puesto que la tecnología disponible actualmente requiere de una gran superficie de captación.

1.1.4 Cuanto aporta el sol en España y de cuánto dispongo yo.

Es cierto que las mayores insolaciones sobre la Tierra se dan cerca del ecuador y en los desiertos. Allí los valores rondan los 2200 kilovatios-hora por m² y año. No obstante, además del Sahara hay también zonas de buenas insolaciones.

Gracias a su privilegiada situación y climatología, España es un país especialmente favorecido por la radiación solar (tablas I/II). Según datos del instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), la radiación solar global sobre superficie horizontal en España oscila entre los 3,2kWh por m² y día de la zona más septentrional del territorio, hasta los 5,3kWh por m² y día de la isla de Tenerife. Pero a pesar de ese elevado potencial solar, existen muy pocas instalaciones de captación solar en España, donde el ratio de superficie de captación solar térmica por cada mil habitantes está por debajo de la media europea, con sólo 8,7 m² frente a 19,9 m² por cada mil habitantes de Europa.

ZONAS	SEVILLA	ALMERÍA	BARCELONA	BURGOS	CIUDAD REAL	A CORUÑA	MADRID
Enero	73,3	79,26	58,38	49,79	67,78	46,12	59,85
Febrero	87,86	93,97	72,26	66,62	83,09	61,04	76,68
Marzo	138,42	140,87	121,88	109,91	132,60	103,78	124,33
Abril	157,48	171,77	147,66	131,27	152,72	131,52	143,33
Mayo	193,01	199,19	177,95	164,63	185,77	168,65	177,16
Junio	205,07	209,83	192,61	173,40	199,14	169,30	190,29
Julio	227,45	227,45	212,27	194,76	222,46	181,83	213,62
Agosto	204,70	205,88	185,62	173,37	199,14	166,14	190,76
Septiembre	157,57	161,11	140,14	132,47	151,95	126,56	144,57
Octubre	109,64	118,57	95,78	84,69	102,56	79,45	94,55
Noviembre	71,92	80,51	60,73	51,27	66,79	47,16	58,86
Diciembre	61,69	69,10	52,67	42,17	57,21	38,77	49,84
TOTAL	1688,54	1757,51	1520,95	1374,35	1621,52	1320,33	1523,84
Promedio	137,56	146,46	126,75	114,53	135,13	110,03	126,99

ZONAS	MALAGA	MURCIA	VALENCIA	VALLADOLID	ZARAGOZA	PALMA DE MALLORCA
Enero	77,42	66,45	64,70	55,04	56,28	68,09
Febrero	90,08	81,45	80,87	71,90	74,40	85,04
Marzo	138,42	127,68	128,00	119,12	119,43	134,45
Abril	159,81	153,05	153,59	137,69	139,15	165,83
Mayo	193,89	180,80	182,24	173,15	170,51	195,46
Junio	208,15	195,56	197,46	184,88	182,36	212,51
Julio	213,19	218,03	218,14	208,02	204,86	228,78
Agosto	207,95	195,42	194,43	185,80	181,37	203,88
Septiembre	159,93	148,12	147,53	140,73	138,37	154,90
Octubre	113,95	101,63	101,64	89,92	91,77	110,26
Noviembre	76,36	65,80	65,31	54,55	56,64	71,54
Diciembre	66,01	56,83	56,28	45,27	48,37	61,54
TOTAL	1723,18	1590,94	1590,17	1466,08	1463,50	1692,27
Promedio	143,60	132,58	132,51	122,17	121,96	141,02

Tablas I/II: radiación global promedio en 10 años por localidad (kWh/m² por mes)

País: España

Fuente: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/retscreen>

La energía fotovoltaica cuenta verdaderamente con un enorme potencial técnico en toda Europa. Combinada con otras fuentes energéticas renovables, la energía fotovoltaica puede así rendir una importante contribución al suministro energético. Y dicha afirmación no contempla siquiera los muchos efectos positivos que el atractivo de esta tecnología puede reforzar directa o indirectamente en el futuro. Entre éstos, el más previsible aumento del grado de eficiencia en los próximos años y el enorme potencial de ahorro energético que ésta representa.

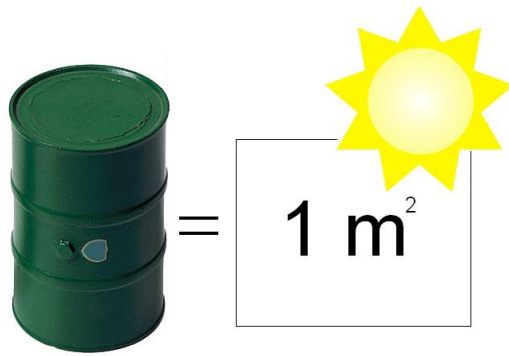


Figura: Al año, un país del norte recibe una radiación promedio de 1000 kilovatios-hora por metro cuadrado, lo que corresponde al contenido energético de 100 litro de fuel de calefacción.

1.2 La radiación solar en España: rendimientos medios de las plantas fotovoltaicas.

La posición geográfica de cada región es un factor decisivo para el dimensionado de plantas de energía solar fotovoltaica, ya que los niveles de radiación y los valores de temperatura, así como la inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos, constituyen puntos fundamentales a la hora de estimar su rendimiento anual. Esto puede verse claramente si comparamos los valores promedios mensuales de energía para una misma planta fotovoltaica de 1kWp ubicada en diferentes países (tabla III).

Valores de energía mensual promedio en kWh para una misma planta fotovoltaica de 1kWp ubicada en diferentes países.

PAÍS	España		México		Argentina		Chile		Alemania	
LOCALIDAD	Almería	Valladolid	San Luis de Potosí	Acapulco	Buenos Aires	Mar de Plata	Antofagasta	Punta Arenas	Berlin	Efringen
ENERO	100,62	72,23	118,25	142,14	165,17	152,44	169,16	147,72	27,63	42,27
FEBRERO	106,50	83,82	125,59	137,38	146,02	131,72	156,43	115,91	42,22	56,30
MARZO	138,14	119,80	160,39	160,82	142,39	131,16	157,93	98,32	69,79	83,21
ABRIL	150,74	122,54	152,70	144,61	111,24	106,44	134,91	68,43	101,25	100,74
MAYO	162,05	144,16	156,92	146,77	93,42	88,98	115,91	41,18	128,17	125,68
JUNIO	165,47	149,86	142,16	120,08	69,72	68,30	100,61	33,92	110,24	120,83
JULIO	182,34	171,64	135,78	140,01	78,58	80,47	111,58	35,30	119,32	140,78
AGOSTO	176,23	163,23	148,51	144,45	103,88	99,16	124,03	65,16	110,45	132,13
SEPTIEMBRE	153,06	137,37	133,56	125,47	114,79	101,45	140,52	89,57	78,65	102,78
OCTUBRE	127,21	100,02	138,85	146,11	136,84	131,72	162,13	125,70	59,74	72,80
NOVIEMBRE	98,29	67,34	128,50	141,24	155,70	148,13	164,30	149,22	27,43	44,09
DICIEMBRE	90,08	60,36	112,82	143,07	156,49	149,18	171,13	149,16	20,96	35,00
TOTAL	1650,73	1392,37	1654,03	1692,15	1474,24	1389,15	1708,64	1119,59	895,85	1056,61
PROMEDIO	137,56	116,03	137,84	141,01	122,85	115,76	142,39	93,30	74,65	88,05

Tabla III: Rendimiento mensual en kWh.

La radiación global anual, es decir, el contenido energético de la radiación solar acumulada a lo largo del año sobre una superficie horizontal, revela diferencias regionales; el promedio está entre 1168 kWh por m² y año en la zona más septentrional del territorio, hasta los 1935 kWh por m² y año en la isla de Tenerife. En general, en el sur de España puede contarse con una mayor radiación solar que en el norte; no obstante, en el norte hay también emplazamientos con una radiación solar promedio por encima de la media.

Una planta fotovoltaica en el norte de España generaría al menos 1100 kWh/kWp al año, y las buenas plantas en emplazamientos bien soleados, hasta los 1150 kWh/kWp al año. En el sur se alcanzarían los 1400 kWh/kWp al año. Estos datos se refieren a valores promedio obtenidos durante muchos años. A causa de la radiación, en un mismo año los rendimientos pueden diferir de estos valores en, aproximadamente, un 10% hacia arriba o hacia abajo.

Los rendimientos anuales de las plantas de energía solar manifiestan también diferencias estacionales. Debido a esto se hace referencia siempre a la producción anual y no a un mes específico, a no ser que se trate de plantas fotovoltaicas autónomas que sólo sean utilizadas en épocas concretas del año.

2. Tecnología y funcionamiento de plantas de energía solar fotovoltaica en edificación acopladas a la red

2. Tecnología y funcionamiento de plantas de energía solar fotovoltaica en edificación acopladas a la red.

2.1 La tecnología.

2.1.1 La estructura básica de una planta fotovoltaica acoplada a la red

(figura 2.1).

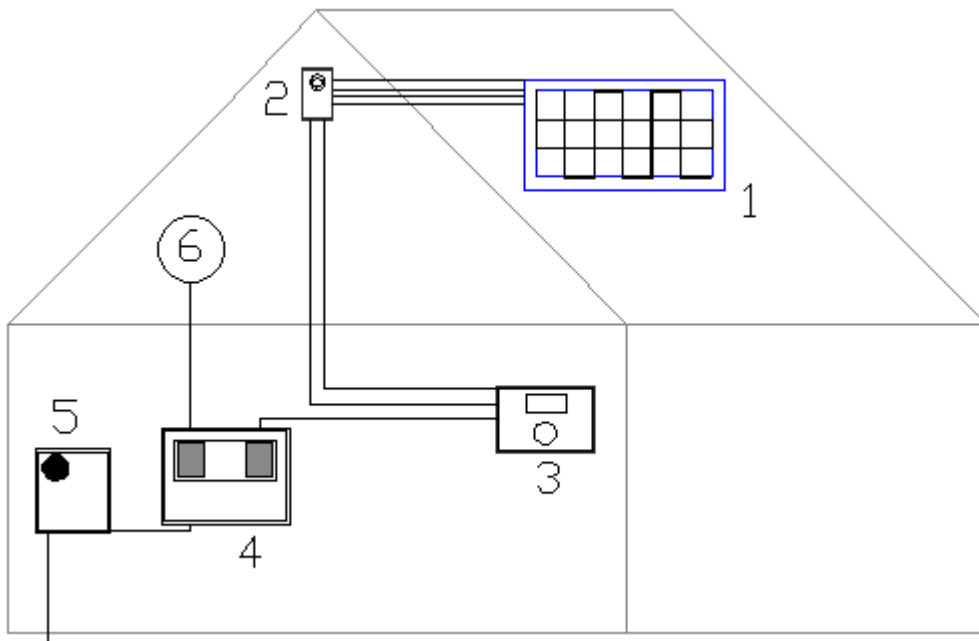


Figura 2.1: 1) Generador solar con sistema de montaje, 2) Caja de conexión del generador (CCG), 3) Inversor, 4) Contadores de energía y acometida, 5) Conexión a red, 6) Consumos.

En las células de los módulos solares se genera corriente continua gracias a la incidencia de la luz. Todos los módulos juntos interconectados constituyen el generador solar. La corriente continua así producida por el generador se recoge en la caja de conexión del generador aunque las instalaciones pequeñas se montan sin CCG y se dirige hacia el inversor por la línea principal de corriente continua. El inversor transforma la corriente continua así generada en corriente alterna y la suministra íntegramente a través de un contador de energía a la red eléctrica pública.

Los consumidores adquieren la corriente que necesitan por separado a través de su propio contador de acometida de la red eléctrica del operador de red local.

CONCEPTOS: oblea-célula-módulo-string o cadena-generador-planta FV-central FV.

Como material de partida de las células solares, se emplean finos discos de silicio de unos 0,2-0,3mm de grosor, conocidos como **OBLEAS**. A partir de las obleas en bruto se consigue, en el proceso de fabricación del módulo y en varios pasos, una

CÉLULA SOLAR. En estos dispositivos relativamente pequeñas tiene lugar el verdadero efecto fotovoltaico.

Debido a las diferentes capas semiconductoras, la incidencia de la luz provoca en la célula solar una separación de cargas que puede medirse por fuera como una diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial depende del material semiconductor y, en caso del silicio, es de unos 0,6 voltios. Para su aprovechamiento técnico esta diferencia de potencial debe incrementarse mediante la conexión en serie de muchas células solares, sobre todo para reducir las pérdidas por la línea.

En el interior del módulo se hallan generalmente conectadas eléctricamente en serie todas las células solares. En tal sentido, el número máximo de células y el voltaje del módulo está limitado para poder manejar bien los módulos. El peso y las dimensiones exteriores deben permitir su montaje en cualquier parte del edificio, incluso en condiciones difíciles. Al producto ya listo para montar se le conoce como **MÓDULO SOLAR.**

Si en el montaje de una planta FV se conectan eléctricamente en serie varios módulos solares, se habla entonces de una cadena (**STRING**) (figura 2.2).

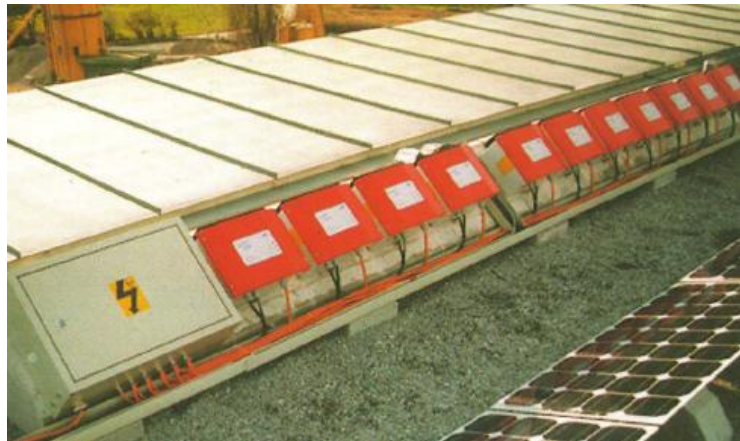
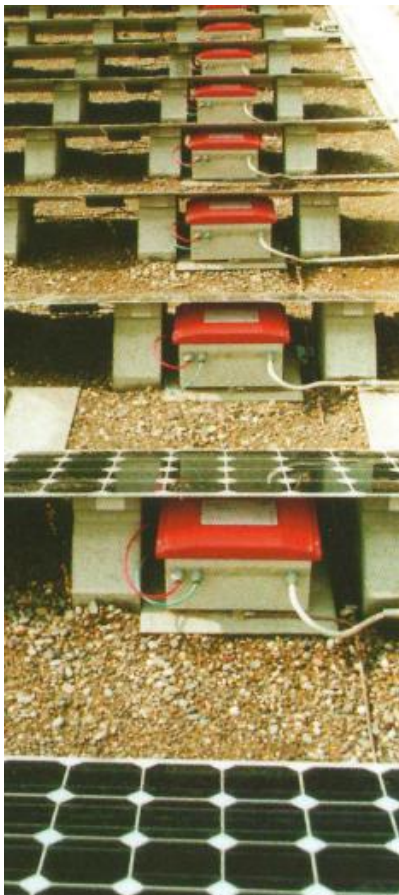


Figura 2.2: Convertidores en hilera (string converters)

Foto: Universidad de Sevilla.

Fuente: Curso de “conversión electrónica para fuentes de energías renovables”.

Mientras que en las plantas FV más pequeñas, todos los módulos se conectan con frecuencia en una misma cadena, las instalaciones mayores están formadas por un número considerablemente mayor de cadenas o string. La suma de todas las cadenas de módulos interconectadas se conoce como

GENERADOR.

La unidad funcional de todos los componentes, tales como el generador, inversor, contador y demás que se precisan para una alimentación de corriente alterna técnica y legalmente correcta a la red de suministro, da como resultado la **PLANTA FV** acoplada a la red.

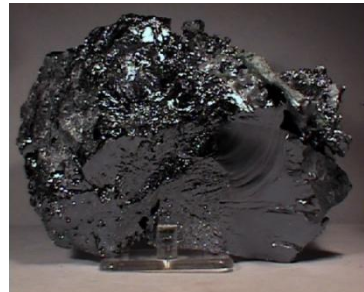
Por último, se entiende por **CENTRAL SOLAR**, a varias plantas fotovoltaicas conectadas a una unidad comunicante.

2.1.2 Estructura y modo de operación de una célula solar.

→ **Origen y fabricación de la célula:** las células solares se obtienen principalmente a partir de silicio cristalino ultra puro. El material de partida es la arena de cuarzo (SiO_2) (figura 2.3). Para el posterior tratamiento, el silicio se presenta en una forma químicamente pura (figura 2.4).



Piedra de silicio, origen del proceso.
(Figura 2.3)



Piedra de Silicio solar purificado 99,9%
(Figura 2.4)
USO SOLAR SI / USO ELECTRÓNICO NO

→ **Funcionamiento de una célula solar cristalina** (figura 2.5):

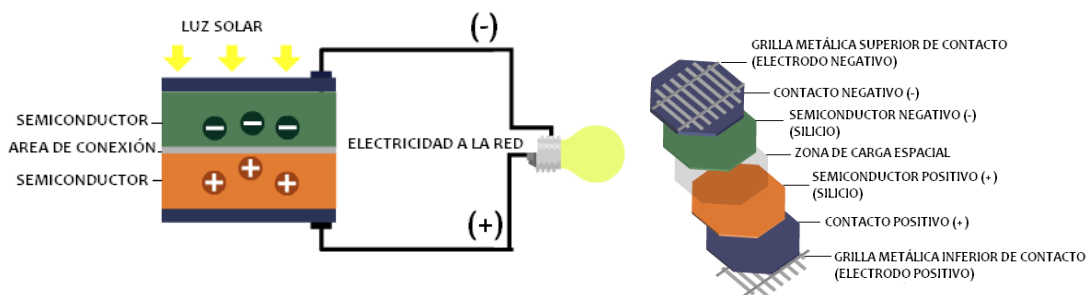


Figura 2.5: Principio de funcionamiento de una célula solar.
Fuente: Realizado por el autor.

Con una adecuada incorporación (dopaje) de átomos extraños se genera en la célula dos capas con diferentes propiedades eléctricas (positiva P y negativa N). En la interfase entre estas dos capas se forma un campo eléctrico: *zona de carga espacial*.

Al incidir la luz sobre la célula, las cargas eléctricas foto-generadas de la zona de carga espacial se separan. En las conexiones eléctricas se origina así una tensión

continua, en gran medida independiente de la radiación incidente, de aproximadamente 0,5 voltios.

2.1.3 El módulo.

Un módulo fotovoltaico está formado por varias células solares interconectadas, una protección anti-intemperie en forma de lámina de vidrio laminado, una protección contra la destrucción térmica, en forma de uno o varios diodos bypass y una opción de conexión eléctrica. La mayoría de los módulos disponen, además, de un marco, de una lámina de vidrio trasera (figura 2.6).

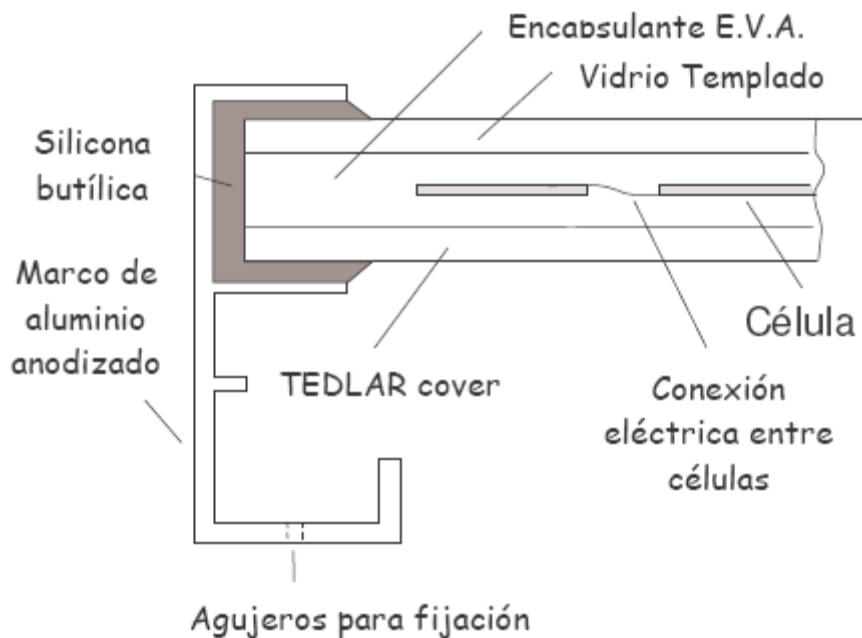


Figura 2.6: Estructura de un módulo solar cristalino en diseño de marco de aluminio.
Fuente: Realizado por el autor.

En la fabricación del módulo se interconectan eléctricamente varias células solares para lograr, ya en la salida de un módulo individual, voltajes e intensidades de corriente útiles. Las células se conectan en serie (string) para aumentar el voltaje, o en paralelo para aumentar la intensidad de corriente.

Cada cadena está protegida mediante un diodo bypass para evitar, en caso de sombreado de células individuales, daños o defectos por calentamiento excesivo, y limitar así la consiguiente merma de rendimiento de todo el módulo.

La exigencia de una buena manejabilidad del módulo limita el número máximo de células. El peso y las dimensiones exteriores deben permitir el montaje en el tejado incluso en condiciones difíciles y con pocos operarios.

Las células solares se cubren por su parte frontal con una lámina de vidrio solar endurecido y por detrás con una segunda lámina de vidrio o con una lámina de *plástico Tedlar*. (PLASTICO TEDLAR: lámina de polivinilo fluoruro, es resistente a la radiación solar, a los disolventes, a los ácidos, las bases, la humedad y la oxidación. Posee excelentes propiedades en la gama de temperatura de -70°C a $+110^{\circ}\text{C}$ y se toleran temperaturas pico hasta alrededor de $+200^{\circ}\text{C}$ durante periodos cortos sin ningún problema.)

Para poder resistir al menos durante 25 años a la intemperie y a la humedad, las células se pegan en una capa de acetato de etilen-vinilo (Laminado EVA). Así pues, las células quedan envueltas y estancas al aire por el laminado.

Según las condiciones de montaje y estabilidad, hay módulos con y sin marco.

En la cara posterior del módulo, o en el marco, se monta una caja de conexión con diodos bypass. Los conectores protegidos contra contacto táctil y polaridad inversa facilitan mucho el montaje del módulo. Cabe destacar, que los módulos convencionales en el mercado tienen actualmente una potencia de entre 80W y 300W.



*Figura 2.7: Dos tipos de células solares y su aspecto.
Arriba insolación y mono cristalino, abajo cielo cubierto y multicristalino.
Potencia máxima de 1kWp.
Foto: Realizada por el autor.*

2.1.4 El inversor.

2.1.4.1 Tecnología de los inversores.

Un inversor es capaz de convertir la energía de corriente continua en energía de corriente alterna con grados de eficiencia entre el 85% y el 92%.

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente directa a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

2.1.4.2 Estructura y funcionamiento de un inversor acoplado a la red.

El inversor transforma la corriente continua entregada por el generador solar en corriente alterna monofásica a 230 V de tensión nominal o, en el caso de grandes instalaciones, en corriente alterna trifásica a 400 V de tensión nominal.

Los inversores se ofrecen en muchas clases de rendimiento. Según el diseño de la instalación de una planta FV, se distingue entre inversor *central*, inversor *en cadena* o de *multicadena* e inversor *de módulo* (figura 2.8).

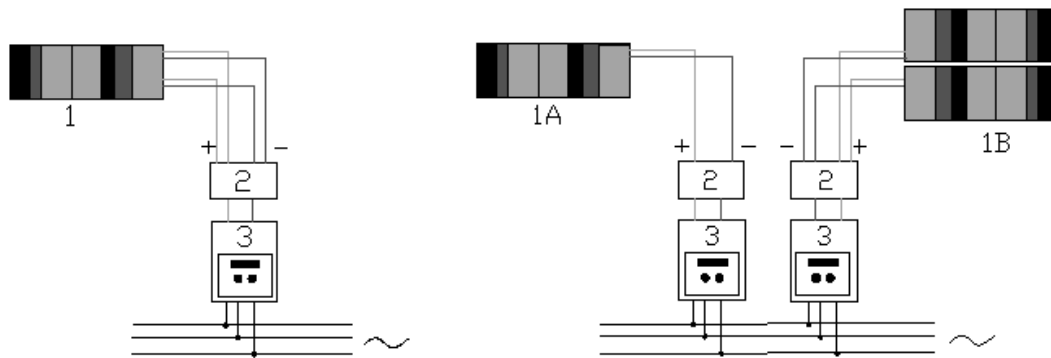


Figura 2.8: Planta fotovoltaica con un inversor central (izquierda) o con varios inversores (derecha).
1) Generador, 1/B Subgenerador, 2) Caja de conexión del generador (CCG), 3) Inversor.

Fuente: Elaborado por el autor.

Todos los inversores tienen como mínimo las funciones “optimizar”, “convertir” y “monitorizar”.

- La optimización del rendimiento de la planta según el estado de insolación mediante la búsqueda de aquel punto de operación de la curva característica del generador con la máxima potencia para la instalación. Este punto se conoce como MPP.
- La conversión de la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna conforme con la red, y la transformación de voltaje a nivel de alimentación a la red de suministro local.
- Los dispositivos de supervisión y protección para el cumplimiento de las directivas y disposiciones aplicables como la “directiva para la operación en paralelo y en red de plantas auto generadoras” del real decreto 1663/2000.

2.1.4.3 Requisitos técnicos de un inversor:

- Producción de una alimentación eléctrica similar y compatible con la red.

- Rápida y exacta detección y seguimiento del punto de operación (regularización MPP) con la máxima producción de potencia.
- Alta eficiencia en funcionamiento, incluso en régimen de carga parcial.
- Funcionamiento completamente automático, sencillo control operativo e indicación de fallos.
- Fiable funcionamiento incluso con altas temperaturas ambiente, así como resistencia a la intemperie y a la temperatura.
- Opción de visualización de datos, pantalla para mostrar rendimientos, mensajes de fallo...

2.1.5 Otros componentes de la planta fotovoltaica.

→ Cables (figura 2.9):

Los cables de corriente continua de las plantas FV deben reunir los siguientes requisitos:

- Contar con protección contra corto circuito y línea de puesta a tierra.
- Ser resistentes a los rayos UV y a la intemperie con un gran rango de temperatura (-40°C y +120°C).
- Gran rango de tensión ($\geq 2\text{kV}$).
- De fácil, simple y buen tendido y manipulación.
- No inflamables, con baja toxicidad en caso de incendio, y sin halógenos.
- Escasa pérdida por conducción $\leq 1\%$



Figura 2.9: Tipos de cables solares, con doble aislamiento.

Fuente: Imágenes cedidas por Exzhellent Solar
Empresa "General Cable".

→ **Caja de conexión del generador (CCG) (figura 2.10).**

Si un generador está formado por varias cadenas reunidas de forma paralela antes del alimentador de red, se requerirá una CCG. Es necesaria una CCG para cada inversor. Además, debe cumplir una serie de funciones:

- Conexión en paralelo de varias cadenas.
- Comprobación de las cadenas.
- Protección contra sobretensión de módulos y, del inversor post-conectado.
- Fusibles de cadena para proteger los módulos solares y los cables de cadena contra sobrecarga.
- Protección contra cortocircuito y línea de puesta a tierra.
- El positivo y el negativo deben estar clara y espacialmente separados.
- Un montaje adicional de fusibles en cadena
- Un montaje adicional de derivadores de sobretensión.

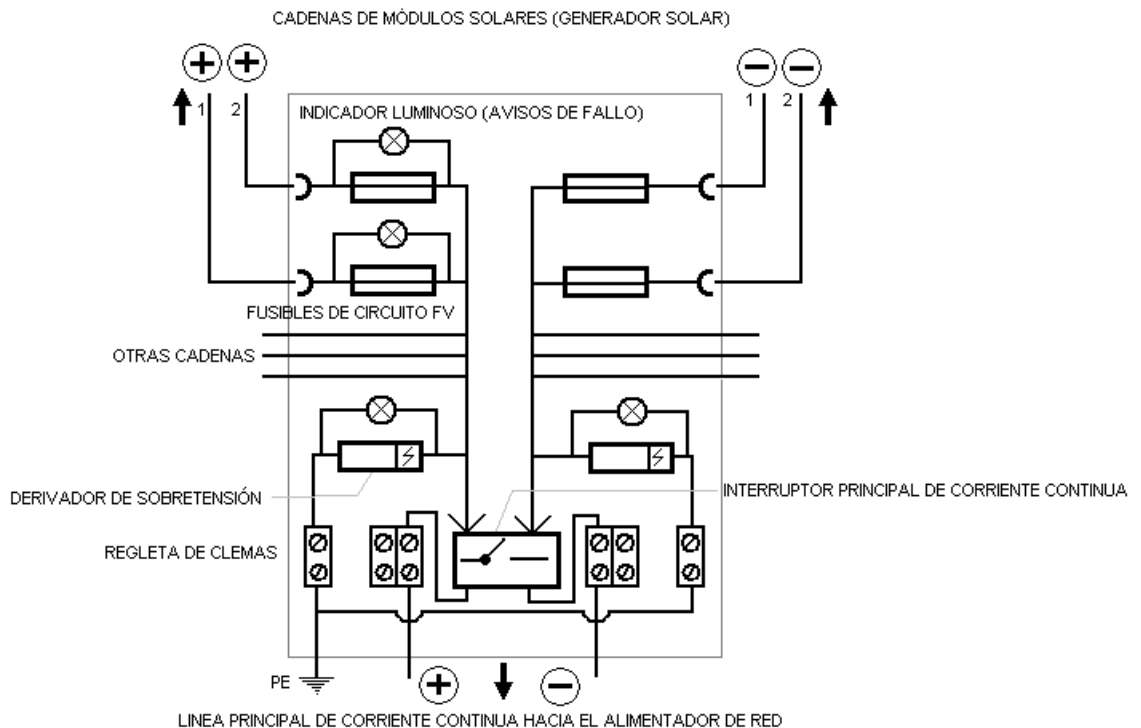


Figura 2.10: En la caja de conexión del generador pueden alojarse dispositivos de operación para las respectivas cadenas, el interruptor principal del generador y los derivadores de sobretensión.

Fuente: realizado por el autor.

→ Interruptor principal de corriente continua.

Con la incidencia de la luz, las plantas FV presentan siempre a su salida algún nivel de voltaje o tensión. Si se quiere dejar sin tensión el inversor para su instalación y mantenimiento, debe pre-conectarse por el lado del generador un interruptor principal de corriente continua. Este debe poder controlar la intensidad nominal CC del generador a plena carga. Lo ideal es que esté integrado en la CCG, siempre y cuando ésta resulte accesible. En esta ocasión se necesita de un interruptor principal de corriente continua para cada instalación.

→ Contador de alimentación.

Las plantas FV conectadas a la red precisan siempre de un contador de alimentación aparte. El tipo de contador que se emplee debe convenirse con el operador de la red de suministros. Por motivos de coste, normalmente, se emplea un contador calibrado sin bloqueo anti-retorno.

Lo habitual hasta ahora ha sido usar dos contadores conectados en serie con bloqueo anti-retorno y sentidos contrarios a medición. Además debe comprobarse que la corriente tomada por el inversor se facture a un precio distinto de la suministrada.

Esta decisión apenas tiene justificación práctica: la corriente que precisa el mismo convertidor es escasísima. Muchos aparatos no consumen siquiera corriente de la red y solo son alimentados por el generador FV.

En los contadores mecánicos el calibrado debe repetirse cada 16 años y en los electrónicos cada 8.

→ Telepantalla.

Normalmente, el inversor viene acompañado de sus correspondientes tele pantallas de grandes prestaciones. Facilita la visión desde tu domicilio, además de poder comprobar los rendimientos diarios que posee, indicación de la potencia, indicación de la producción y mensajes de fallo.

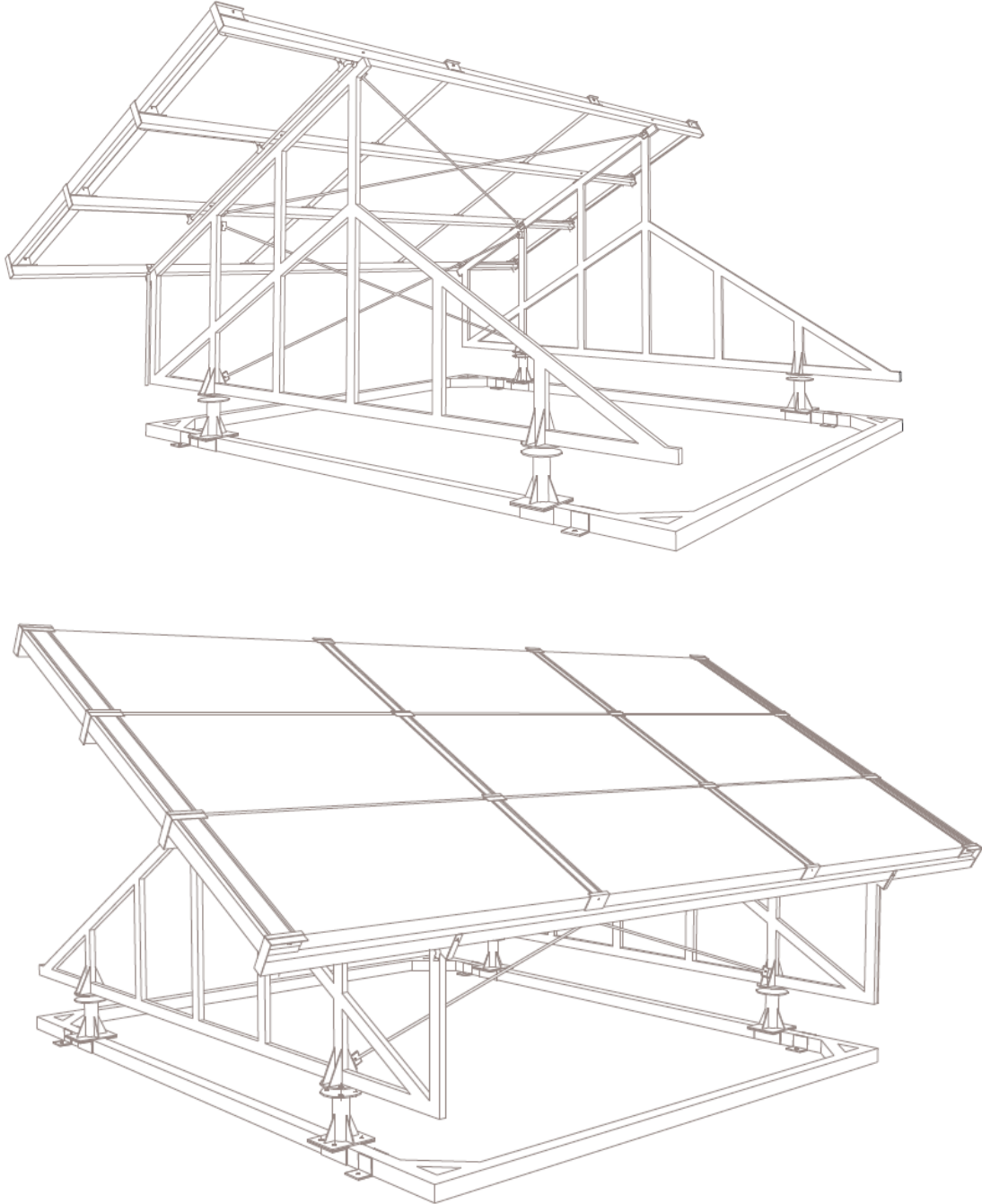
Resulta muy práctica la transmisión sin cables de los datos del inversor por radio. Así no tiene que tender ningún cable por el salón.

Algunos aparatos funcionan por "powerline" (transmisión de datos del inversor a la tele pantalla a través de la red eléctrica doméstica). No obstante, esto puede ocasionar un funcionamiento anómalo por interferencias con otros equipos electrónicos del hogar.

Finalmente la tele pantalla tiene la posibilidad de conectar varios inversores para una sola tele pantalla.

2.1.6 Sistemas de montaje (figura 2.11).

Se ofrecen sistemas de montaje para todas las variantes imaginables. Hoy día, lo más extendido es el montaje en el tejado.



*Figura 2.11: Sistema comúnmente utilizado como método de montaje en cubiertas planas.
Fuente: Detalle realizado por el autor.*

Otras variantes son el montaje integrado en el tejado, la instalación libre o el montaje en azotea, el montaje en fachada... además, existen formas especiales como

los juegos de montaje con ángulo aumentado, para tejados demasiados planos o para revestimientos especiales.

Una importante distinción es la colocación del módulo montado: se distingue entre *vertical o sobre arista corta*, cuando el lado pequeño del módulo es paralelo al canalón y *horizontal*.

Los materiales empleados normalmente suelen ser de aluminio, acero inoxidable y el zinc-titanio. El acero galvanizado en caliente es también aceptable. Es mejor que no se haga uso de acero en barra galvanizado, sobre todo en corte de fábrica o de galvanizados con posterioridad.

Los tornillos y otros materiales pequeños deben de ser de acero inoxidable o estar perfectamente galvanizados. De lo contrario se oxidarán, a menudo incluso después del montaje.

2.1.7 Protección contra rayos y sobretensión en plantas fotovoltaicas.

Las plantas fotovoltaicas están expuestas al riesgo de caídas de rayos, tanto directas como próximas. Los voltajes e intensidades así provocados generan campos eléctricos y magnéticos que puedan dañar o destruir estas instalaciones.

Existen dos paquetes de medidas para proteger un edificio y, por extensión, también la planta fotovoltaica con que éste cuente: la instalación de un pararrayos exterior y de uno interior. La misión del pararrayos exterior es la de interceptar la caída directa del rayo y reconducir la corriente del mismo a través de derivaciones y de la instalación de puesta a tierra hacia al suelo. Con el pararrayos interior se reduce el riesgo para el edificio derivado de las sobretensiones. *(Ver tablas IV/V)*

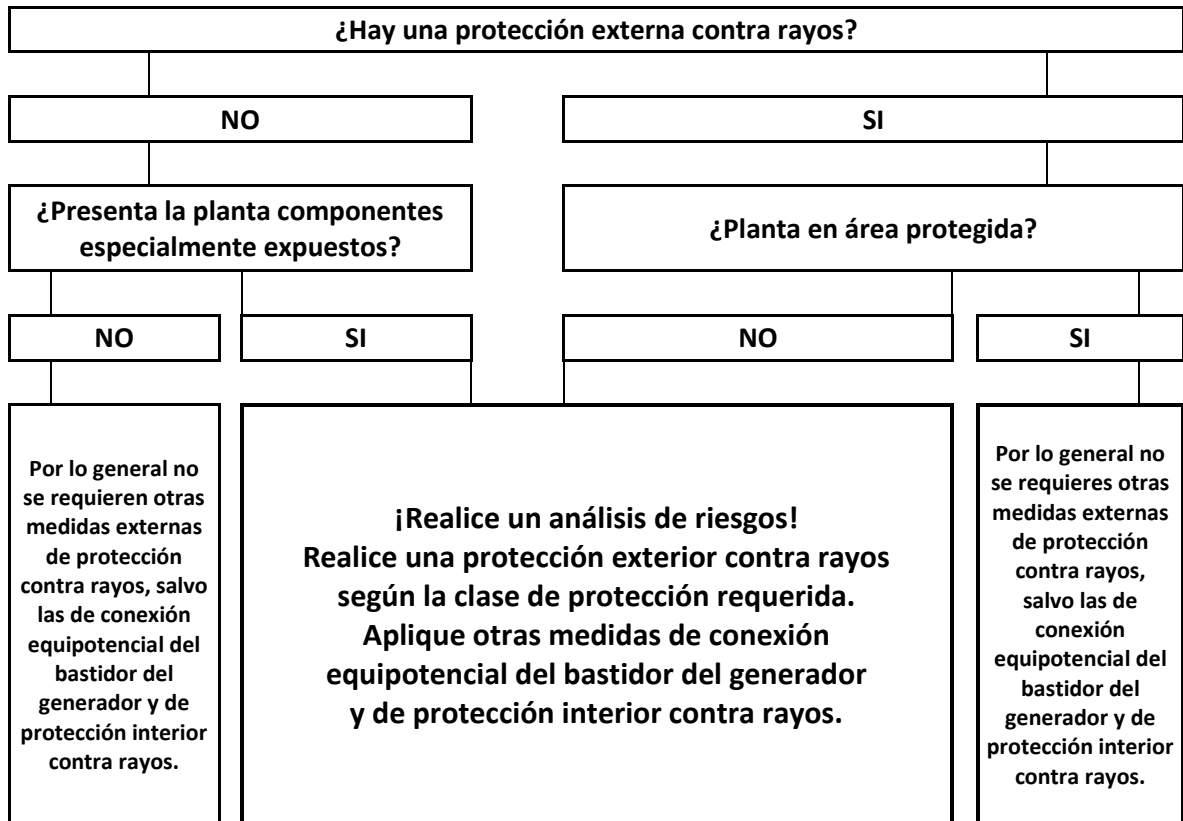


Tabla IV: Matriz de decisión simplificada para pararrayos exterior.

Fuente: "Fotovoltaica para profesionales".

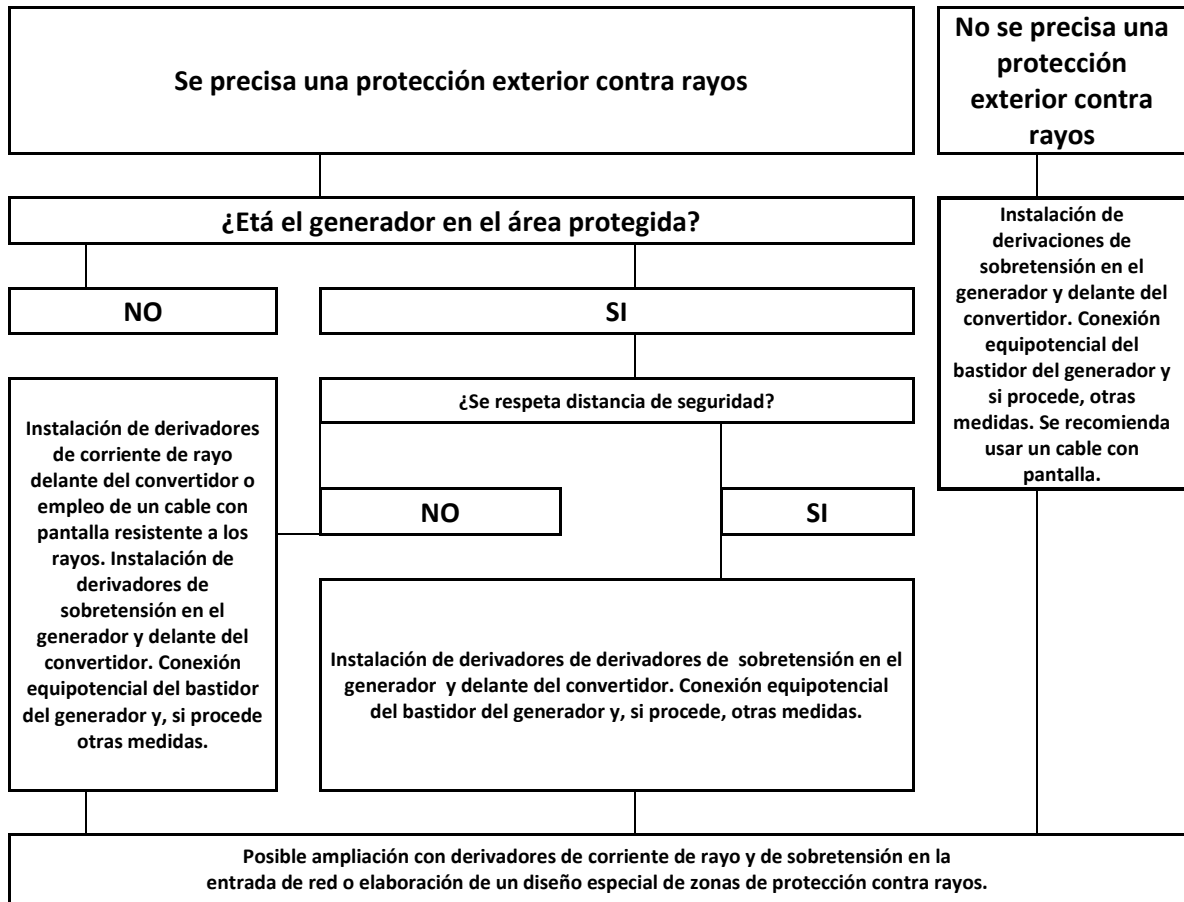


Tabla V: Matriz de decisión simplificada para pararrayos interior.

Fuente: “Fotovoltaica para profesionales”

2.1.8 Protección contra incendios.

En las labores de extinción de un incendio en una planta fotovoltaica las personas están expuestas al riesgo de descarga eléctrica mientras los módulos solares sigan recibiendo suficiente luz solar. En este sentido, se considera suficiente incluso la luz diurna difusa en días grises y encapotados.

Así pues, los incendios en las plantas fotovoltaicas deben extinguirse solo con espuma extintora para instalaciones de baja y media tensión (ver tabla VI).

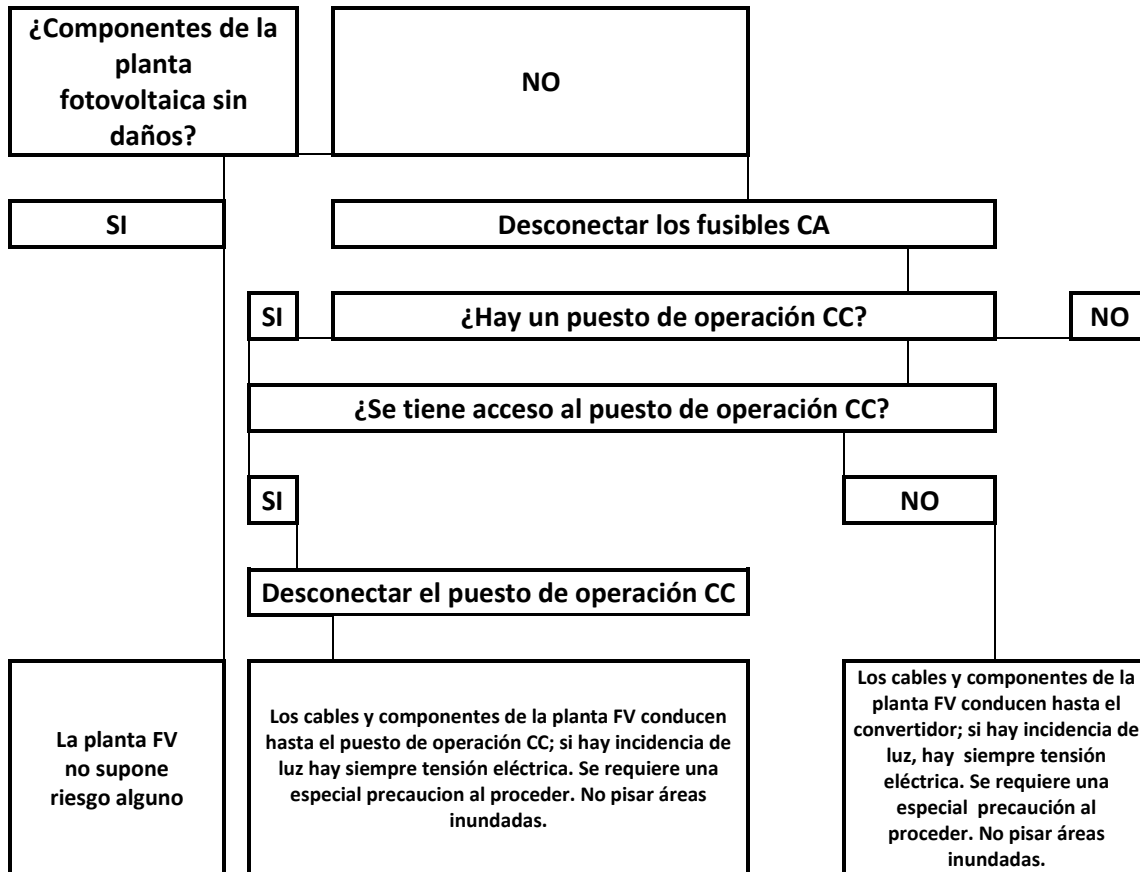


Tabla VI: Procedimiento en caso de siniestro: plan de acción en caso de existencia de una planta fotovoltaica sobre el edificio.

Fuente: “Fotovoltaica para profesionales”.

2.2 Funcionamiento de una planta fotovoltaica.

Una planta FV funciona de forma plenamente automática y, normalmente, durante muchos años sin fallos. Así pues, la misión del operador es, ante todo, la de un controlador. El control se refiere principalmente al rendimiento de la planta. Si éste queda por debajo del valor esperado, el operador deberá interpretar si se trata de algo normal o de un fallo. Para poder hacer tal cosa el operador debería:

- Haber sido concienzudamente instruido en el manejo de la planta antes de entregarla.
- Disponer de una detallada documentación de la planta.
- Poder comparar los rendimientos de su planta con los de otras.

3. Instalación y puesta en servicio de las plantas de energía solar en edificación

3. Instalación y puesta en servicio de las plantas de energía solar en edificación.

3.1 Montaje de la planta (figuras 3.1/3.2/3.3).

3.1.1 ¿Quién puede hacer el montaje y quién la conexión?



El montaje de una planta fotovoltaica puede realizarlo un “no electricista” debidamente instruido, es decir, un instalador de plantas fotovoltaicas cualificado.



La instalación eléctrica, la inscripción, la conexión de la planta a red de baja tensión, la aceptación y la puesta en servicio quedan reservadas al instalador eléctrico

homologado. Tales operaciones también se deben acordar con el operador de la red de distribución (ORS).

"El instalador eléctrico es responsable de la instalación eléctrica de toda la planta, incluso cuando él mismo no haya realizado el montaje de la sección de corriente".



Figuras 3.1 / 3.2 / 3.3 Montaje de cubierta solar.

Fuente: Realizado por el autor.

3.1.2 Montaje de los módulos.

3.1.2.1 Instrucciones generales de montaje.

- Es necesario concertar la ayuda de un profesional allí donde se presenten algunas operaciones demasiado complicadas. La instalación de una planta fotovoltaica puede requerir la cooperación de electricistas, especialistas en cubiertas, instaladores de equipos sanitarios, calefacciones o acondicionadores y de constructores de fachadas.
- Comprobar cualquier otra obligación de garantía ya contraída por otros profesionales respecto al tejado es obligatoria. Será mejor que éstos se encarguen de realizar los conductos a través del mismo.
- No realizar montajes sobre tejados viejos, insistir en una reforma previa. Advertirle al propietario de obra que el generador fotovoltaico puede llegar a durar bastante más que el propio tejado. Una posterior reforma de este último con el generador instalado, supondría un factor de coste nada despreciable.
- Los montajes sobre tejados de pizarra son "tabú" para los no especialistas en cubiertas.

- Los montajes sobre tejados con aislamiento térmico sobre cabrío resultan también complicados. Es necesario colaborar aquí con un especialista en cubiertas.
- En la medida de lo posible, es preciso montar los grandes grupos de módulos con una cierta distancia entre éstos y el tejado. Esto es particularmente importante en los montajes integrados en el mismo. De lo contrario se producirá un calentamiento demasiado intenso, con pérdida de rendimiento.

3.1.2.2 Herramientas y materiales.

- Equipo de protección EPI (gafas, guantes, cascos antirruído, cinturón de seguridad).
- Destornillador, taladro de batería con puntas y brocas.
- Amoladora angular manual con disco para piedra.
- Cinta métrica, cordón de trazar y metro plegable.

Según el tipo de montaje, es necesario:

- Llave fija plana, de estrella, de vaso o allen.

Aparatos de medición:

- Megóhmetro.
- Multímetro digital de hasta 10A CC

Otro material:

- Tornillos de repuesto (tornillos con cabeza de martillo, para madera, spax, allen o de rosca-chapa), así como tuercas de repuesto y arandelas conforme al sistema de montaje.
- Abrazaderas resistentes a los rayos UV (por lo general son negras).
- Tablones de apoyo para nivelar cabríos irregulares (en caso de anclajes de cabrío no regulables en altura)
- Anclajes de cabrío o ganchos de tejado adicionales.
- Tablones de tejado y empalmes para tablones con clavos.
- En tejados viejos: madera de cabrío para reforzarlos, zunchos.
- Macarrones conforme a la sección de cable.

3.2 Conexión a red.

3.2.1 El RD 1663/2000 regula la conexión a la red de las plantas fotovoltaicas.

Para la conexión a la red de plantas fotovoltaicas se necesita una copia del Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre la conexión de instalaciones

fotovoltaicas a la red de baja tensión. Ésta sirve tanto al operador de la red de distribución (ORS) como al fabricante como documento de proyecto y herramienta de decisión.

Esta directiva forma parte también de las “condiciones técnicas de conexión a la red de baja tensión”. El futuro operador puede también encontrar en ella importante información sobre la gestión de las plantas electrogeneradoras acopladas a la red.

El RD 1663/2000 se aplica sólo a aquellas plantas cuyo punto de enganche está en la red de baja tensión. Para la conexión a la red de media tensión hay otra directiva aparte.

3.2.2 El punto de alimentación a la red.

La decisión sobre cuál será el punto de alimentación a la red más conveniente para la deseada potencia fotovoltaica de alimentación es competencia del operador de la red de distribución.

Para evitar los previsibles equívocos sobre el punto de alimentación más conveniente, en el RD 1663/2000 desde un principio han establecido los siguientes criterios:

- *Se podrán interconectar instalaciones fotovoltaicas en baja tensión siempre que la suma de sus potencias nominales no exceda de 100 kVA. La suma de las potencias de las instalaciones en régimen especial conectadas a una línea de baja tensión no podrá superar la mitad de la capacidad de transporte de dicha línea en el punto de conexión, definida como capacidad térmica de diseño de la línea en dicho punto. En el caso de que sea preciso realizar la conexión en un centro de transformación, la suma de las potencias de las instalaciones en régimen especial conectadas a ese centro no podrá superar la mitad de la capacidad de transformación instalada para ese nivel de tensión. En caso de desacuerdo, será de aplicación lo previsto en el artículo 4.5 de este Real Decreto.*
- *Si la potencia nominal de la instalación fotovoltaica a conectar a la red de distribución es superior a 5 kW, la conexión de la instalación fotovoltaica a la red será trifásica. Dicha conexión se podrá realizar mediante uno o más inversores monofásicos de hasta 5 kW, a las diferentes fases, o directamente un inversor trifásico.*
- *En la conexión de una instalación fotovoltaica, la variación de tensión provocada por la conexión y desconexión de la instalación fotovoltaica no podrá ser superior al 5 % y no deberá provocar, en ningún usuario de los*

conectados a la red, la superación de los límites indicados en el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

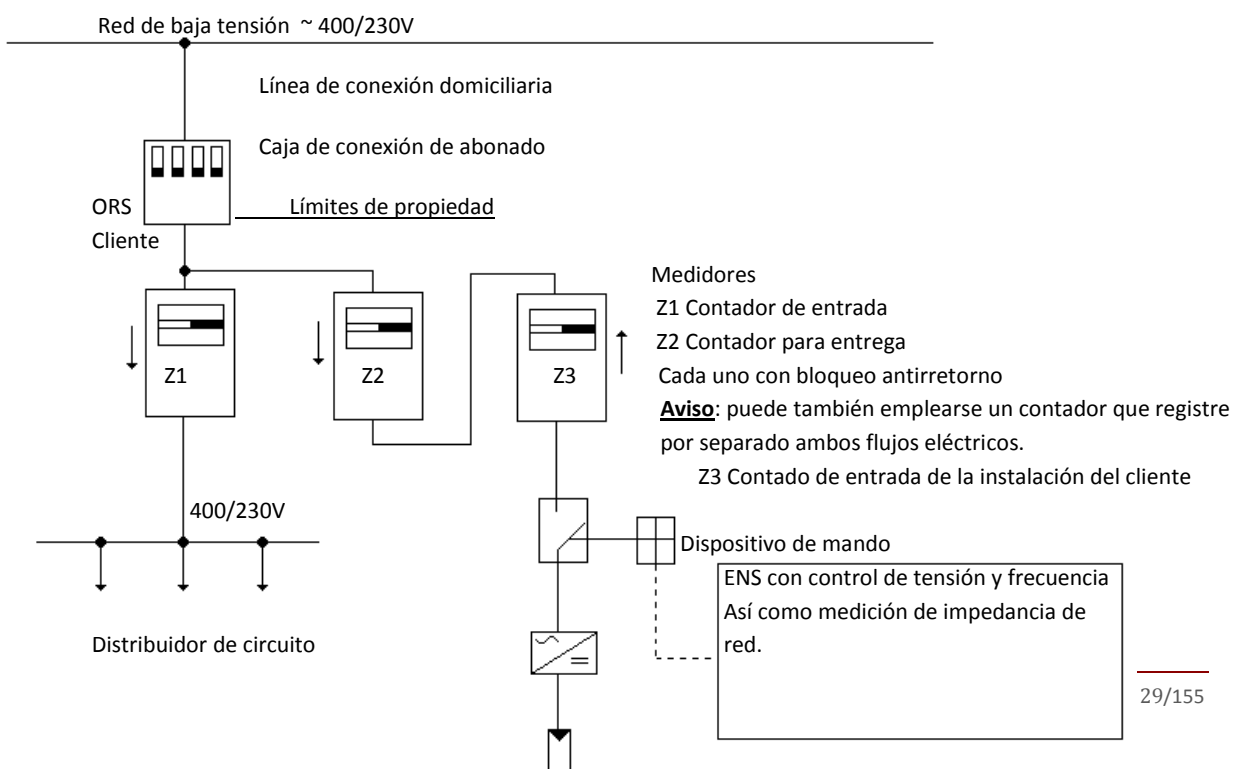
- El factor de potencia de la energía suministrada a la empresa distribuidora debe ser lo más próximo posible a la unidad. Las instalaciones fotovoltaicas conectadas en paralelo con la red deberán tomar las medidas necesarias para ello o, en su caso, llegar a un acuerdo sobre este aspecto con la empresa distribuidora.

3.2.3 Detalles sobre la conexión a la red.

Para conectar la planta fotovoltaica a la red se unen al contador de alimentación los cables de corriente alterna del inversor protegidos con un limitador de intensidad (fusible). El contador de alimentación representa la conexión a la red pública. Su precintado lo realiza una empresa técnica eléctrica registrada en el operador de red de distribución en presencia de un representante de éste para la puesta en servicio.

La conexión de las plantas fotovoltaicas a la red eléctrica debe atenerse al “CAPÍTULO III. Condiciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión” del RD 1663/2000.

El gráfico muestra la conexión de una planta fotovoltaica a la red de baja tensión. El modelo de ejecución ejemplificado en esta imagen puede modificarse de acuerdo con las particularidades locales.



Consumos del cliente

Protección contra cortocircuito.

Protección contra sobrecarga.

GENERADOR FOTOVOLTAICO

Con convertidor de 4,6 KVa máximo.

Representación esquemática de una determinada instalación autogeneradora (planta fotovoltaica) de funcionamiento en paralelo sin opción de régimen aislado; alimentación monofásica.

Fuente: Fotovoltaica para profesionales.

3.3 Mantenimiento.

Las plantas fotovoltaicas están libres de mantenimiento. Ésta incluso podrían en muchos casos, trabajar durante años sin realizar dicha tarea.

- *¿Necesitan de verdad las plantas fotovoltaicas un mantenimiento?*
- *¿Merece la pena mantener las plantas fotovoltaicas?*

Para que una planta fotovoltaica rinda durante 20 años, o más, que es lo que de ella se espera, se recomienda al principio concertar un contrato de mantenimiento con un técnico profesional, además de control visual periódico y de producción por parte del operador. Naturalmente, los puntos del contrato de mantenimiento son “negociables”, según el interés y los conocimientos técnicos del operador.

En la práctica, el tiempo que requieren los trabajos en la planta es de aproximadamente una hora por año.

3.3.1 Mantenimiento: lo que puede hacer el operador.

Control de producción, control visual, limpieza:

En el apartado anterior ya menciono la necesidad de un control mensual periódico de producción (ver también tabla VII). En el caso de grandes plantas merece la pena incluso cuidar el rendimiento más de una vez al mes. (Los inversores modernos suelen contar hoy en día con la opción de control y evaluación “on-line” de los datos. Muchos técnicos profesionales ofrecen este servicio adicional como parte del contrato de mantenimiento anteriormente mencionado)

El operador interesado también puede efectuar un control visual si dispone de un acceso perfectamente transitable. En este sentido, se revisará:

- Si la suciedad o el sombreado son superiores a lo normal.
- La acumulación de suciedad en los cantos de las guías del marco del módulo y de sujeción, y el consiguiente sombreado parcial de las células solares.
- El deterioro de los módulos o de la estructura de montaje.

- Los fallos visibles del cableado eléctrico, como cabos de cable que cuelgan libremente, cables rotos o raídos, puntos de deterioro... no obstante, estos no se tocarán, debido a las altas tensiones e intensidades , ya que en caso de fallo en la planta hay riesgo de descarga eléctrica. No se debe tocar los puntos defectuosos. La permanencia en su cercanía puede resultar peligrosa a causa de las chispas. La reparación de puntos o componentes de la planta dañados debe realizarla siempre un técnico profesional.

Normalmente, no se requiere una limpieza propiamente dicha, pues con la debida inclinación de los módulos se mantienen limpios si hay suficiente lluvia. Pequeñas impurezas como las del polvo o polen, que la lluvia arrastra fácilmente, no afectan al rendimiento. Como parte de la limpieza deben retirarse sólo aquellos residuos que, bien adheridos, la lluvia no arrastra, como pueden ser por ejemplo los excrementos de pájaro.

Por lo general, la limpieza del generador forma parte del contrato de mantenimiento, por lo que compete hacerla a técnico profesional. Si el propio operador desea efectuarla, nada hay que objetar, siempre y cuando éste pueda acometer el trabajo en un tejado, a veces a gran altura, y esté familiarizado con las normas de seguridad.

Normalmente, la limpieza se hace una vez al año, a finales del invierno, con el comienzo de los meses de mayor insolación. No deben emplearse disolventes; basta con un detergente suave diluido en agua.

MES	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Cuota %	8,4	9	10,6	10,9	12,4	11,7	9,9	7,2	4,8	4,2	4,9	5,9
Estación	Primavera			Verano			Otoño			Invierno		
Cuota %	28			35			21,9			15		

Tabla VII: Distribución porcentual del rendimiento de la planta a lo largo de las estaciones, tomando como referencia los datos de radiación en la región de Murcia.

3.3.2 Mantenimiento: lo que debe hacer el instalador profesional.

Con un contrato de mantenimiento, el operador consigue la mayor seguridad posible para obtener el máximo de su instalación.

El mantenimiento in situ debe efectuarse una vez al año, preferentemente antes de los meses de mayor producción (febrero, marzo o abril), e incluir al menos los siguientes puntos:

- Comprobación del funcionamiento del inversor mediante pantalla o LED.
- Limpieza de los orificios de ventilación del inversor.
- Comprobación del funcionamiento de los dispositivos de seguridad.
- Examen visual del generador solar y de los cables a la vista.
- Revisión del bastidor de montaje.
- Medición de cada una de las cadenas de módulos.
- Protocolización de las indicaciones de fallo en la caja de conexión del generador (CCG) y en el inversor.

Los operadores de red prescriben una contraverificación para los inversores con control trifásico de tensión. En tal sentido, el instalador eléctrico deberá revisar cada tres años las funciones de protección. Dicha comprobación deberá recogerse en un protocolo al efecto.

Los inversores con ENS (dispositivos de monitorización de red con sendos órganos de mando asignados en serie) no precisan de esta revisión, pues el ENS lo comprueba por su cuenta en cada procedimiento de arranque.

Si el operador de planta así lo desea, el mantenimiento puede también incluir áreas como el control de producción y limpieza. Entonces, las tareas a realizar podrían ser las siguientes:

- La lectura y evaluación del rendimiento de la planta, a fin de localizar fallos y pérdidas de rendimiento ocultas y analizar las causas.
- La documentación de los rendimientos.
- La limpieza de las hojas, excrementos de aves...
- La siega de la hierba o la tala de las ramas.

3.4 Formularios y listas de control:

1.4.1 FORMULARIO DE ENTREGA

Datos de proyecto

Comisión:

Nombre del ordenante:

¿Qué ofertas o presupuestos deben elaborarse?

Calle:

C.P./Localidad:

Teléfono/Fax

privado:

Profesional:

Dirección del lugar de obra:

Peticiones del cliente

¿Qué volumen tiene el marco financiero de las medidas?

¿Tiene ya algunas ideas respecto a la tecnología, funcionamiento y confort de la planta?

¿Desea financiar su planta?

Tipo de planta fotovoltaica que desea

<input type="checkbox"/> Alimentación de la red	Potencia de generador, aproximado: kWp
	Superficie solicitada, aproximada: m²

Tipo de módulo

Monocristalino Policristalino Otros

Tipo de montaje

Sobre tejado Azotea/Instalación libre Otros

Tejado e inclinación de tejado

Teja flamenca Teja de "cola de castor" Fibrocemento Otros

Tipo de tejado sobre el que se montan los módulos:

Color y tipo de tejas:

¿Desván acondicionado? SI NO

¿Goza la casa de la calificación de monumento? SI NO

Instrucciones de montaje de los módulos

Altura del borde del tejado (altura del canalón):	<input type="checkbox"/> < 5m (es posible acceder con escalera)	<input type="checkbox"/> > 5m
Altura de caída:	<input type="checkbox"/> < 3m	<input type="checkbox"/> > 3m (requiere protección contra caídas)
¿Es preciso un andamio?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Para el tendido de cables		
¿Puede usarse una chimenea en desuso?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

Instrucciones sobre el tendido de cables

Distancia generador → caja de conexión del generador:	m
Distancia generador → barra equipotencial:	m
Distancia caja de conexión del generador → inversor:	m
Distancia inversor → contador de alimentación:	m
Distancia contador de alimentación → conexión a red:	m

Instrucciones sobre el montaje del inversor y de contadores

¿Dónde puede montarse la caja de conexión del generador?

¿Dónde puede montarse el interruptor principal de corriente continua?

¿Dónde puede montarse el contador de alimentación? (¿Queda aún espacio libre para un contador?)

¿Dónde puede montarse el inversor?

En plantas por encima de los 30 kWp, ¿Dónde se encuentra el punto habilitado de alimentación a la red más cercano? (Aclarar este punto consultado con el operador de la red de suministro).

Datos de contacto del respectivo operador de la red de suministro (proveedor eléctrico)

Nombre:

Dirección (calle/plaza, C:P, Localidad):

Persona de contacto:

Teléfono/Fax:

Número de cliente del ordenante (en la factura de la electricidad):

Conclusión

¿Se precisa aún más información? ¿Qué queda por aclarar?

¿Qué catálogos o folletos necesitan?

¿Qué ofertas o presupuestos deben elaborarse?

¿Cuánto tiempo se mantiene la oferta?

Recomendamos (entre otras cosas, para toda la garantía del fabricante) concertar un contrato de mantenimiento. ¿Se desea una oferta al respecto? SI NO

¿Qué duración se desea? 5 años 10 años 20 años Tiempo de garantía

¿Cuándo deben iniciarse las obras y cuándo deben cumplirse las medidas?

¿Debemos evitar la solicitud para la alimentación de la red al operador de la red de suministro (proveedor eléctrico)? SI NO

¿A quién debe informarse? Oficina de urbanismo Oficina de medio ambiente Protección del patrimonio

¿Debemos encargarnos nosotros? SI NO

¿Cuándo podemos contar con su decisión? en 2 días en 1 semana /..../....

¿Cuándo desea la siguiente cita? (¿Cuándo desea que se le llame por teléfono?)

Orientación, inclinación y superficie de tejado disponible en tejados sencillos:

1.4.2 PROTOCOLO DE PUESTA EN SERVICIO

Datos generales				
Titular:				
Nombre:				
Calle:				
Localidad:				
Ubicación de la planta:				
Calle:				
Localidad:				
Puesta en servicio el:				
Puesta en servicio por:				
Empresa:				
Nombre:				
Calle:				
Localidad:				
En presencia del titular:				
Y representante del ORS:				
Datos técnicos de la planta fotovoltaica				
Inclinación del generador fotovoltaico				
Orientación:	<input type="checkbox"/> Sur	<input type="checkbox"/> Sudoeste	<input type="checkbox"/> Sudeste	<input type="checkbox"/> Oeste <input type="checkbox"/> Este
Lugar de montaje:	<input type="checkbox"/> Tejado en pendiente	<input type="checkbox"/> Azotea	<input type="checkbox"/> Fachada	<input type="checkbox"/> Instalación libre
El generador puede quedar bajo sombra por:				
Unidad módulos				
Módulos están conectados formando una cadena; resultan pues: cadenas				
Metros usados en el cableado del generador:		Sección:	mm ²	
Tipo:				
Sección caja de conexión del generador tipo:		Número:		
Interruptor principal de corriente continua tipo:		Número:		
Línea principal de corriente continua al CCG al inversor		Sección:	mm ²	
Tipo:	Longitud de cable sencillo:	m		
Inversor:				
Interruptor:	Limitador de intensidad:	Tipo:	Diferencial:	Corriente de disparo: mA
Armazón de montaje puesto a tierra mediante (por ejemplo, equipo pararrayos, varilla aparte de puesta a tierra, barra de conexión equipotencial):				
Derivador de sobretensión puesto a tierra mediante:				
Alimentación de red:	<input type="checkbox"/> Plena alimentación	<input type="checkbox"/> Alimentación excedentaria		

Por favor, para una completa documentación elabore un croquis de conexiones del generador fotovoltaico

Comprobación del generador solar

Tiempo atmosférico:					
<input type="checkbox"/> Soleado	<input type="checkbox"/> Nublado	<input type="checkbox"/> Cubierto	<input type="checkbox"/> Inestable	<input type="checkbox"/> Medición de la insolación	W/m ²
Medición de los circuitos ¹ :	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	De acuerdo con la ficha técnica	
Tensión en circuito abierto	V	V	V		V
Corriente de cortocircuito:	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	De acuerdo con la ficha técnica	
	A	A	A		A
Medición en la CCG - Tensión en vacío del generador a la salida de la CCG:					V
Tensión del polo positivo/polo negativo respecto a la tierra:				V	V
Corriente de cortocircuito del generador ² :					
A					
Examen visual y control de funcionamiento:					
- Comprobados y en orden todos los fusibles finos.					
- Todos los derivadores de sobretensión en orden.					
- Resistencia de tierra de la instalación de puesta a tierra.					
¹ Atención: el inversor debe estar desconectado de la CCG o de los circuitos, y los respectivos circuitos deben, asimismo, tener los dos planos desconectados. A causa del riesgo de arcos eléctricos, haga las mediciones fuera del VPI u otros aparatos electrónicos.					
² Mida sólo en caso de cielo cubierto. Atención: riesgo de arcos eléctricos si se emplean amperímetros normales.					
En caso de altas intensidades use pinza amperimétrica; el inversor y el generador deben estar desconectados.					

Comprobación del inversor

Conecte el generador al inversor dejando abierta la conexión con la red eléctrica. Al encender el inversor aparece el mensaje de error "fallo de red", dado que la red no está habilitada.		
Acople el inversor a la red (conector). El inversor buscará entonces el MPP. La pantalla de funcionamiento se pone en marcha e indica disponibilidad.	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Habilite la red: el aparato se conecta a la red y comienza con la alimentación:	<input type="checkbox"/> OK	
Los valores de corriente continua aparecen en pantalla:	V	
- Tensión fotovoltaica en el MPP	A	
- Corriente del generador en el MPP	W	
- Potencia en el MPP	kWh	
- Electricidad producida hasta entonces (total)		
Valores de corriente alterna en pantalla:	V	
- Tensión de red	A	
- Corriente alterna	Hz	
- Frecuencia de red	W	
- Potencia de alimentación	kWh	
- Electricidad producida hasta entonces (total)		

Comprobación del control de red.

Al apagar el limitador de intensidad y el interruptor diferencial contra fugas se simula un fallo de red entre el inversor y el punto de conexión a la red. El inversor debe interrumpir inmediatamente la alimentación y desconectarse de la red.

- Desconecte el limitador de intensidad de la fase 1: El inversor se apaga
- Reencienda y repita el proceso con las fases 2 y 3: El inversor se apaga
- Active el interruptor diferencial:

Contador

Contador de salida	kWh	<input type="checkbox"/> Se está generando en ese momento
Contador de entrada	kWh	<input type="checkbox"/> Se está generando en ese momento

1.4.3 CARTA DE SEGURO

Confirmación

Con su firma el instalador, el titular y el representante del ORS (si está presente) dan fe del correcto funcionamiento y puesta en servicio de la planta FV en el momento de la comprobación, dando así inicio al período de garantía de la planta.

Localidad, fecha:

Firma de todos los representantes:

Seguro de la planta

Titular (nombre, dirección):

Por la presente confirmamos al titular de la planta fotovoltaica, Tipo:

Potencia: _____ kWp

En la propiedad:

Que en la cobertura de seguro de nº de póliza: _____

Se incluyen los siguientes daños: (márquese lo que proceda):

Daños por tormenta.
 Daños por granizo.
 Caída de rayo.
 Fuego
 Sobretensión
 Robo del equipo electrónico

Vandalismo
 Otros

Suma invertida

Puesta en servicio el: .. /.. /....

Compañía aseguradora (firma y sello):

1.4.4 PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE DATOS DE FUNCIONAMIENTO

Protocolo de medición

Año:

Titular:

Localidad:

Potencia punta en kWp:

Día	Potencia máxima	Producción	Acometida	Estado del contador	Diario / Notas Tiempo atmosférico

Comprobación del funcionamiento del inversor mediante pantalla o LED.	<input type="checkbox"/>
Limpieza de los orificios de ventilación del inversor.	<input type="checkbox"/>
Comprobación del funcionamiento de los dispositivos de seguridad.	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>
Contador	
Lectura del rendimiento de la planta y documentación de los rendimientos actuales.	<input type="checkbox"/>
Comprobación de los fusibles.	<input type="checkbox"/>

1.4.6 GUÍA DE FUNCIONAMIENTO

"Mi planta fotovoltaica" (para propietarios de una planta FV conectada a red)

Planta de referencia fotovoltaica: Foto de su planta de referencia.

Realización

Puesta en servicio:

Promoción:

Titular:

Inspección:

Datos de la planta

Superficie de los módulos:

Número de módulos:

Potencia de la planta:

Orientación:

Ángulo de inclinación:

Datos técnicos:

Generador solar:

Tipo de módulo:

Potencia máxima:

Intensidad nominal:

Tensión nominal:

Corriente de cortocircuito:

Tensión de circuito abierto:

Potencia máxima del sistema:

Dimensiones de módulo:

Peso:

Color:

Bastidor:

Denominación del inversor:

Potencia nominal CC:

Tensión nominal CC:

Tensión máxima entrada:

Intensidad de entrada CC máxima:

Particularidades:

Rendimiento

Rendimiento anual:

Rendimiento energético por kWp instalado:

Remuneración a la producción energética:

Emisiones de CO₂ evitadas al año:

3.5 Seguridad de los edificios con sistemas fotovoltaicos.

La instalación fotovoltaica de un edificio debe cumplir la normativa vigente en cuanto a protecciones y seguridad, lo que garantiza la ausencia de riesgos para las personas, los equipos y la propia red eléctrica. Debe cumplirse el reglamento electrotécnico para baja tensión y, en concreto, las instrucciones técnicas complementarias que son aplicables a la instalación eléctrica. Asimismo, se respetará la normativa técnica aplicable a las instalaciones fotovoltaicas, que en este momento en el Real Decreto 1663/2000 sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

En caso de que la red se desconecte del sistema por avería u otra anomalía, es necesario que el inversor deje de funcionar, para evitar así lo que se llama operación del sistema en modo "isla" que puede no solo dañar las cargas de la instalación, sino poner en peligro al personal encargado del mantenimiento de la red. Por tanto, cuando salten las protecciones y se desconecte la red, deben saltar también las protecciones del sistema fotovoltaico.

También es recomendable que el lugar en donde se sitúe el inversor esté aislado del resto del edificio y no sea una zona transitada. Una buena solución para las cubiertas fotovoltaicas es situar el inversor en un espacio bajo cubierta próximo a los paneles fotovoltaicos. Además, es importante que este espacio esté bien aislado de la humedad.

En los sistemas autónomos, la batería es el elemento más delicado en cuanto a la seguridad y mantenimiento. Debe reservarse un espacio con ventilación al exterior para la ubicación de la batería, ya que ésta libera hidrógeno durante el ciclo de carga. Por esto mismo debe evitarse la presencia de chispas o llamas de dicha sala, que podrían ocasionar explosiones. Además, se recomienda instalar la batería sobre una bancada para que esté aislada eléctricamente del suelo.

Reglas generales de seguridad en un sistema aislado:

- Tener en cuenta que cerca de sustancias inflamables o explosivas no deben realizarse trabajos con formación de chispas. Puede desprenderse una mezcla explosiva de gas oxhídrico, especialmente cerca de la batería.
- No quitar o cambiar fusibles bajo carga. Pueden aparecer intensos arcos eléctricos.
- Evitar que los niños, las personas no autorizadas o los animales puedan acercarse a las partes peligrosas de la instalación.

- No olvidar comprobar la polaridad de los componentes de corriente continua. Por ejemplo, conecte el polo positivo del cable regulador de carga con el polo positivo de la unidad de batería.
- Leer antes de cualquier trabajo, ya sea de operación, mantenimiento o instalación del sistema, los aparatos relevantes al respecto de las documentaciones de los fabricantes.
- Antes de instalar los componentes comprobar que no estén dañadas y que funcionan. Si se tiene la más mínima duda, se deberá adoptar medidas especiales de protección para prevenir accidentes.
- Antes de instalar la planta, hay que familiarizarse con las leyes, disposiciones y normas específicas del país, de la región y de la zona.
- Trabajar siempre con ausencia de humedades.

3.5.1 Seguridad en los trabajos sobre tejado.

La seguridad preocupa muy especialmente a las asociaciones profesionales. En ellas se puede encontrar ayuda cuando se tiene dudas sobre normas y equipos de seguridad.

En el montaje sobre tejados en pendiente deben observarse las normas de protección laboral y de seguridad para trabajos sobre el mismo.

De acuerdo con las normas de protección en el trabajo y de prevención de accidentes de las asociaciones profesionales, a partir de una altura de canalón de tres metros debe contarse con la adecuada protección de caídas: paredes de protección, redes de captura, una línea de vida o andamios de protección. La clase de dicha protección contra caídas debe ajustarse a las particularidades del lugar.

3.5.2 ¡Precaución, peligro! Particularidades de la corriente continua en contraposición a la corriente alterna.

¿Qué riesgos hay?

Lo primero: las plantas fotovoltaicas son distintas de otras instalaciones eléctricas.

Mientras sea de día, las plantas fotovoltaicas no pueden "apagarse". Pero el auténtico riesgo está, sobre todo, en que aquí no funciona ninguno de los dispositivos convencionales de seguridad: la corriente cortocircuito del generador solar está sólo levemente por encima de su intensidad nominal. Los interruptores diferenciales, protectores automáticos o fusibles convencionales no funcionan aquí.

Para el electricista con experiencia en corriente alterna y corriente continua (de origen no solar) el riesgo reside en que se presupone que, en caso de fallo, la planta se desconectará por medio de fusible. ¡Pero la planta no lo hace!

¡Un cortocircuito no provoca siquiera un fallo en la planta, ni tampoco la desconexión!

Las plantas fotovoltaicas generan corriente continua a altas tensiones. Al desconectar un contacto bajo carga, es decir, a circuito cerrado, puede aparecer un arco eléctrico que no desaparece por sí solo.

Resumen:

- De día, un generador solar está siempre bajo tensión. La tensión no puede desconectarse por el lado de corriente continua.
- Por el lado de corriente continua no pueden protegerse mediante fusible las labores en una planta fotovoltaica, incluso en caso de fallo (por ejemplo, falta a tierra) la planta sigue funcionando.
- La planta sigue funcionando incluso después de cortocircuito.
- Al desconectar los contactos bajo carga pueden aparecer arcos eléctricos que no se extinguen.

Riesgos para el instalador:

- Quemaduras, daños oculares y descarga eléctrica por arco eléctrico al retirar contactos bajo carga. La misma desconexión de conectores anticontacto en los módulos solares puede provocar un arco eléctrico.
- Descarga eléctrica por roce con contactos expuestos. Este flujo de corriente de descarga no lo irrumpe ningún fusible. Así pues, el tiempo de efecto puede ser extremadamente largo.
Una descarga eléctrica sobre el tejado, lo que se conoce como "daño primario" es por ello también muy peligroso, pues puede provocar la caída del tejado como "daño secundario".

¿Cómo afrontar esos riesgos?

Tal y como ya se ha comentado, en los circuitos fotovoltaicos no se puede trabajar con elementos activos de seguridad activa. Por tanto, preste la máxima atención a las medidas de seguridad pasiva.

Importantes medidas de seguridad pasiva:

- Toda la sección de corriente continua debe tenderse con protección cortocircuito y línea de puesta a tierra.

- Usar sólo cables monopolares con doble aislamiento.
- Comprobar que todos los medios de trabajo estén diseñados con la clase de protección 2 (gracias a los correspondientes aislamientos, el aparato no presenta partes metálicas accesibles que puedan llevar tensión en caso de fallo. No hay puesta a tierra).
- En la caja de conexión del generador, el lado positivo debe estar separado del lado negativo.

Otras medidas anti-riesgo en los trabajos en el circuito del generador:

- En todos los trabajos en la sección de corriente continua, cortar el flujo eléctrico de la planta con el interruptor principal de corriente continua.
- Allí donde resulte posible eliminar la tensión eléctrica.
- Aplicar las medidas contra reencendido.

REGLAS CONTRA EL REENCENDIDO	COMPRUÉBESE EN LOS CIRCUITOS FOTOVOLTAICOS.
Desconectar (fusible, interruptor)	En la sección del generador sólo puede dejarse sin carga
Proteger contra reencendido (bloqueo cerrojo)	-
Comprobar la ausencia de tensión	En la sección del generador no es posible lograr de día la ausencia de tensión
Poner a tierra y cortocircuitar	En la sección del generador, sin efecto
Protección anti-contacto de componentes conductores (distanciadores, cubierta, barreras, envoltura o aislamiento)	-

Tabla: Las cinco reglas "de oro" para trabajar sin tensión y su aplicabilidad en los circuitos fotovoltaicos.

- ¡Comprobar la protección anti-contacto de todos los componentes conductores! Evitar los contactos con conductores expuestos y sin vigilancia.
- Comprobar la operatividad de las medidas pasivas de seguridad en todos los trabajos. Si el aislamiento está dañado o hay cables aplastados, aplicar inmediatamente una protección anti-contacto, recambiándolos o reparándolos.

3.6 Legislación y normativa.

3.6.1 Legislación de ámbito europeo.

- Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad.
- Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a

partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.

- Directiva 96/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía. COM (2002) 415 final. 2002/0185 (COD)
- Comunicación de la comisión. Energía para el futuro: fuentes de energía renovables. Libro blanco para una estrategia y un plan de acción comunitarios. COM (1997) 599 final.
- Directiva 2002/91CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Libro verde: hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético. COM (2000) 769 final.
- Libro verde sobre la eficiencia energética o como hacer más con menos. COM (2005) 265final. *Contiene 27 medidas prioritarias para garantizar la seguridad del suministro, la competitividad de la economía europea y el desarrollo sostenible.*

3.6.2 Legislación de ámbito nacional.

LISTADO DE LEYES

- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del sector eléctrico. *Esta ley establece los principios de un nuevo modelo de funcionamiento basado en la libre competencia e impulsa el desarrollo de instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial.*
- Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio por el que se adopta medidas urgentes en el sector energético.
- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Resolución de 31 de mayo de 2001, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Real Decreto 2224/1998, de 16 de octubre, sobre certificado de profesionalidad de instalador de sistemas fotovoltaicos y eólicos de pequeña potencia (BOE nº269, de 10/11/1998)
- Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, del Ministerio de Industria y Energía, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración (BOE nº312, de 30/12/1998). *Derogado.*
- Corrección de errores del Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, del Ministerio de Industria y Energía, sobre producción de energía eléctrica por

instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración (BOE nº43, de 16/02/1999). *Derogado.*

- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, del ministerio de economía (BOE nº235, de 30/09/2000).
- Real Decreto 3490/2000, de 29 de diciembre, sobre tarifas eléctricas (BOE nº313, de 30/09/2000). *Incluye el coste máximo de verificación de las acometidas por parte de la compañía distribuidora en las instalaciones de conexión a red.*
- Resolución de 31 de mayo de 2001, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión (BOE nº148, de 21/06/2001). *Incluye esquema unifilar correspondiente a las instalaciones de generación y enlace.*
- Real Decreto 841/2002, de 2 de agosto, del ministerio de Ciencia y Tecnología, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión, y las instalaciones técnicas complementarias (ITC) BT01 a BT51 (BOE nº224, de 18/09/2002).
- Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Corrección de errores del Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la sistematización y actualización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

El borrador del texto que sustituyó al Real Decreto 436/2004 en abril de 2007 fue enviado por el Ministerio de Industria a la Comisión Nacional de Energía, con la finalidad de que el organismo regulador informara la propuesta como paso previo a la aprobación de la nueva normativa, que será de rango igual a la que reemplaza.

Según este Real Decreto, las instalaciones fotovoltaicas de mayor potencia aumentan su retribución, manteniéndose ésta para las de menor tamaño, con la garantía de obtención de una rentabilidad del 7%. La nueva normativa no tiene carácter retroactivo. La regulación vigente para las instalaciones realizadas antes de la nueva normativa que estén en funcionamiento se mantiene hasta 2010, año en el que las tarifas y primas serán revisadas.

- Plan de Energías Renovables para España, 2005-2010. IDEA, agosto 2005.

- Plan de Acción 2005-2007 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España. IDEA, julio 2005.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE). Los detalles del CTE relativos a la integración de energía solar fotovoltaica en edificios se dan en el apéndice A.
- Real Decreto 1634/2006, de 29 de diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica a partir de enero de 2007. (BOE de 21/02/2007)
- Real Decreto 809/2006, de 30 de junio, por el que se revisa la tarifa eléctrica a partir del 1 de julio de 2006.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan los procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica en general (Título VIII). *Aplicable en el caso de conexión a red de alta tensión.*
- Orden de 5 de septiembre de 1985 (BOE nº219, de 12/09/1985). *Aplicable en el caso de conexión de instalaciones a la red de alta tensión.*
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de red. IDEA, 2002.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a red. IDEA, 2002.
- "Hacia una generación eléctrica competitiva". Informe ASIF, 2006. Plan de Energías Renovables 2005-2010.

El objetivo del Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2007 es fomentar el uso del tipo de energías y llegar a cubrir con ellas el 12,1% de la demanda de energía primaria en el año 2010. Este documento revisa al alza los objetivos del Plan de Fomento de las Energías Renovables de 1999, y se prevé que supondrá un fuerte impulso para las energías eólica, fotovoltaica, solar termoeléctrica y los biocarburantes. En el caso de la fotovoltaica, los objetivos de potencia instalada para el año 2010 pasan de los 143 a los 400 MW. *Esta documentación ha sido obtenida de www.idae.es y de www.mityc.es.*

3.6.3 Legislación de ámbito regional (Comunidad Valenciana)

- Ley de Energías Renovables y Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana.

El objetivo de esta ley es establecer las bases de una política energética sostenible en la Comunidad Valenciana, promoviendo para ello el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, así como el ahorro y la eficiencia energética desde la producción hasta el consumo, reduciendo la dependencia energética exterior y la afección al medio ambiente, y potenciando una mayor solidaridad ambiental en el uso de la energía.

3.6.4 Normativa aplicable:

Se enumera aquí, por temas, las normas internacionales IEC (*International Electrotechnical Commission*) aplicables a los sistemas fotovoltaicos integrados en la edificación, así como las normas UNE equivalentes, si ya están aprobadas. Marcadas con un asterisco se incluyen también las normas en proceso de aceptación, que están próximas a su publicación.

3.6.4.1 Módulos fotovoltaicos.

- IEC 60891: 1987/A1:2002. Procedimiento de corrección con la temperatura y la irradiación de la característica I-V de dispositivos fotovoltaicos de silicio cristalino. (UNE-EN 60891:1994)
- IEC 60904-1:1987. Medida de la característica intensidad-tensión de módulos fotovoltaicos. (UNE-EN-60904-1:1994)
- IEC 60904-2 1989/A1:1998. Requisitos de las células solares de referencia. (UNE-EN-60904-2/A1:1998)
- IEC 60904-3: 1989. Fundamentos de la medida de dispositivos fotovoltaicos de uso terrestre con datos de irradiación espectral de referencia. (UNE-EN-60904-3: 1994)
- IEC 60904-5:1993. Determinación de la temperatura de la célula equivalente de dispositivos fotovoltaicos por el método de la tensión de circuito abierto. (UNE-EN-60904-5: 1996)
- IEC 61215:1993. Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para aplicaciones terrestres. Cualificación de diseño y aprobación de tipo. (UNE-EN 61215:1997)
- IEC 61215. Edificación revisada. Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino para aplicaciones terrestres. Cualificación de diseño y aprobación de tipo.
- IEC 61646:1996. Módulos fotovoltaicos de lámina delgada para aplicaciones terrestres. Cualificación de diseño y aprobación de tipo. (UNE-EN 61646:1997)
- IEC 61721:1995. Susceptibilidad de un módulo fotovoltaico al daño por impacto accidental (resistencia al ensayo de impacto). (UNE-EN 61721:2000)
- IEC 60904-6:1994/A1:1998. Requisitos de los módulos solares de referencia. (UNE-EN-60904-6: 1997, UNE-EN-60904-6/A1:1998)
- IEC 6094-7:1998. Cálculo del error introducido por la disparidad espectral en las medidas de un dispositivo fotovoltaico. (UNE-EN-60904-8:1999)
- IEC 60904-10:1998. Métodos de medida de la linealidad. (UNE-EN-60904-10:1999)
- IEC 61345:1998. Ensayo ultravioleta para módulos fotovoltaicos. (EN-UNE 61345:1999)

- IEC 61701:1995. Ensayo de corrosión por niebla salina para módulos fotovoltaicos. (UNE-EN 61701:2000).
- IEC 61829:1995. Campos fotovoltaicos de silicio cristalino. Medida en el sitio de la característica I-V. (UNE-EN 61829:2000)
- *IEC 61730-1. Cualificación de seguridad del módulo fotovoltaico. Parte 1: requisitos constructivos.
- *IEC 61730-2. Cualificación de seguridad del módulo fotovoltaico. Parte 2: Reglas de ensayo.
- *IEC 61853. Ensayos de rendimiento y evaluación energética de módulos fotovoltaicos de uso terrestre.
- *IEC 62145. Módulos fotovoltaicos de silicio cristalino. Especificación de detalle.
- *IEC 62108. Módulos y receptores fotovoltaicos de concentración. Cualificación del diseño y aprobación de tipo.

3.6.4.2 Inversores.

- IEC 61683:1999. Sistemas fotovoltaicos acondicionadores de potencia. Procedimiento para la medida del rendimiento. (UNE-EN 61683:2001)
- *IEC 62109. Seguridad eléctrica de inversores estáticos y controladores de carga de utilización en sistemas fotovoltaicos.
- IEC 61000-1-X: 1992. Compatibilidad electromagnética. Parte I. Generalidades.
- IEC 61000-2-X: 1990-1996. Compatibilidad electromagnética. Parte 2. Medio ambiente.
- IEC 61000-3-2: 1994-1996. Compatibilidad electromagnética. Límites de emisión de armónicos de corriente para equipos con corrientes de entrada no superiores a 16 amperios por fase.
- IEC 61000-3-3: 1992. Compatibilidad electromagnética. Límites de las fluctuaciones de tensión y flicker en fuentes de baja tensión para equipos con corrientes nominales inferiores o iguales a 16 A.
- IEC 61000-4-x: 1992. Compatibilidad electromagnética. Parte I. Técnicas de ensayo y medida.

3.6.4.3 Conexión a red.

- IEC 61727: 1995. Sistemas fotovoltaicos. Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica. (UNE-EN 61727: 1996)
- *IEC 61727. Sistemas fotovoltaicos. Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica. Versión revisada.

- *IEC 62116. Procedimiento de ensayo. Medidas de prevención del aislamiento para acondicionadores de potencia utilizados en sistemas fotovoltaicos conectados a red.

3.6.4.4 Sistemas fotovoltaicos.

- IEC 61836: 1997. Sistemas de energía solar fotovoltaica. Términos y símbolos.
- *IEC 61836-2. Sistemas de energía solar fotovoltaica. Términos y símbolos. Parte 2.
- IEC 61173: 1992. Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de energía. (UNE-EN 61173: 1998)
- IEC 60364-7-712. Instalaciones eléctricas de edificios. Parte 7-712: Requerimientos para instalaciones o emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación de energía solar fotovoltaica.
- IEC 61194: 1992. Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos autónomos. (UNE-EN 61194:1997)
- IEC 61277:1995. Sistemas fotovoltaicos terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía. (UNE-EN 61277: 1998)
- IEC 61724: 1998. Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis. (UNE-EN 61724:2000)
- *IEC 61216. Sistemas fotovoltaicos aislados – Cualificación del diseño y aprobación de tipo.
- *IEC 62234. Directrices de seguridad para sistemas fotovoltaicos montados en edificios conectados a la red eléctrica.
- *IEC 62078. Programa de certificación y acreditación para componentes de sistemas fotovoltaicos. Guía para un sistema de calidad total.
- *IEC 62093. Resto de componentes de sistemas fotovoltaicos. Cualificación del diseño y aprobación de tipo.

3.7 Puesta en servicio: la primera operación en paralelo sobre la red.

Para la puesta en servicio, una empresa inscrita en el registro de instaladores del ORS (Operador de Red de Suministro) realiza, junto con un representante del ORS, un examen de funcionamiento de la planta, y monta, conecta y precinta el contador.

Se deben, asimismo, realizar y protocolizar* las mediciones enumeradas a continuación. Por último, por el lado de la corriente alterna se conecta el inversor a la red y por el lado de la corriente continua se conecta el generador cerrando el interruptor principal de corriente continua.

En este sentido, según el RD 436/2004 sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, se procederá así:

- Inspección de la planta.
- Comprobación de la accesibilidad y función aislante del puesto de mando de acceso permanente.
- Comparación de la configuración de la planta con las especificaciones del proyecto.
- Comparación de la configuración del medidor con las especificaciones contractuales y técnicas.
- Realización de un control de arranque de los contadores de entrada y entrega.

Debe realizarse un control de funcionamiento de los dispositivos de protección. Para ello, por medio de un comprobador se les dictan mediciones simuladas (comprobación mediante carga externa) a los dispositivos de protección. Debe comprobarse si éstos se disparan con los valores de configuración especificados y se cumplen los tiempos de desconexión establecidos.

** Qué mediciones deben protocolizarse (las bases de esta operación están en el Real Decreto 1663/2000 sobre equipos eléctricos y medios de trabajo):*

- La tensión en vacío del generador.
- Las tensiones en vacío de cada cadena. Para ello debe cortarse el fluido eléctrico de la planta con el interruptor principal del generador y medirse luego la tensión entre el positivo y el negativo.
- La caída de tensión por cada fusible de cadena, si los hay.
- La corriente de cortocircuito de cada cadena. Para ello, se desconecta la planta, se sueltan los fusibles de cadena y se mide entre el positivo y el negativo la corriente de cortocircuito de cada una de las cadenas.
- La resistencia de tierra del sistema. Para la medición de la resistencia de tierra se necesita un comprobador especial al efecto.
- La resistencia de aislamiento del generador.
- La resistencia de aislamiento de la línea principal de corriente continúa.

La resistencia de aislamiento se mide entre un conductor y la conexión equipotencial. Para ello debe quitarse el derivador de sobretensión.

Deben cumplirse los siguientes valores mínimos (ver tabla VIII):

Rango de tensión	Tensión de medición	Resistencia de aislamiento
Baja tensión de seguridad	250 V	$\geq 0,25 \text{ M}\Omega$
$>120 \text{ V} - <500 \text{ V}$	500 V	$\geq 0,5 \text{ M}\Omega$
$\geq 500 \text{ V}$	1000 V	$\geq 1 \text{ M}\Omega$

Tabla VIII: Resistencia mínima de aislamiento en diferentes tensiones de medición.

Antes de la fecha de puesta en servicio, hay que informarse en el ORS sobre los criterios de comprobación. Éstos pueden variar de un caso a otro.

Se recomienda repasar cada uno de los puntos de la puesta en servicio con ayuda de una lista de control. En lo que respecta a la puesta en servicio, en particular, respecto al examen de funcionamiento de los dispositivos de protección, debe elaborarse un protocolo. Éste lo conservará el operador de planta y debe guardarse como prueba.

En el control de funcionamiento hay que darle tiempo al inversor: en caso de fallos de red, reales o simulados, éste necesita algo de tiempo (aproximadamente entre uno y varios minutos) para volver a arrancar. Si ocurre tres veces sucesivas un fallo de red, algunos tipos de inversores necesitan hasta 15 minutos para poder retomar su funcionamiento normal.

3.8 El código técnico de la edificación (HE-5).

El Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, establece las exigencias básicas que deben cumplir los edificios en relación con la seguridad y la habitabilidad. Se ha creado también el consejo para la Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación (Real Decreto 315/2006, de 17 de marzo). De este Consejo depende la Comisión del Código Técnico de la Edificación, creada para asesorar y dar asistencia en todo lo referente a la aplicación, el desarrollo y la actualización del documento.

El CTE adapta la normativa de la construcción en España a las nuevas necesidades ambientales de la sostenibilidad. Entre sus claves destacan la exigencia de una mayor eficiencia energética y la instalación de energía solar, tanto térmica como fotovoltaica. El Código Técnico contiene un Documento Básico de Ahorro de Energía donde se establecen las exigencias básicas en cuanto a eficiencia energética y energías renovables que deben cumplir los nuevos edificios y los que se reformen o rehabiliten. Este Documento Básico consta de varias secciones, de las cuales la HE5 es la correspondiente a la contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

Desde su entrada en vigor en septiembre de 2006, el CTE exige a ciertos tipos de edificios la instalación de determinada potencia fotovoltaica. Los edificios afectados

son: hipermercados, centros comerciales y de ocio, grandes almacenes, oficinas, hoteles y hostales, hospitales y clínicas privadas, y pabellones de recintos feriales. La potencia mínima que se debe instalar se calcula en función del tipo de uso del edificio, del clima y de la superficie construida del edificio, mediante la fórmula:

$$P = C \times (A \times S + B)$$

Donde:

- P es la potencia a instalar, en kilovatios;
- A y B son dos coeficientes cuyos valores vienen dados por el uso del edificio (tabla A.A);
- C es el coeficiente de la zona climática (tabla A.B);
- S es la superficie construida del edificio, en metros cuadrados.

En la tabla A.A se recogen los valores de los coeficientes A y B, mientras que el coeficiente C varía entre 1 y 1,4 según los datos climáticos de la zona. En general, a mayor radiación, mayor es el coeficiente C. Con el fin de simplificar los cálculos, se han establecido unas tablas y unos mapas orientativos para la determinación de cinco zonas climáticas, según indica la tabla A.B. En cualquier caso, la potencia pico mínima que debe instalarse es de 6,25 kWp, y la potencia del inversor de 5 kW.

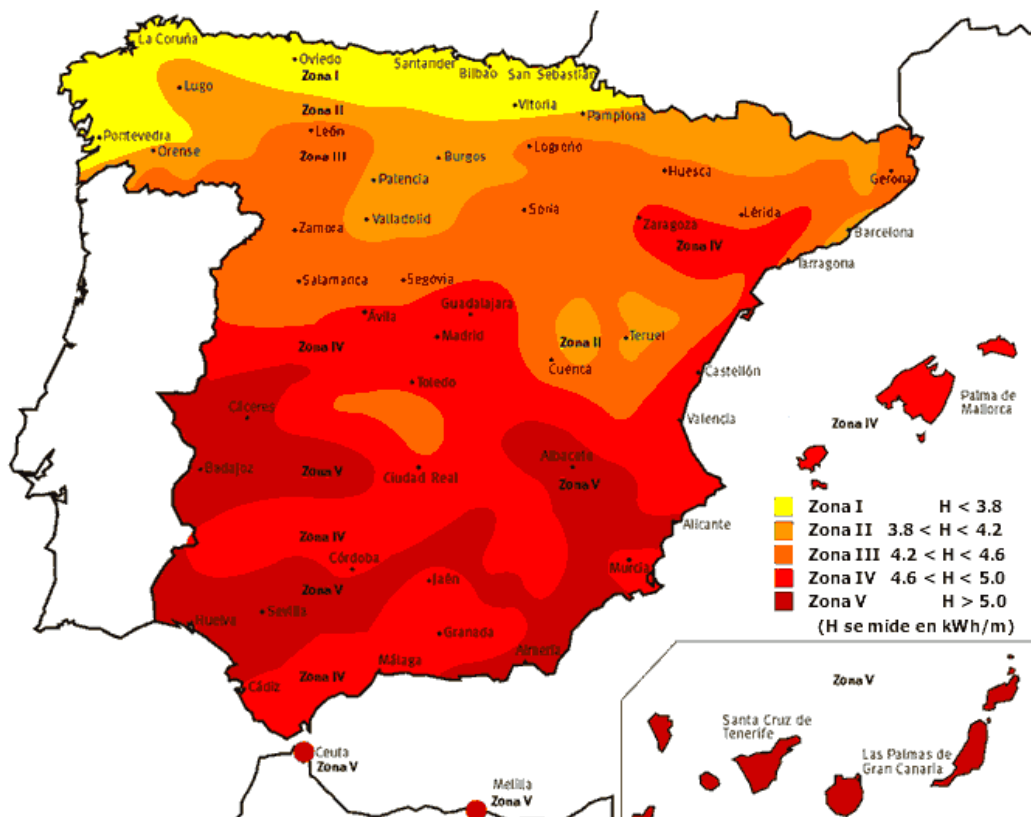
Tipo de edificio	m ² construidos	A	B
Comercial hipermercado	5.000	0,001875	-3,125
Comercial multitienda y centros de ocio	3.000	0,004688	-7,8125
Comercial gran almacén	10.000	0,001406	-7,8125
Oficinas	4.000	0,001223	1,3587
Hoteles y hostales	100 plazas	0,003516	-7,8125
Hospitales y clínicas privadas	100 camas	0,000740	3,28947
Pabellones de	10.000	0,001406	-7,8125

recintos feriales

Tabla A.A: coeficientes A y B para cada tipo de edificio, en función de su tamaño.

Zona climática	Radiación solar	C
I	$H < 13,7$	1
II	$13,7 \leq H < 15,1$	1,1
III	$15,1 \leq H < 16,6$	1,2
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	1,3
V	$18,0 \leq H$	1,4

Tabla A.B: definición de las zonas climáticas para el cálculo del coeficiente C.

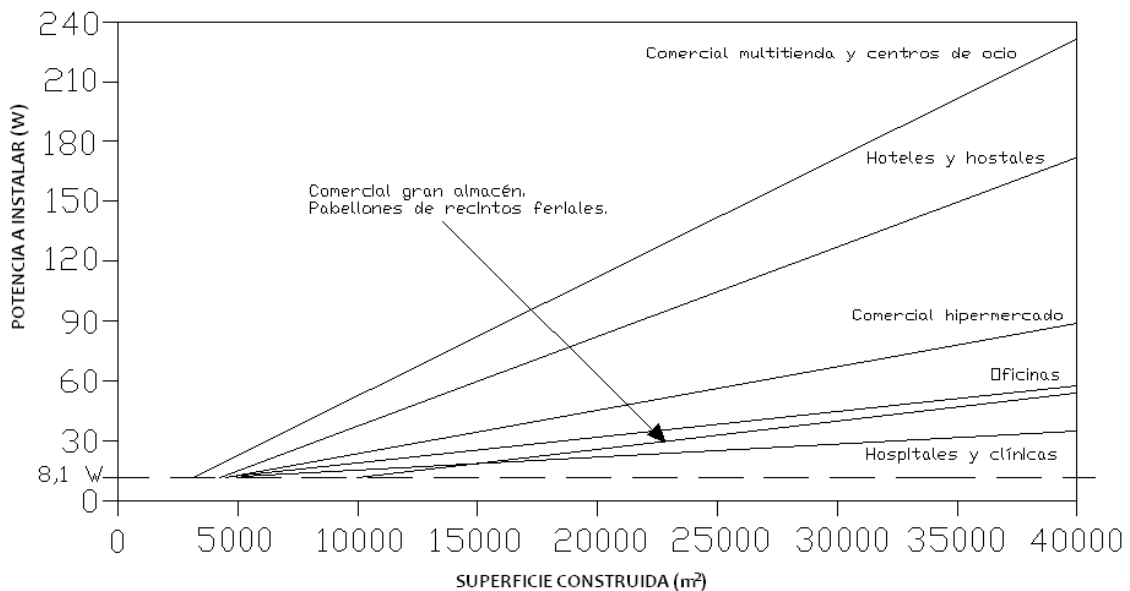


Mapa de las zonas climáticas

Fuente: CTE HE5

“Ver en CTE tabla de las zonas climáticas”

Los cálculos se han realizado para una localidad de la zona climática IV y se resume en la gráfica A.1. Esta gráfica muestra cómo evoluciona la potencia exigida en función de la superficie construida del edificio en cada aplicación considerada. En esta zona climática la mínima potencia a instalar es de 8,1 kWp. Como por ejemplo, un edificio comercial multitienda de 10.000 m² en Valencia (zona climática IV) debe albergar al menos una potencia de 50,8 kWp, mientras que un pabellón de recinto ferial de la misma superficie, 8,1 kWp.



Gráfica A.1 de potencia exigida en la zona climática IV en función de la superficie construida y el tipo de edificio.

Fuente: CTE HE5

El umbral de potencia instalada sólo podrá reducirse si se justifica alguno de los siguientes supuestos:

- La producción eléctrica es cubierta por otras fuentes de energía renovables.
- En edificios emblemáticos, si es incompatible con su protección histórico-artística y así lo determina el órgano competente.
- El edificio no recibe irradiación solar suficiente debido a barreras externas al mismo.

- En rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente o de la normativa urbanística aplicable.
- En edificios de nueva planta, cuando existan limitaciones no subsanables de la normativa urbanística aplicable.

En los tres últimos casos, sin embargo, deben incluirse medidas o elementos alternativos que produzcan un ahorro eléctrico equivalente al de la producción fotovoltaica.

Además, la disposición de los módulos procurará que las pérdidas sean mínimas con respecto a la orientación e inclinación óptimas (orientación sur, inclinación 10° menos de la latitud local). Esta desviación máxima permitida con respecto a la disposición óptima está en función del caso de integración considerado: general, superposición o integración arquitectónica, según se indica en la tabla A.C. Además, se establece un límite máximo de superficie afectada por sombras en cada caso, también recogido en la misma tabla. La suma de pérdidas por orientación e inclinación y por sombras no debe tampoco superar el umbral máximo, que está recogido igualmente en dicha tabla.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Tabla A.C. Pérdidas máximas permitidas por orientación e inclinación y sombras en sistemas sin integrar en Edificios, sistemas superpuestos y sistemas integrados arquitectónicamente.

Para más información, se puede consultar la sección HE 5 del Documento Básico HE Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación.

4. Envolvente fotovoltaica en la edificación

4. Envolvente fotovoltaica en la edificación.

4.1 Fotovoltaica en la piel del edificio

4.1.1 Introducción.

Hasta muy recientemente, los módulos fotovoltaicos se han diseñado con un único objetivo: la generación de electricidad a partir de la energía solar. El sistema de módulos o paneles fotovoltaicos era un nuevo artilugio, “no bienvenido”, que solía acabar en la cubierta del edificio, totalmente ajeno al concepto de integrarlo en la piel del edificio.

El primer paso para una integración efectiva es darse cuenta de que casi todos los edificios emplean sus ventanas como fuente de *energía solar pasiva* (que proporciona luz todo el año y ganancias de calor durante el invierno). Convertir las superficies opacas del edificio (fachadas, cubiertas o parasoles) en productores activos de electricidad, integrando en ellas paneles fotovoltaicos, es parte del mismo proceso de diseño que abre huecos en una fachada para conseguir iluminación y ventilación.

4.1.2 Opciones de integración.

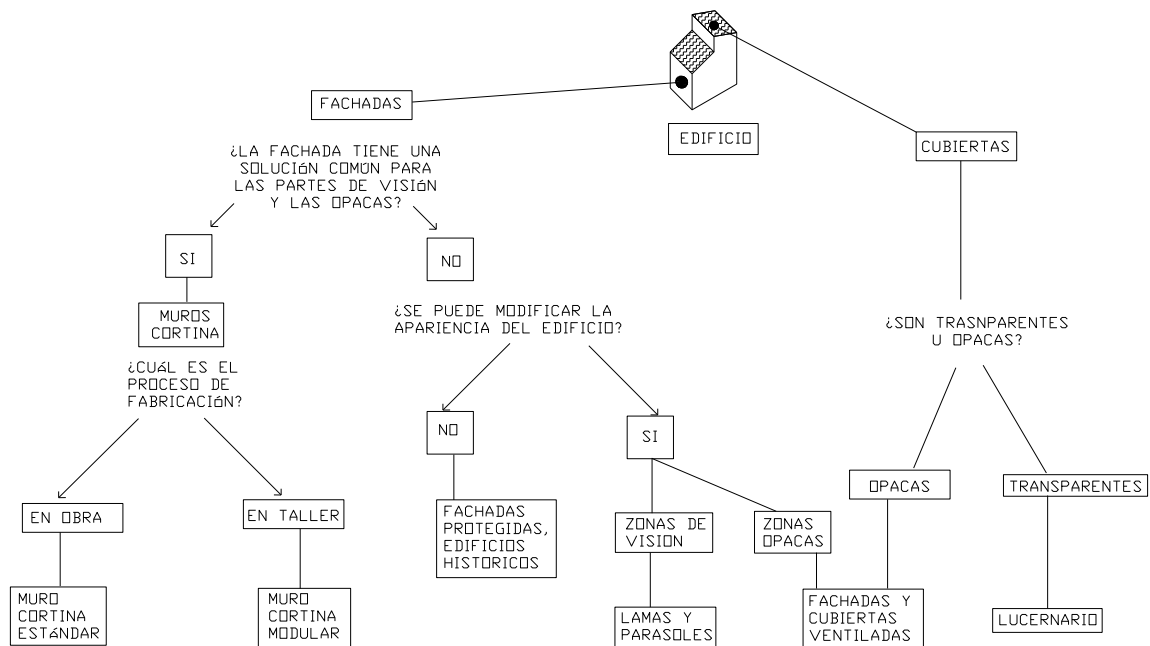


Figura 4.1: Posibilidad de aplicación de sistemas fotovoltaicos a la envolvente de un edificio en función de la posición y del tipo de cerramiento.

Hay cinco posiciones básicas (Ver figura 4.1) para que un sistema de paneles fotovoltaicos se integre en un edificio. En los siguientes puntos se verán con más detalle, ahora realizaremos un breve detalle:

- *Fachadas ventiladas* (Ver figura 4.2):

Los sistemas ventilados de revestimiento de fachada consisten en una piel exterior de paneles metálicos, de piedra, cerámicos o de otros materiales, dispuestos por delante de la pared opaca del edificio y montados sobre una subestructura auxiliar para permitir la ventilación del trasdós y el drenaje del agua infiltrada. Para las fachadas ventiladas, estos sistemas son muy adecuados para la integración fotovoltaica. La cámara posterior tiene como función reducir las temperaturas, por lo que contribuye a mantener un alto rendimiento además de proporcionar espacio para el cableado y las conexiones.

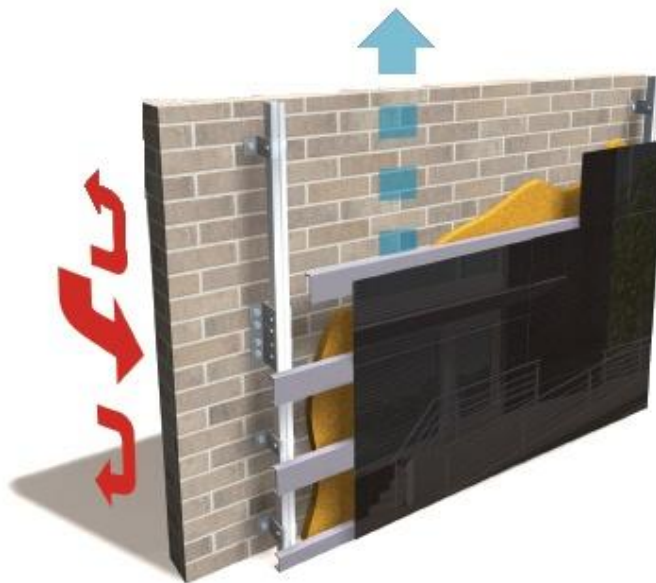
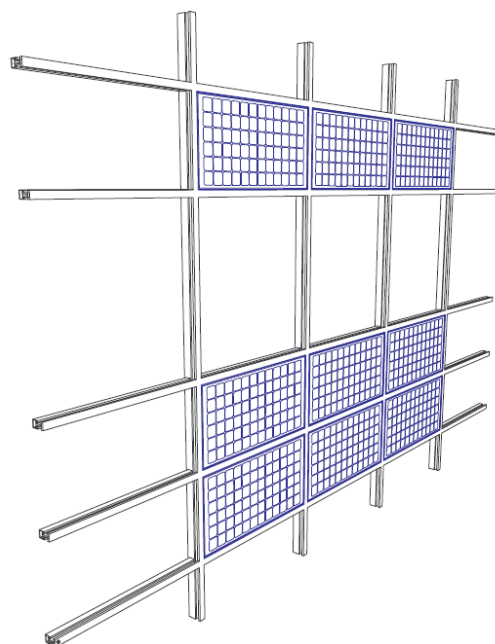


Figura 4.2: Fachada ventilada.
Fuente: OnixSolar.

- *Sistemas de muros cortina:*

En fachadas verticales o inclinadas, los muros cortina son una opción de recubrimiento conocida, aceptada y económica. Hay dos formas de diseñar e instalar un muro cortina: el sistema de montantes y travesaños (ver imagen derecha), montados en obra; y el sistema modular, prefabricado completamente en taller (ver figura 4.3). Ambos tipos pueden incorporar paneles fotovoltaicos, bien cubriendo toda la superficie o combinando partes transparentes con partes colectoras. Los muros cortina modulares son mejores desde el punto de vista constructivo,



porque la instalación y la conexión eléctrica de los módulos fotovoltaicos se hace en taller, bajo condiciones de garantía mas controladas.

Desde el punto de vista del rendimiento, el mayor problema de los muros cortina, además de la orientación y la posibilidad de tener sombras arrojadas, es la falta de ventilación posterior de los paneles fotovoltaicos, que puede causar una reducción de generación eléctrica. Una solución a esto son las fachadas de doble piel, aunque el coste aumenta a corto plazo.

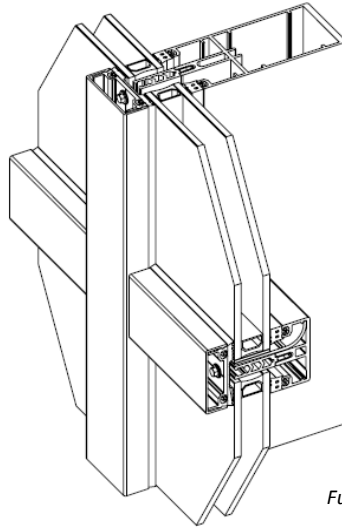


Figura 4.3: Muro cortina.
Fuente: Catálogo “Sopena estructuras”.

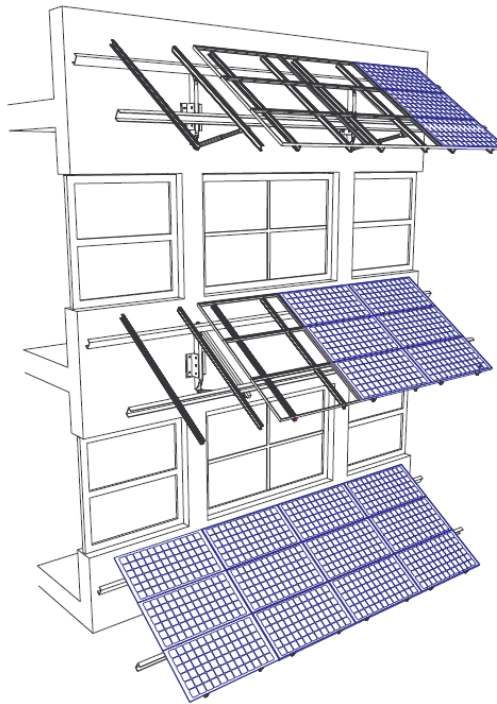
- *Sistemas de ventanas:*

En edificios con fachadas de ladrillo, hormigón u otros materiales opacos, las ventanas son los únicos elementos de iluminación y ventilación natural. Es habitual que su diseño integre partes fijas y practicables, las primeras para aumentar la iluminación y las segundas para la ventilación y el acceso a limpieza. En ventanas de formato vertical, el parapeto y el dintel superior son fijos, y las hojas practicables se sitúan en el tramo central.

La integración fotovoltaica puede hacerse ocupando con los paneles las partes fija de la ventana y dejando las practicables para la visión directa. Otra alternativa es emplear módulos semitransparentes de capas finas y cubrir con ellos toda la superficie de la ventana.

- *Lamas y parasoles de protección solar:*

Los parasoles pueden estar formados por elementos de vidrio o metálicos colocados en disposición inclinada u horizontal e instalados por fuera del cerramiento principal; puede cubrir parte de la fachada, generalmente una banda situada por encima de la línea de ventanas para prevenir así la radiación directa, o bien toda la fachada, actuando como una piel exterior; y pueden estar formados por lamas fijas o móviles.



Los parasoles son una buena superficie para la integración fotovoltaica por su inclinación hacia el sol y porque sus dos caras están ventiladas (ver imagen izquierda). El punto que hay que controlar es la sombra arrojada de una de las lamas sobre otras bajo ciertos ángulos solares, que afecta muy negativamente al rendimiento.

Un parasol de mayor dimensión y de disposición vertical pasa a convertirse en una pantalla de control solar, formada por lamas verticales u horizontales, que generalmente son orientables. En este caso, la capacidad para la instalación de paneles fotovoltaicos es muy alta.

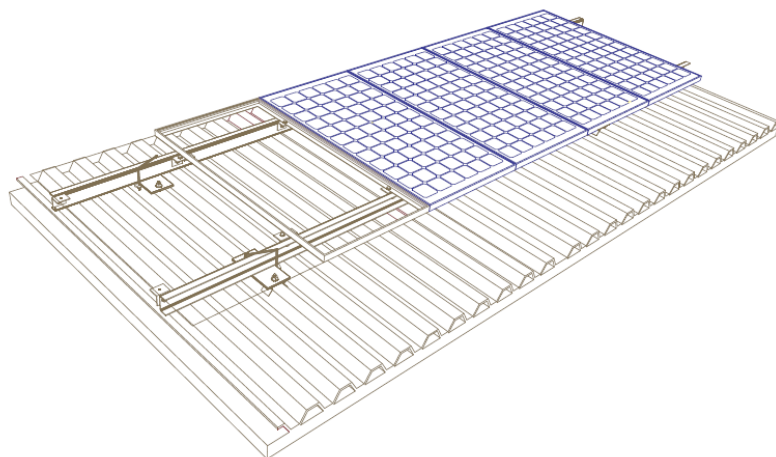
- *Cubiertas y lucernarios:*

Ésta es la mejor opción de integración fotovoltaica cuando no quiere alterar la imagen del edificio; y también es la mejor desde el punto de vista de la eficiencia. Es fácil de mantener libre de sombras, fácil de orientar al mejor ángulo solar y fácil de ventilar por detrás.

Las cubiertas inclinadas pueden incorporar paneles fotovoltaicos completos (ver imagen inferior) o bien tejas solares, muy adecuadas en viviendas unifamiliares. Las cubiertas planas

pueden recibir paneles inclinados o bien lucernarios translucidos y casi planos con paneles incorporados en el acristalamiento. En edificios industriales o pabellones

polideportivos, los paneles fotovoltaicos pueden colocarse en una orientación en forma de sierra de manera que por la orientación contraria entre luz natural. Si el edificio tiene una



cubierta curva, una buena opción es emplear paneles fotovoltaicos de capa fina, opacos, flexibles, sellados sobre una chapa nervada de cubierta.

Los lucernarios que cubren atrios o patios constituyen cubiertas transparentes en las que son máximas las implicaciones de diseño para los paneles fotovoltaicos, pues éstos quedan visibles desde el interior. Una posibilidad es integrar las células de silicio cristalino en un vidrio transparente y jugar con la separación entre las células para conseguir cierto nivel de sombra sin perder la transparencia.

4.1.3 Requerimientos exigibles.

En este apartado veremos los requisitos exigibles de los cerramientos cuando se trata de colocar el sistema fotovoltaico en las fachadas de un edificio.

La fachada de los edificios proporciona una barrera entre el ambiente exterior y el ambiente interior. La piel del edificio necesita controlar la cantidad de aire que la atraviesa, prevenir la entrada de agua y humedad, así como reducir los puentes térmicos y la transmisión acústica. Además, la fachada de los edificios debe controlar los requisitos de seguridad contra intrusión y contra incendios. Por todo ello se exige a las fachadas el cumplimiento de una serie de requisitos.

4.1.3.1 Vida útil.

La vida útil que se asocia desde el diseño a los cerramientos y a sus componentes depende del uso de cada edificio. Por ejemplo, la vida útil de un edificio de oficinas es de 60 años, mientras que la vida útil de su fachada ligera puede ser de tan solo 30 años.

Desde el punto de vista de la vida útil de las fachadas, hay tres categorías de elementos:

- *Elementos reemplazables*: son las partes que se sabe que van a durar menos que la vida útil de la fachada, y para las cuales se ha previsto su reemplazo. Ejemplo de ello son las juntas de goma exteriores, los sellados de silicona y los vidrios, para los que se estima una vida útil de 20 y 25 años.

- *Elementos mantenibles*: son las partes que está previsto que duren tanto como la vida útil del cerramiento, pero a base de tratamientos periódicos y mantenimiento. Un ejemplo son las juntas de goma interiores de las ventanas y los herrajes.

- *Elementos duraderos*: son las partes que se espera que permanezcan inalterables durante toda la vida útil del cerramiento, sin otro mantenimiento que la

limpieza. Un ejemplo son los perfiles principales de un muro cortina o los anclajes de las fachadas a la estructura principal.

4.1.3.2 Comportamiento estructural.

Los elementos estructurales de un cerramiento se diseñan y calculan mediante tensiones máximas y deformaciones máximas. En la mayoría de los casos, los elementos de cerramiento se diseñan para soportar cargas de viento, nieve y otras sobrecargas como las de impacto, barreras o mantenimiento. Los efectos de las cargas sísmicas o de explosiones también deben ser considerados.

4.1.3.3 Movimiento del edificio y tolerancias.

Debe prestarse especial atención a la integración entre la estructura del edificio, sus movimientos y deformaciones previstas, y el cerramiento que la envuelve.

La rigidez de la estructura determina la necesidad de permitir movimientos relativos dentro de los elementos del cerramiento, y de delimitar el tamaño de las juntas existentes entre ellos. En muchos casos, una estructura más rígida en el perímetro del edificio limita los movimientos entre los elementos de fachada y, en consecuencia, reduce la anchura de sus juntas.

Existen unas excepciones; como los componentes de la fachada que se extienden de pilar a pilar, o las fachadas auto portantes, apoyadas en el suelo.

4.1.3.4 Permeabilidad al aire.

La envolvente del edificio necesita alcanzar cierto grado de permeabilidad al aire para evitar un consumo excesivo de calefacción o de climatización debido a una ventilación excesiva. El diseño de la fachada debe incorporar barreras de aire continuas para minimizar la infiltración de aire a través de la fábrica.

4.1.3.5 Permeabilidad al agua.

La fachada del edificio necesita ser estanca, para lo que el diseño de los cerramientos debe incorporar varias líneas de defensa contra la penetración de agua. La estanqueidad se logra normalmente por medio de juntas de goma, que pueden ser de EPDM (etileno propileno dieno monómero) o de silicona. Muchos sistemas de cerramiento se basan en una cámara de aire situada detrás de la fachada con la misma presión de aire que el ambiente exterior. Por lo tanto, la fachada exterior actúa como una pantalla de lluvia que desvía la mayor parte de agua.

Un sellado de estanqueidad continuo incluido en la hoja interior de la fachada resulta esencial para mantener la diferencia de presiones y asegurar la estanqueidad del conjunto. No obstante, lo más importante es contar con un buen drenaje y una

adecuada ventilación de la cámara intermedia, de manera que el agua que atraviese la primera hoja pueda ser guiada de nuevo hacia el exterior.

4.1.3.6 Prestaciones térmicas.

Un cerramiento tiene que actuar de filtro en la transmisión de calor entre el ambiente interior y el exterior. El objetivo es lograr un ambiente interior confortable y consumir la mínima cantidad de recursos energéticos.

En climas con veranos e inviernos extremados, los flujos de intercambio de calor en las dos direcciones a través de la fachada son de gran importancia. En invierno, el objetivo es limitar las pérdidas de calor por la fachada hacia el exterior. El coeficiente que mide la pérdida de calor a través de una fachada es la transmitancia térmica o coeficiente U [$W / (m^2 K)$]. Tal como lo define **el Código Técnico de la Edificación**, el coeficiente U cuantifica la cantidad de calor que pasa a través de una unidad de superficie [m^2] por unidad de tiempo [$W=J/s$] y por grado de temperatura [K] entre los ambientes situados a ambos lados de un cerramiento. Cuanto más bajo sea el coeficiente U, menos calor se pierde a través de la envolvente del edificio.

Para los edificios con fachadas de un solo material, el coeficiente U global de la fachada se puede calcular por métodos directos. En construcciones más complejas se requieren métodos de cálculo más complejos.

En verano el objetivo es controlar las ganancias de calor que entran en el edificio a través de la fachada. Dependiendo del tipo de edificio y de su uso, estas ganancias pueden ser favorables o indeseadas. Por ejemplo, los edificios de oficinas tienen unas cargas térmicas bastantes altas, debido al nivel de ocupación y al equipamiento, por lo tanto las ganancias exteriores de calor se deben reducir lo máximo posible. Por el contrario, los edificios destinados a viviendas se pueden beneficiar de esas ganancias de calor para reducir coste en calefacción para el invierno. Lo que está claro es que en el verano de nuestro país debemos luchar contra el sobrecalentamiento en todos los tipos de edificios.

La ganancia de energía solar se produce fundamentalmente a través de las superficies acristaladas de las fachadas. El coeficiente que cuantifica esa ganancia se denomina "**factor solar**". El factor solar de una fachada acristalada indica el porcentaje de flujo de energía solar que entra en el edificio a través del acristalamiento [W/m^2] con respecto al total de radiación solar que incide sobre el exterior del mismo [W/m^2]. La energía total que entra es la suma de la radiación directa que atraviesa el vidrio, y de la energía irradiada desde el vidrio, por convección y conducción, después de haber sido absorbida por éste.

4.1.3.7 Seguridad y resistencia.

Durante la vida útil de un edificio, los componentes de la fachada pueden fallar prematuramente por varias causas: daños accidentales, defectos en los materiales, vandalismo o explosiones.

Desde el punto de vista de la seguridad, el mayor riesgo es la rotura de vidrios o de ventanas, y más si la posición del vidrio es horizontal como pueden ser lucernarios, marquesinas...

A la hora de diseñar un acristalamiento, es preciso tener en cuenta una serie de factores:

- Posibilidad de caída de gente o de objetos que hayan impactado sobre el vidrio.
- Uso interior y exterior del espacio, y probabilidad de impacto accidental o provocado sobre el vidrio.
- Consecuencias del colapso del vidrio desde el punto de vista de la retención de las personas y de la contención de las piezas de vidrio rotas.
- Cuestiones de seguridad en relación con la limpieza y el mantenimiento de la fachada.

Los vidrios pueden templarse o laminarse para aumentar su resistencia frente a la rotura. En el vidrio templado, la resistencia aumenta hasta cinco veces respecto al vidrio recocido convencional. Mediante el laminado se hace trabajar conjuntamente a dos o más capas de vidrio, con lo que la rotura de una de ellas no pone en peligro la estabilidad del conjunto. Tanto el vidrio templado como el laminar se denominan "**vidrios de seguridad**". Desde el punto de vista de la seguridad, una preocupación actual en relación con el vidrio templado es el riesgo de rotura espontánea debido a la presencia de partículas de sulfuro de níquel. Estas partículas son impurezas presentes en la masa del vidrio durante un proceso de fabricación por flotado. Durante la fase posterior de templado, las inclusiones de sulfuro de níquel varían de forma y pasan a adquirir una estructura cristalina, de menor volumen. Cuando el vidrio templado se enfría rápidamente, las partículas de sulfuro de níquel mantienen la nueva estructura. A partir de ahí, y durante un periodo de tiempo de varios años, las inclusiones tienden a volver a su forma original, aumentando de tamaño entre un 2% y un 4%, lo que puede causar la rotura del vidrio. Lo más peligroso es que las partículas son indetectables y pueden provocar roturas de forma impredecible a lo largo del tiempo.

Para reducir la posibilidad de rotura del vidrio por inclusiones de sulfuro de níquel se hace pasar el vidrio durante la fabricación por una exposición acelerada a

altas temperaturas, con lo que las inclusiones aumentan de tamaño rápidamente y provocan la rotura del vidrio. Este procedimiento se conoce como ensayo HST. Este procedimiento reduce la posibilidad de que posteriormente se produzca la rotura espontánea, pero no se elimina por completo.

4.1.3.8 Aislamiento acústico.

Las prestaciones acústicas de una fachada están en relación con la masa y la composición del vidrio, así como la permeabilidad al aire de las juntas en el cerramiento. El aislamiento al ruido se puede mejorar instalando rellenos de algún material absorbente al ruido y asegurando la máxima estanqueidad al paso del aire.

Desde el punto de vista acústico, el punto débil de una fachada son los elementos acristalados, tanto por su menor masa relativa como la presencia en ellos de aberturas, con mayor infiltración de aire. Los parámetros principales que controlan las prestaciones de una fachada acristalada son el espesor del vidrio, la infiltración de aire a través de la carpintería y el tipo de vidrio empleado. Otros factores de menor importancia son el tipo de perfil que separa las dos hojas de un doble acristalamiento, la presencia de películas aislantes en el vidrio, el espesor y tipo de gas presente en la cámara de aire en los vidrios dobles y el tamaño de los vidrios.

4.1.3.9 Resistencia al fuego.

Normalmente, las plantas de un edificio constituyen sectores de incendio independientes. La resistencia al fuego y el sellado al paso del humo en los espacios existentes entre la fachada y el borde del forjado son esenciales para detener el paso del fuego y los gases de combustión entre las plantas. Las superficies opacas situadas por delante del borde del forjado deben incorporar en su cara interior un aislamiento térmico no combustible.

A menudo los códigos contra incendios requieren la previsión de paneles de vidrio especiales en fachada para permitir el acceso de los bomberos. Estos paneles se rompen para entrar en el edificio, por lo que normalmente se fabrican con vidrio templado. La razón es el tipo de fractura de estos vidrios, en pedazos pequeños, lo que permite el acceso en condiciones seguras.

4.1.3.10 Tensiones térmicas en el vidrio.

El término que describe las tensiones internas creadas cuando el vidrio está sometido a diferentes temperaturas en varios puntos de su superficie es el de **“choque térmico”**.

El vidrio presente en las zonas transparentes y opacas de una fachada se expande en respuestas al calor. Cuanta más capacidad de absorción tiene el vidrio,

mayor y más rápida es su respuesta a la radiación solar. Si los bordes del vidrio están encapsulados en la perfilería que los retiene, se calientan y se expanden mucho menos. Una reacción similar se da cuando el vidrio recibe de otro edificio o de un elemento exterior una sombra parcial que marca una línea de separación. Si la diferencia de temperatura entre la parte en sombra y la parte expuesta al sol excede de unos 25-30°, el vidrio recocido se puede fracturar.

La rotura por choque térmico se reconoce generalmente porque empieza en perpendicular al borde del vidrio y progresa mediante una fisura en curva serpenteante. Otros factores que afectan a la seguridad frente al choque térmico son la existencia de cortinas, fuentes internas de calor, sombras exteriores, películas adheridas sobre el vidrio y la situación geográfica.

Cuando existe riesgo de rotura por choque térmico, el vidrio debe ser tratado térmicamente para incrementar su resistencia a la rotura. Los dos tipos de tratamiento térmico existentes son el "*templado*" y el "*termo-endurecido*".

4.2 Sistemas de fachada ventilada.

4.2.1 Concepto de fachada ventilada.

El concepto se basa en dividir la fachada en dos pieles independientes y con usos distintos, separada las pieles por una cámara de aire ventilada. La piel interior es la fachada resistente, estanca y aislada, mientras que la piel exterior tiene como objetivo proteger a la interior de la acción directa de agentes atmosféricos como puede ser la lluvia.

La hoja interior de una fachada ventilada puede ser un muro de hormigón o ladrillo, o una pared de bloques o de paneles prefabricados. En su cara exterior se fija un aislamiento térmico, se intercala una barrera de vapor entre el aislamiento y el muro, y se añade una lámina impermeable respirante al exterior del aislamiento. El aislamiento térmico por fuera de la hoja interior, la barrera de vapor y la membrana impermeable protegen dicha hoja interior de los efectos de la humedad y de la radiación solar, con lo que se minimizan los efectos de dilataciones y contracciones térmicas. Además, es fácil evitar los puentes térmicos generados por los elementos estructurales.

Sobre la hoja interior se fijan unos anclajes puntuales o unos perfiles que permiten la colocación de los paneles que forman la hoja exterior. La cámara de aire entre las dos hojas se construye de manera que todas o algunas de las juntas de la hoja exterior estén abiertas. El agua que penetra a través de las juntas exteriores se recoge por gravedad y se evacua de nuevo al exterior en la parte baja de la cámara.

¿De qué materiales podemos construir la hoja exterior?

Puesto que va a recibir el sol, el agua y parte del viento, debe ser una capa resistente y duradera a los agentes atmosféricos. Como no tiene más función que la de barrera al agua y al sol, nos interesa que pese lo menos posible y que su espesor sea pequeño. La gama de materiales es muy amplia: paneles de aluminio “*composite*”, piezas de piedra natural, terracota, laminados de madera prensada o de alta densidad, otros *composites* metálicos, vidrio... y por supuesto, paneles fotovoltaicos.

4.2.2 Principios de construcción.

La fachada ventilada puede construirse de dos maneras, la primera se conoce como “fachada drenada y transventilada (figura 4.9)” y la segunda como “fachada con equalización de presiones (figura 4.4)”. La diferencia entre ambos sistemas está en la cantidad de agua que puede penetrar en la cámara, lo que viene determinado a su vez por el tamaño total de la fachada.

En la fachada drenada y transventilada no se hacen grandes esfuerzos por evitar la entrada de agua a través de las juntas de la hoja exterior, con lo que la cantidad de agua que las atraviesa y que después corre hacia abajo por la cara interior de los paneles puede ser bastante grande. En la parte interior de la cámara o por encima del dintel de los huecos de la fachada tiene varias plantas, se inserta un remate que vuelve a sacar el agua al exterior, con lo que se evita su acumulación y posible entrada a través de la hoja interna. La amplia ventilación de la cámara facilita la evaporación del agua absorbida. Un ejemplo típico de fachada drenada y transventilada son las fachadas ventiladas de piedra natural, con fijaciones puntuales en el canto de las planchas de piedra. El límite de estos sistemas está en su tamaño: si el número de plantas es elevado, la acumulación de agua en la cámara de las plantas inferiores es demasiado grande y el sistema alcanza el límite de absorción de agua, a partir de lo cual se produce la entrada en la hoja interior.



*Figura 4.4: Fachada con equalización de presiones con módulos fotovoltaicos como acabado; Edificio situado en Barcelona
Fuente: Fotografía realizada por el autor.*

En la fachada con ecuilibración de presiones (ver figura 4.8), la cantidad de agua que entra en la cámara es mínima, gracias a un conjunto de factores como el diseño de las juntas, la compartimentación de la cámara, la inserción de goterones, la posición de los huecos de ventilación, la ausencia de capilaridad o tensión superficial entre ambos lados de la junta... el resultado es que las fuerzas que impulsan el agua a través de las juntas se hacen casi irrelevantes, y la cantidad de agua que llega a la cámara es mucho menor que en el primer tipo. Un ejemplo de fachada con ecuilibración de presiones son los muros cortina de paneles ciegos de los edificios en altura. Es evidente que incluso en este caso se necesita una ventilación de la cámara y un remate inferior para recoger y enviar al exterior el agua infiltrada. Aunque obligan a un mayor control de los detalles de diseño y ejecución, estos sistemas permiten el funcionamiento de la fachada ventilada con independencia de su tamaño y su grado de exposición.

4.2.3 Integración de módulos fotovoltaicos en fachadas ventiladas (ver figura 4.5).

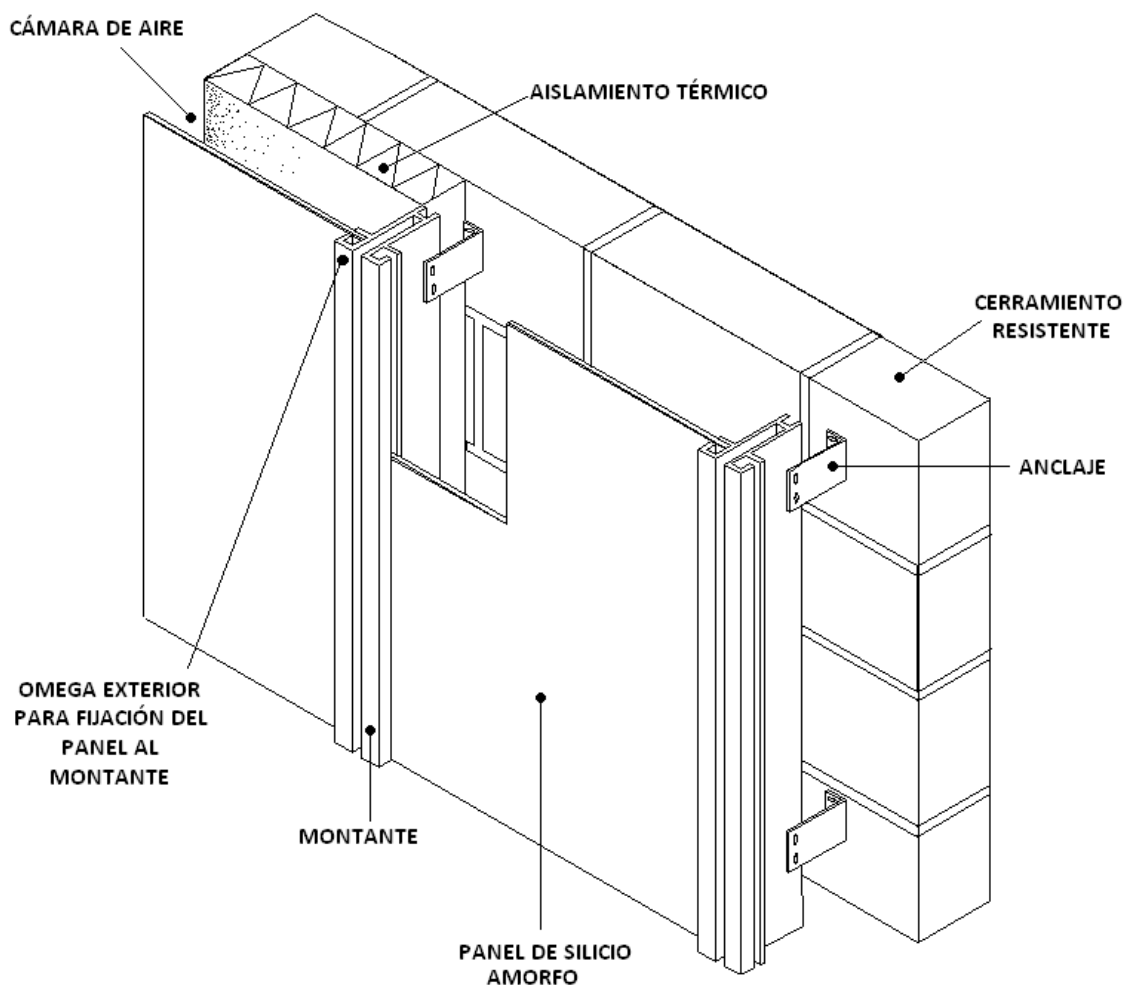


Figura 4.5: Esquema general de una fachada ventilada con paneles exteriores de silicio amorfo; es conveniente permitir la ventilación del trasdós que queda entre los montantes y el aislamiento térmico.

Fuente: Detalle elaborado por el autor.

Las fachadas ventiladas con la hoja exterior superpuesta representan una muy buena oportunidad para la integración de los paneles fotovoltaicos (figura 4.6). La tecnología de las fachadas ventiladas ya ha desarrollado todos los elementos necesarios para incorporar estos sistemas, solamente sustituyendo los paneles de vidrio, aluminio o cerámica por paneles fotovoltaicos.



Figura 4.6: Sede de Isofotón en Málaga.

Fuente: Imágenes cedidas por Isofotón.

Se puede distinguir dos familias de soluciones de fachadas ventiladas con paneles fotovoltaicos:

- *Las basadas en vidrio.*
- *Las basadas en otros soportes opacos.*

En la primera de ellas ("*basadas en vidrio*") se parte de sistemas existentes de muro cortina de vidrio sobre fachadas opacas, en los que unos montantes verticales en forma de T o de U reciben paneles de vidrio fijados a un cerco perimétrico de aluminio. El vidrio puede estar sujeto periméricamente al cerco mediante junquillos exteriores fijados a presión o mediante pegado con silicona estructural. La integración del módulo fotovoltaico consiste en sustituir el vidrio templado o laminar de la hoja exterior, generalmente opaco, por un panel de vidrio laminar con células fotovoltaicas de silicio cristalino o amorfo.



Figura 4.7: Edificio de Atersa y Tau cerámica.
Fuente: cedida por Tau Cerámica.

En la segunda familia (*"basadas en otros soportes opacos"*) se parte de cualquier sistema de fachada ventilada a base de paneles ligeros opacos fijados sobre una estructura de perfiles verticales en U como bandejas de aluminio plegado, paneles laminados de alta densidad, gres vitrificado... en este caso, la integración pasa por adherir sobre el panel opaco un módulo fotovoltaico de células amorfas de capa delgada (figura 4.7).

La ventaja de incorporar paneles fotovoltaicos a este tipo de fachadas es la posibilidad de ventilar el trasdós del panel, lo que aumenta sensiblemente su rendimiento en función de la temperatura exterior y del grado de ventilación de la cámara. La caja de conexiones del panel puede fijarse sobre la cara interior de los paneles, aprovechando el ancho de la cámara. El cableado de conexión puede canalizarse a lo largo de los perfiles verticales que soportan los paneles, y atravesar la piel interior en un punto determinado, ya sea en la base o en el extremo superior de la fachada.

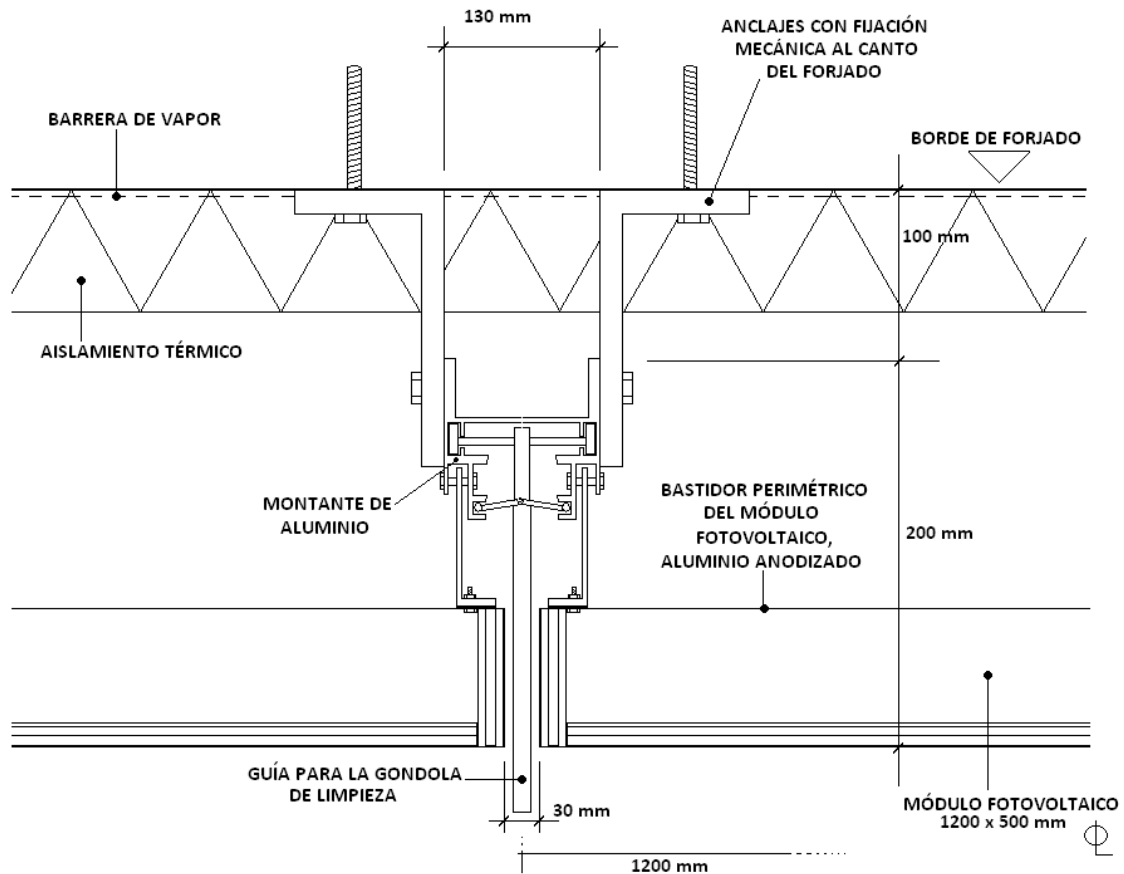


Figura 4.8: Solución constructiva en corte horizontal por una fachada ventilada.

Fuente: Detalle realizado por el autor.

Las dimensiones de la fachada pueden ajustarse a las medidas estándar de los módulos fotovoltaicos, con lo que se reducen los costes de suministro. Además, la combinación de varios módulos estándar puede encajar con las dimensiones típicas de la fachada ventilada, ya sea la altura entre plantas o la anchura total. De esta forma pueden evitarse paneles de dimensiones especiales o laminados no convencionales.

Desde el punto de vista del rendimiento eléctrico, es preferible que la fachada ventilada donde se sitúan los paneles sea del tipo drenado y transventilado, porque en él la ventilación de la cámara es mayor y la temperatura de la cara interior del panel fotovoltaico desciende más rápidamente. Por otra parte, si la fachada es de grandes dimensiones (gran altura), es preferible optar por una fachada ventilada con equalización de presiones, para reducir la cantidad de agua presente en la cámara, que podría dañar el cableado o penetrar por los pasos a través de la hoja interior.

4.2.4 Mantenimiento y limpieza.

Las fachadas recubiertas con una hoja exterior de tipo ventilado no suelen incorporar sistemas de limpieza como las góndolas que descienden desde la cubierta. Se confía normalmente en el agua de escorrentía en los días de lluvia ya que mantiene la fachada en un estado de limpieza suficiente. Esta situación puede o no ser aceptable si tenemos paneles fotovoltaicos integrados, dado que la suciedad acumulada sobre el vidrio hace disminuir rápidamente el rendimiento eléctrico.



Figura 4.9: Manchester College of arts and technology, Manchester
Fuente: Cortesía de SolarCentury.com

Hay dos medidas para evitar ese efecto. La primera y más recomendable es instalar un sistema de limpieza mediante góndola, es decir, una pequeña grúa que se desplaza sobre carriles en la cubierta y de la que cuelga una cesta mediante cables. De esta forma se resuelve tanto la limpieza como el mantenimiento, aunque su coste inicial es alto. Por este motivo, solo se instala cuando la superficie que hay que limpiar es grande.

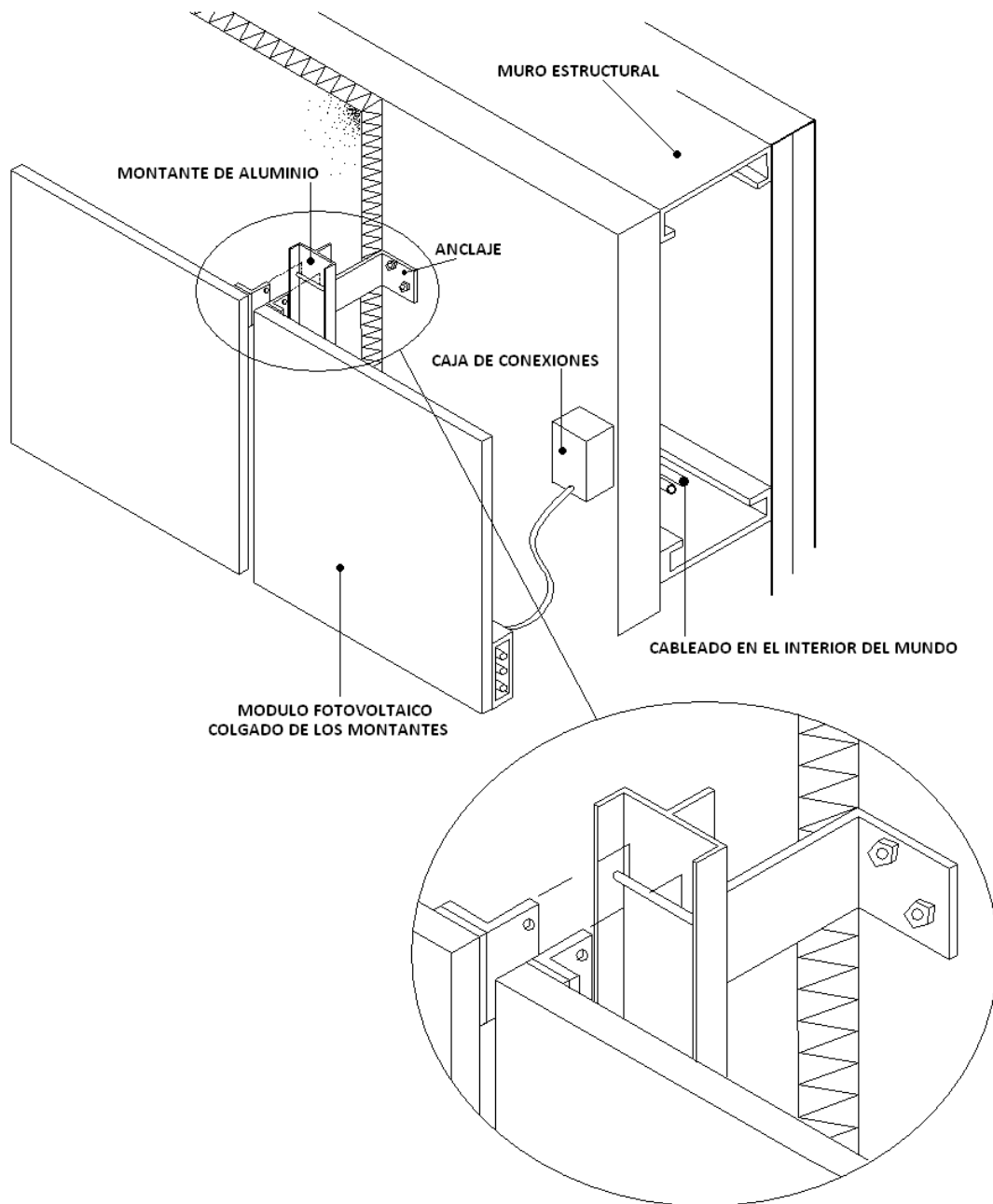


Figura 4.10: Esquema del principio de accesibilidad al cableado tras los paneles; si fuese preciso, descolgando un panel de fachada se tiene acceso al cableado interior y a la caja de conexiones; el cableado interior va por dentro del muro estructural y es accesible sólo desde el interior.

Fuente: Detalle realizado por el autor.

Si la fachada fotovoltaica es de vidrio, se puede optar por añadir un acabado de tipo autolimpiable en la cara exterior. Se trata de una capa incolora de dióxido de titanio que fomenta el llamado "efecto fotocatalítico": una reacción química en la que los rayos ultravioleta de la luz solar interactúan con el oxígeno y el recubrimiento del vidrio, descomponiendo las partículas de suciedad orgánica y desprendiéndose del vidrio. Cuando llueve, el agua se lleva las partículas y el vidrio se mantiene limpio. No obstante, su uso debe limitarse a zonas con una alta exposición solar, pues la capa

autolimpiable reduce la transmisión luminosa en torno a un 7%. Si la fachada está recubierta con silicio amorfo de capa delgada, la protección polimérica de las células ya incorpora una capa autolimpiable.

En general, las operaciones de mantenimiento y sustitución de paneles fotovoltaicos sobre las fachadas ventiladas son sencillas (figura 4.10). Debe asegurarse que todos los paneles sean accesibles desde el exterior, ya sea mediante una góndola en la cubierta o mediante una grúa o plataforma elevadora externas. Los paneles individuales pueden descolgarse fácilmente soltando los puntos de fijación a través de las juntas. Cuando se desmonta uno o varios paneles se tienen acceso desde fuera al cableado.

4.3 Muros cortina tradicionales.

4.3.1 Concepto y tipos de muro cortina.

El concepto constructivo que caracteriza el muro cortina (figura 5.2) es que se trata de un cerramiento colgado, no apoyado. Por tanto el nombre de "cortina" es el adecuado. La razón es que la pequeña sección de los perfiles verticales, normalmente de aluminio, que soportan el peso de los vidrios no permite su trabajo a compresión, pues podrían doblarse por pandeo. Si se cuelgan de anclajes fijados en el forjado superior, el problema del pandeo desaparece, y la dimensión de la perfilería responde fundamentalmente a las cargas de viento que debe soportar. La diferencia entre un muro cortina y una fachada ligera es que en el primer caso nos referimos a cerramientos mayoritariamente acristalados, mientras que las fachadas ligeras incluyen otros tipos, como paneles sándwich opacos o las fachadas ventiladas.

Desde la óptica de la integración de los paneles fotovoltaicos, es conveniente dividir los muros cortina en dos grandes familias, en función del sistema de fabricación y puesta en obra: los sistemas tradicionales de montantes y travesaños, y los muros cortina modulares, estos últimos hablaremos en el siguiente capítulo.

El sistema más común de fabricación y ensamblaje de muros cortina consiste en llevar allí su montaje como un mecano (figura 4.12). Los perfiles verticales fijados a los anclajes en cada planta, se denominan "montantes", mientras que los perfiles horizontales, atornillados entre los montantes, son los "travesaños". El siguiente elemento que se instala es el vidrio.

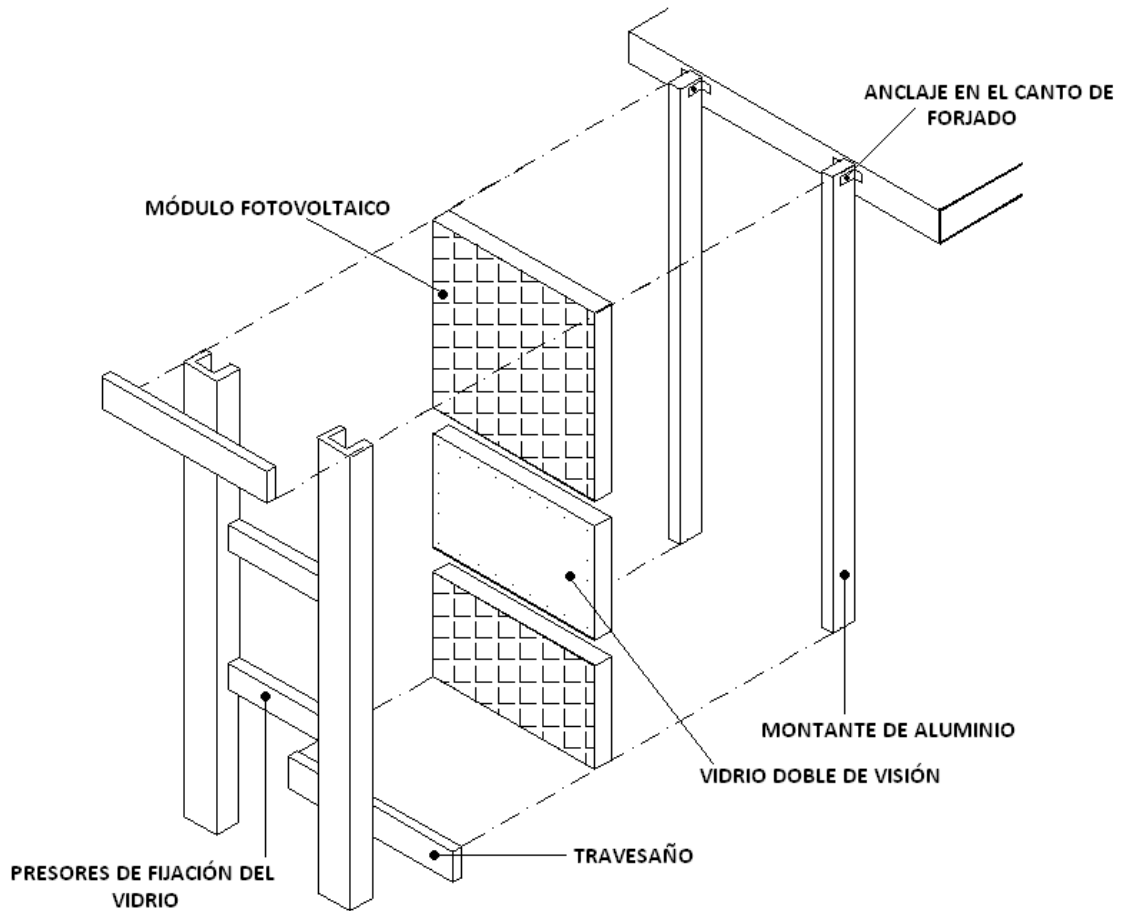


Figura 4.12: Esquema de componentes y sistema de montaje de un muro cortina tradicional que pasa por delante de los bordes de forjado de la estructura; en este caso los módulos fotovoltaicos se han integrado en las partes opacas del muro cortina.

Fuente: Detalle realizado por el autor.

En las zonas opacas (que corresponden con los pasos de forjados, pilares o núcleos de escalera) se puede optar por vidrio de doble acristalamiento o bien por un vidrio monolítico encapsulado en una bandeja con aislamiento térmico y un panel interior metálico. A veces se sustituye el vidrio de las zonas opacas por paneles “composite” (paneles sándwich de muy pequeño espesor, entre 4 y 6 mm, sin función aislante, desarrollados para mejorar el carácter plano de los chapados metálicos; se componen de dos capas metálicas muy finas entre 0,5 y 1 mm en función del metal, y de un relleno intermedio de polietileno u otro material de alta densidad. Las soluciones habituales son de aluminio prelacado, pero también se realiza de zinc, acero inoxidable o cobre) de aluminio, de otros materiales o incluso de piedra natural, pero sin cambiar el concepto de elementos de relleno sujetos a una perfilería principal. El resto de los elementos del muro cortina son las juntas de goma, las piezas de apoyo del vidrio y los anclajes que cuelgan el conjunto a los forjados o las vigas de borde.



Figura 4.13: Ejemplo de un muro cortina a base de montantes y travesaños; Los montantes se cuelgan de la viga metálica de cubierta y se apoyan sobre el forjado inferior. Centro de servicios empresariales “Las Mercedes”; Madrid.

Fuente: Fotografía realizada por el autor.

La solución de montantes y travesaños sigue siendo la más habitual porque responde bien a las necesidades de los edificios de baja y media altura, y con requerimientos de calidad media o alta (figura 4.13). En cambio, no se recomienda para edificios de gran altura (>60 metros) por el sobrecoste de añadir andamios y el mayor tiempo de montaje en relación con el sistema modular.

El montaje de muros cortinas tradicionales a base de montantes y travesaños depende en gran medida de los equipos de instaladores en obra, pues es ahí y no en el taller donde se ejecutan la mayor parte de los trabajos de responsabilidad. En consecuencia, los procedimientos de control de calidad tienen que enfocarse a las actividades de montaje, que implican un mayor riesgo.

4.3.2 Principios de construcción.

Al tratarse de un cerramiento no portante, los montantes transmiten tan solo las cargas horizontales debidas al viento y el peso propio vertical del muro cortina a la estructura principal, generalmente al forjado que está por encima de cada planta. Normalmente, los montantes se diseñan con una altura de una planta (entre 3,2 y 4,5 metros, pueden ser mayores en las plantas bajas), aunque a veces puede interesar que sean continuos y abarquen dos plantas. El límite de longitud lo establece la absorción

de las tolerancias por dilatación térmica y por movimientos del edificio en las juntas: a mayor longitud, se necesita más ancho de junta. Para montantes de una planta se suelen dejar juntas verticales de dilatación entre montantes de 10 milímetros. Los travesaños se fijan entre los montantes para formar una retícula que determina las zonas de visión. El relleno siempre es un doble acristalamiento, para las opacas podemos emplear vidrio opaco simple o doble, metal, piedra u otro material rígido y duradero, combinado con un aislamiento térmico en la cara interior.



Figura 4.14: Colocación de muro cortina en edificio.

Fuente: Fotografía realizada por el autor.

Las juntas entre los paneles de relleno (vidrio u otros) y la perfilería del muro cortina se resuelven mediante perfiles de goma preformada, o caucho termoplástico, o bien aplicando en obra silicona neutra sobre un fondo de junta. Los paneles de relleno se mantienen en su sitio gracias a los “presores”, unos perfiles continuos de aluminio atornillados cada 40-50 centímetros a los montantes y/o travesaños. Esta disposición típica da lugar a la imagen clásica de la perfilería exterior vista en vertical y horizontal, que no es otra que la que forman los presores cubiertos por unas tapas fijadas a presión para cubrir los tornillos.

Cada vez es más habitual emplear una solución alternativa para fijar los elementos de relleno; así, se recurre a emplear presores en una sola dirección, horizontal o vertical, o bien se esconde la fijación por puntos a base de piezas excéntricas atornilladas en una ranura preparada en el doble acristalamiento, de manera que sólo se ve vidrio y una junta enrasada en ambas direcciones. Es imprescindible que los elementos de relleno participen en las juntas de dilatación entre plantas, por lo que hay que prever espacio para el movimiento relativo entre los paneles y la perfilería. Cuando la junta que hay que cubrir es de dilatación estructural

del edificio, lo más conveniente será doblar los montantes y sus anclajes, dejando un perfil de goma en omega para absorber los movimientos previstos sin poner en cuestión la estanqueidad. Insisto en la importancia de prever los movimientos relativos entre la estructura y la fachada porque una falta de previsión o una incorrecta ejecución de las juntas de dilatación pueden provocar lesiones graves, que pueden llegar hasta el desprendimiento de elementos completos de la fachada.

Aunque el muro cortina parece una piel continua estanca, en realidad desde el punto de vista de estanqueidad se comporta como una fachada ventilada con cámara ecualizada; eso sí, con una cámara de aire de dimensiones muy reducidas. La piel exterior mantiene fuera la mayor cantidad de agua, pero se asume que una pequeña parte, impulsada por el viento, penetrará por las juntas entre el vidrio y la perfilería, o por las juntas de dilatación. El agua infiltrada vierte en unos canales intermedios (presentes tanto en la cara exterior de los travesaños como de los montantes) que forman una red oculta de recogida y desagüe. Uno de los puntos críticos es el encuentro entre los travesaños y los montantes, por lo que se suelen mecanizar los extremos de los travesaños para asegurar que el agua presente en el perfil horizontal caiga sobre el canal del montante. La cámara intermedia compuesta por estas canalizaciones debe ocupar una superficie de fachada pequeña, dada su escasa capacidad de absorción de agua. Lo habitual es que tenga una altura de dos o tres plantas, de manera que en su parte inferior unas pequeñas gárgolas de plástico preformado recogen el agua de los montantes y la devuelven al exterior a través de taladros en los presores verticales. Unos taladros adicionales en los presores de la parte superior de la cámara aseguran la ecualización de presiones con el exterior. Todo este complejo sistema de canales y respiraderos depende de que la línea interior de defensa sea completamente estanca. Esta línea estanca es la formada por las juntas interiores entre el vidrio y la perfilería, y ésta es la razón por la que los fabricantes de muros cortina hacen tanto hincapié en encolar adecuadamente, o incluso soldar mediante vulcanización, las uniones a 90° entre las juntas interiores del acristalamiento.

El montaje en obra comienza con el replanteo de ejes y líneas sobre la estructura principal, tras lo cual se fijan los anclajes, generalmente al canto de los forjados, mediante tacos mecánicos si son forjados de hormigón o por soldadura si son vigas metálicas. Se continúa con el aplomado y alineado de los montantes, que se fijan a los anclajes mediante tornillos de acero inoxidable que permiten su comportamiento estructural como rótulas. Los montantes están anclados por su extremo superior y encajado en su extremo inferior en una mecha que los conecta con el montante de la planta inferior, lo que permite la dilatación vertical con respecto a la planta precedente. A continuación se fijan los travesaños atornillándolos entre los montantes y previendo la posibilidad de absorber movimientos de dilatación térmica, para lo que

se suele dejar una junta de unos 2 milímetros a cada extremo entre travesaño y montantes. Terminada la retícula, se encolan las juntas de goma interiores y se inicia la colocación de los elementos de relleno (vidrios u otro). Debido a la necesidad de atornillar los presores por el exterior, se trabaja con andamios móviles desde fuera de la fachada. Una vez fijados los vidrios y los presores e insertados los elementos de evacuación de aguas, se cubren los presores con tapas o se sellan las juntas exteriores, y la fachada queda completa (figura 4.14).

4.3.3 Integración fotovoltaica en muro cortina tradicional.

En un muro cortina de montantes y travesaños, los paneles fotovoltaicos se puede insertar tanto en los vidrios de visión como en los vidrios opacos. Tanto si el acristalamiento es simple como si es doble, el vidrio convencional se puede reemplazar por otro que incorpore células fotovoltaicas de algún tipo. La manera más sencilla es colocar el panel fotovoltaico como un vidrio, fijado con presores exteriores, y realizar unas canalizaciones en la cara interior de la perfilería para alojar el cableado de conexión entre los módulos (figura 4.15).

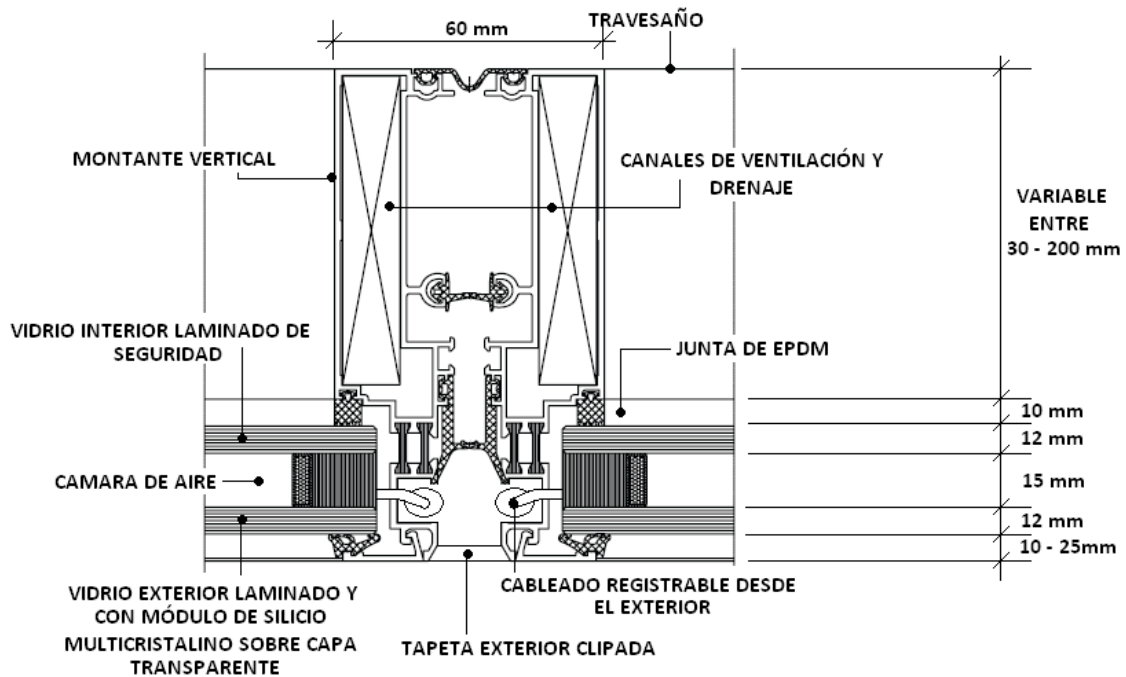
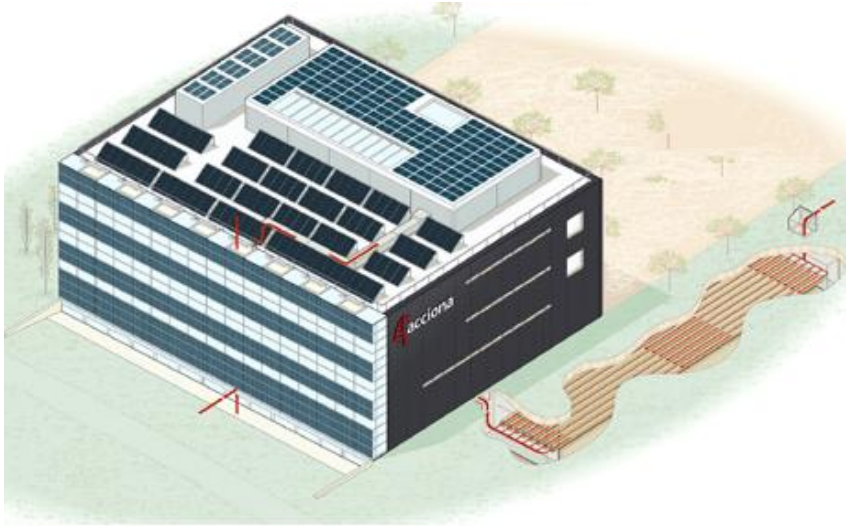


Figura 4.15: Sección horizontal por montante de muro cortina; en este caso, el paso de cables y el registro se hace por la parte exterior de la fachada (zona inferior del dibujo). Las dimensiones indicadas son orientativas.

Fuente: Detalle realizado por el autor.

Si los módulos fotovoltaicos están integrados en la zona de visión del muro cortina, las células estarán embebidas en un vidrio laminado que formará la hoja exterior del doble acristalamiento (figura 4.18). Si se trata de células monocristalinas o policristalinas, la transparencia se logra espaciando más las células entre sí, encapsuladas en EVA (etil-vinil-acetato) transparente. Si se trata de un modulo de



silicio amorfo semitransparente, éste ocupará la totalidad de la superficie. Es importante hacer notar que en ambos casos las células solares actúan como una capa de control solar que absorbe parte de la

radiación solar y, por tanto, reducen el factor solar, lo que es positivo para el comportamiento del muro cortina en condiciones de verano. En la hoja interior del vidrio doble se suele insertar una capa de baja emisividad para reducir la transmisión térmica del vidrio.



*Figuras 4.16 / 4.17:
Edificio Acciona Solar;
Ciudad de la innovación,
Navarra.*

*Fuente: Imágenes cedidas
por Acciona.*

Si las propias células no bastasen para alcanzar el factor solar requerido, se puede añadir una capa de control solar en la cara interna de la hoja exterior, siempre

por detrás del módulo fotovoltaico para no reducir la cantidad de energía solar que reciben las células. Para evitar la rotura del vidrio por choque térmico, el vidrio laminado será templado o termoendurecido. El cálculo de los espesores del vidrio tendrá en cuenta además las acciones del viento y las exigencias de resistencia a impactos tanto externos como internos. Por ejemplo, si el vidrio está colocado como antepecho, será necesario que la hoja interior sea también laminar.



Figura 4.18: Interior del muro cortina del edificio Acciona Solar.

Fuente: Fotografía cedida por Acciona

Cuando los módulos fotovoltaicos se integran en las partes opacas de un muro cortina, por ejemplo, en la banda correspondiente al paso de forjado, se puede emplear un vidrio laminado con células opacas o semitransparentes. El módulo fotovoltaico puede insertarse en el hueco como un vidrio doble o bien como un vidrio sencillo que forme parte de un panel ciego aislante. En el primer caso, la hoja interior será opaca para ocultar el interior de la fachada, por lo que deberá ser templada. En el segundo caso, el vidrio sencillo con el módulo fotovoltaico se fija a una bandeja que en su cara interior aloja un panel sándwich formado por dos chapas de acero o aluminio y un relleno intermedio de lana de roca u otro material aislante. Entre el panel fotovoltaico y el panel sándwich se crea una cámara de aire que deberá estar equalizada con la presión exterior, drenada y lo más ventilada posible para no penalizar el rendimiento por exceso de temperatura. El encuentro entre el panel sándwich interior y la perfilaría debe constituir una barrera de vapor continua.

Cuando las partes opacas del muro cortina están formadas por paneles sándwich de acabado metálico o por paneles "composite", es fácil adherir a la cara exterior de los paneles un módulo fotovoltaico. Si éste es de silicio amorfo, la ventaja

es que la caída del rendimiento por temperatura es menos acusada que en otras tecnologías, por lo que su uso es adecuado en fachadas sin ventilación trasera. Los encuentros del módulo con el panel base deberán estar sellados en fábrica.



Figura 4.19: Parque de Innovación Tecnológica La Salle, Barcelona: arriba, vista exterior de la fachada de doble piel y de la pérgola en cubierta; abajo, vista interior de la doble piel. Los módulos tienen estructura de doble vidrio. Fuente: Fotografías por cortesía de TFM

He descrito la integración del panel fotovoltaico por sustitución del vidrio convencional. Aunque esta solución resulta adecuada desde el punto de vista del coste, dado que sustituimos un vidrio por otro, no lo es tanto desde el punto de vista

del rendimiento, ya que la ventilación de la cara interior del panel fotovoltaico es nula o bastante reducida. Una alternativa para resolver esto es que los módulos fotovoltaicos de vidrio se coloquen por fuera del plano del muro cortina, simulando una fachada de doble piel. La fijación se puede hacer por puntos, atravesando la fachada ligera en los montantes e insertando una perfilería soporte cuya única misión sea recibir los módulos. Si además éstos se inclinan hacia el sol, entramos en otra categoría: la de las lamas y parasoles superpuestos que la veremos más adelante. La opción de insertar los módulos fotovoltaicos en la piel exterior de un muro cortina, además de técnicamente muy adecuada, por la ventilación y la posibilidad de acceso a las conexiones desde pasarelas colocadas entre ambas pieles, supone una alternativa mediterránea a los muros de doble piel propio de climas del norte de Europa, donde el interés está en ganar calor solar y no en defenderse de él.

Los puntos que debemos controlar para la adecuada integración de los paneles fotovoltaicos en los muros cortinas tradicionales son:

- La localización, el tamaño y la integración de la caja de conexiones sobre el trasdós del panel.
- El recorrido y la accesibilidad al cableado de conexión entre los paneles, tanto en horizontal como en vertical, a lo largo de los travesaños y montantes.
- La estanqueidad y el mantenimiento de la barrera de vapor en las perforaciones para el paso de los cables a través de la perfilería de montantes y travesaños.
- La salida de los cables en el lateral del doble acristalamiento y su entrada en la caja de conexiones del trasdós del panel, asegurando la durabilidad de la barrera de vapor en el medio del doble acristalamiento y evitando así que se produzcan condensaciones en la cámara.
- La evitación de sombras arrojadas por las tapas situadas sobre los laterales de los módulos, que producen una caída de rendimiento.
- La capacidad del panel fotovoltaico de vidrio de asumir las cargas de viento y los requerimientos de impactos tanto exteriores como interiores.

Una cuestión clave es decidir si se mantiene el cableado externo con una sola penetración a través del muro cortina en un punto, generalmente en la base o si se hacen tantas penetraciones como paneles fotovoltaicos existan. Ambas opciones requieren un análisis de requerimiento de espacio, accesibilidad y resistencia a la humedad.

En comparación con la simple sustitución de los vidrios en una rejilla convencional, la opción del muro cortina con módulos fotovoltaicos encolados con silicona estructural a bastidores de aluminio tiene ventajas en muchos de los aspectos

mencionados. Entre éstas tenemos la ausencia de sombras provocadas por las tapas, la conexión a través de la bandeja realizada en taller, la facilidad de sustitución en caso necesario y la posibilidad de que las conexiones entre módulos se hagan en el espacio intermedio definido por los bastidores, sin tener que atravesar la barrera de vapor interior más que en un punto.

Si queremos conseguir el máximo rendimiento por ventilación trasera y la máxima accesibilidad, la opción óptima es el muro de doble piel con pasarelas de registro, si bien su precio inicial será mayor.

4.3.4 Mantenimiento y limpieza.

El mantenimiento y la sustitución de elementos en un muro cortina convencional se lleva a cabo siempre desde el exterior. Para alturas no accesibles con una grúa telescópica desde el suelo, a partir de 25 metros de altura, si tenemos paneles fotovoltaicos integrados, es casi imprescindible contar con un sistema de góndola colgada desde la cubierta. La especificación de la góndola tendrá en cuenta el peso y el tamaño de los módulos en previsión de su posible sustitución, así como una longitud y un sistema de fijación a la fachada que sean adecuados para realizar las conexiones con seguridad.

Si los módulos fotovoltaicos están integrados como vidrios dentro de la trama del muro cortina, su reposición implicará el desmontaje de las juntas de goma exteriores, la retirada de tapas y presores perimétricos, y la liberación del panel de sus conexiones, para instalar a continuación el nuevo panel en el orden opuesto. En el caso de muros cortina con vidrio encolado, será necesario que el módulo de sustitución venga de taller con la bandeja encolada, con lo que la retirada y reposición se efectúan en un plazo de tiempo muy corto. En este caso es recomendable dejar en el edificio algunos bastidores sin acristalar para poder reponer con los vidrios adecuados en caso de rotura y no tener que reiniciar todo el proceso de fabricación desde el principio.

Un aspecto fundamental de la estrategia de reposición es considerar la dimensión y el peso máximo de los paneles fotovoltaicos, tanto para su izado en la góndola como para su colocación en el hueco, dependiendo de si es posible contar con un andamio exterior, una grúa con ventosas o sólo con la góndola y dos operarios.

Desde el punto de vista de la limpieza, es importante que el manual de mantenimiento del edificio especifique una periodicidad de limpieza de las fachadas tan alta como sea posible, para aumentar así la capacidad de producción fotovoltaica. En los primeros años de uso del edificio es conveniente monitorizar el coste de la limpieza y la caída de rendimiento por suciedad en los paneles, para definir así la periodicidad más adecuada.

4.4 Muros cortina modulares.

4.4.1 Concepto de muro cortina modular.

Los muros cortina modulares se desarrollaron para resolver los problemas originados por la instalación en obra de los muros cortina tradicionales a base de montantes y travesaños. Los objetivos principales eran reducir el tiempo de instalación en obra y mejorar la calidad, así como evitar repasos posteriores. Cada módulo de fachada es un gran panel completamente prefabricado en taller, con el vidrio, las juntas de goma y los elementos de fijación incorporados (figura 4.20).

La dimensión está limitada por el transporte o por la manejabilidad en obra. Generalmente se trata de paneles de altura de una planta entre 3,2 y 4,5 metros, con una anchura entre 1,5 y 2 metros, aunque ésta puede ser mayor. En las soluciones más avanzadas se ha llegado a alturas dobles, de hasta 8-9 metros.

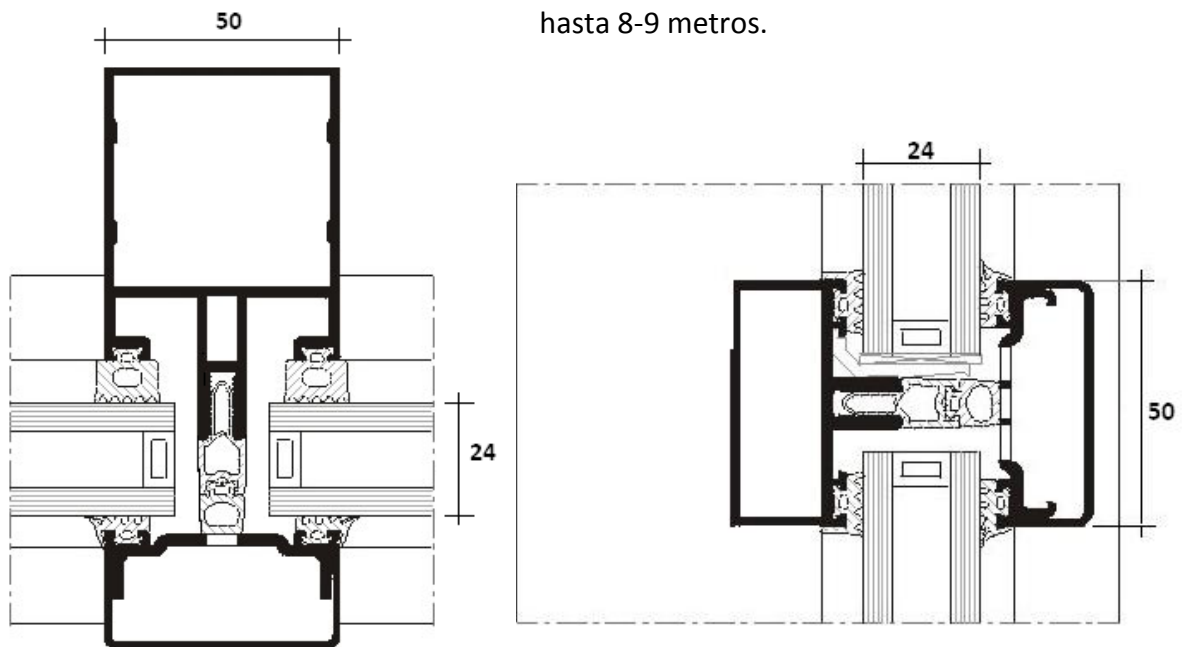


Figura 4.20: Detalle en sección horizontal (izquierda) y sección vertical (derecha) de un muro cortina modular con perfilería vista al exterior.

Fuente: Imágenes por cortesía de la empresa Reynaers.

Los módulos de la fachada se fabrican en taller (figuras 4.21/4.22), ya sea en mesas fijas o en cadena. Allí se incorporan todos los elementos necesarios para la fachada, tanto exterior como interior: entramado estructural, paneles metálicos, vidrio, aislamiento térmico, lámina impermeable y barrera de vapor, protección contra el fuego, elementos operables y acabado interior. Por tanto, se trata de un elemento constructivo prefabricado, con un grado de terminación similar al de una cocina o un baño modular.

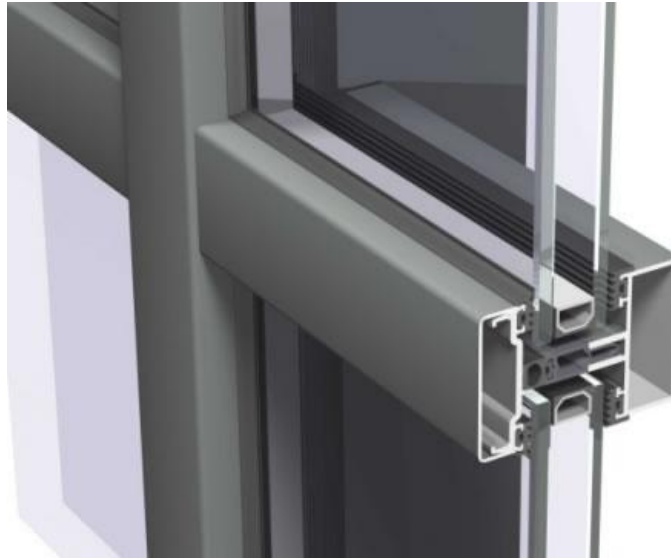
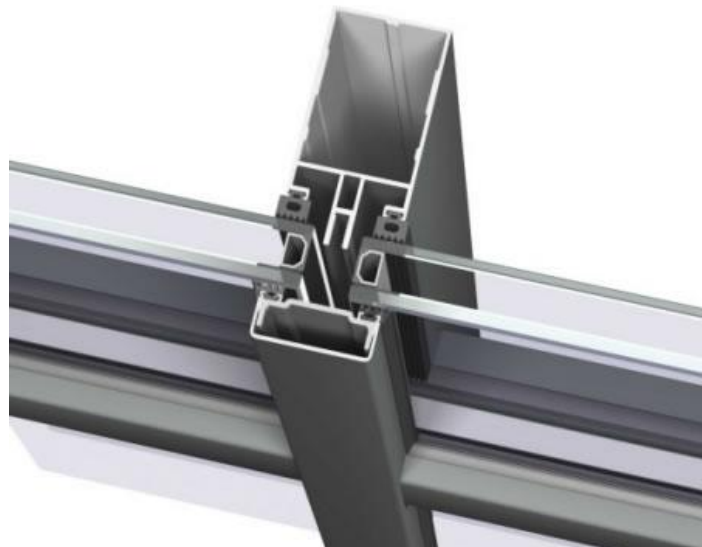


Figura 4.21/4.22: Diseño de muro cortina modular en taller.
Fuente: Imágenes por cortesía de la empresa Reynaers.

El cerramiento exterior del módulo se reviste habitualmente con vidrio doble, aunque es habitual incorporar en las partes opacas paneles metálicos o piedra natural. Están apareciendo paneles modulares de doble piel, en los que cada módulo está formado por una caja de un espesor entre 60 y 120 centímetros, con la piel exterior de vidrio y la piel interior formada por vidrios y paneles opacos. Unas rejillas situadas en las partes superior e inferior de la piel exterior permiten regular la ventilación de la cámara intermedia, con lo que la doble fachada se convierte en un cerramiento de gran aislamiento térmico y acústico.

El montaje en obra de los muros cortina modulares es relativamente simple. Se lleva a cabo empleando grúas desde las plantas superiores, que permiten colgar cada panel en el aire y colocarlo en el hueco previsto siguiendo un orden preestablecido. Las juntas entre módulos se mantienen estancas por la presión de las juntas elásticas de EPDM, sin tener que recurrir a los sellados de silicona. Además de la rapidez de montaje, este procedimiento elimina la necesidad de contar con andamios exteriores, razones que convierten a los muros cortina modulares en la solución preferida para los edificios en altura y de gran superficie de fachada.



Debido a su alta calidad de ejecución, los sistemas de fachadas modulares son muy adecuados también para fachadas de gran complejidad y para fachadas con materiales pesados como la piedra natural. Los precios suelen estar en un rango que va de medio a alto.

4.4.2 Principios de construcción.

El entramado estructural de un módulo de muro cortina está diseñado para resistir el propio peso del panel más todas las sobrecargas, principalmente la de viento. Para ello se emplean montantes y travesaños de aluminio extrusionado, que se atornillan unos a otros para constituir un marco rígido (figura 4.23). Como los paneles tienen que encajar entre sí, los montantes y travesaños son en realidad semiperfiles, lo que permite la unión por machihembrado con los contiguos, tanto en vertical como en horizontal. Así, el montante final es la unión de un semimontante macho y un semimontante hembra, o bien dos semimontantes iguales unidos por unas juntas rígidas de EPDM o de goma de silicona. Las juntas deben estar diseñadas con mucha exactitud para resistir las fricciones durante la instalación de los paneles y los movimientos entre paneles durante la vida del muro cortina, sin perder su función de barreras impermeables. Cuando los perfiles de la estructura se han atornillado y las juntas están colocadas, sobre el módulo en posición horizontal se montan el acristalamiento, el aislamiento, los paneles de relleno exterior y el acabado interior.



Figura 4.23: Instituto capacitación tecnológica, Girona

Fuente: Fotografía realizada por el autor.

Distinguiré tres sistemas de fijación del vidrio o en su caso de los paneles “composite” sobre la estructura del módulo.

- El primero es el montaje del vidrio por galce, mediante una perfilera exterior vista. Las juntas del acristalamiento interior y exterior trabajan a presión, y habitualmente se vulcanizan, es decir, se sueldan, en las esquinas para garantizar su continuidad como barrera estanca. Este sistema de fijación del acristalamiento implica que la perfilera exterior se queda vista.
- El segundo sistema es el montaje del vidrio mediante pegado estructural, en el que se emplea silicona de módulo alto (desde el punto de vista de su flexibilidad, la silicona se clasifica por su módulo elástico. La silicona estructural es más rígida que la de sellado, por lo que su flexibilidad es menor, y se clasifica como "módulo alto". La silicona de sellado tiene una gran elongación y compresión sin despegarse, como corresponde a un "módulo bajo") para encolar el vidrio a la perfilera. Es preferible que el peso propio del vidrio esté soportado por unos calzos inferiores, pues la silicona estructural no trabaja bien a cortante. El sistema de pegado estructural permite un diseño completamente liso de la piel exterior, con lo que se elimina la presencia de perfiles vistos por fuera. Para asegurar su adecuada instalación, el pegado con silicona estructural sólo puede realizarse en condiciones controladas de taller. Para que el pegado seque con mayor rapidez se suele emplear silicona bicomponente. Cuando el pegado del vidrio se hace directamente a los semiperfiles del entramado, en caso de reposición de un vidrio roto se tiene que realizar el sellado en obra, con el riesgo que esa operación supone. Para evitarlo se ha desarrollado un sistema híbrido, en el que el vidrio se encola en taller a un pequeño bastidor de aluminio que a su vez se atornilla exteriormente sobre la estructura del módulo. De esta manera, en caso de rotura se desatornilla el vidrio dañado y se repone con un vidrio nuevo, que ha sido previamente encolado en taller a su bastidor.
- La tercera forma de fijar el vidrio sobre la estructura de aluminio del módulo consiste en emplear un canal inserto en el canto del doble acristalamiento como soporte para unas fijaciones puntuales ocultas. Una vez fijado el vidrio a la estructura por su canto, se coloca un fondo de junta y se llenan las llagas entre los vidrios con silicona neutra de módulo bajo.

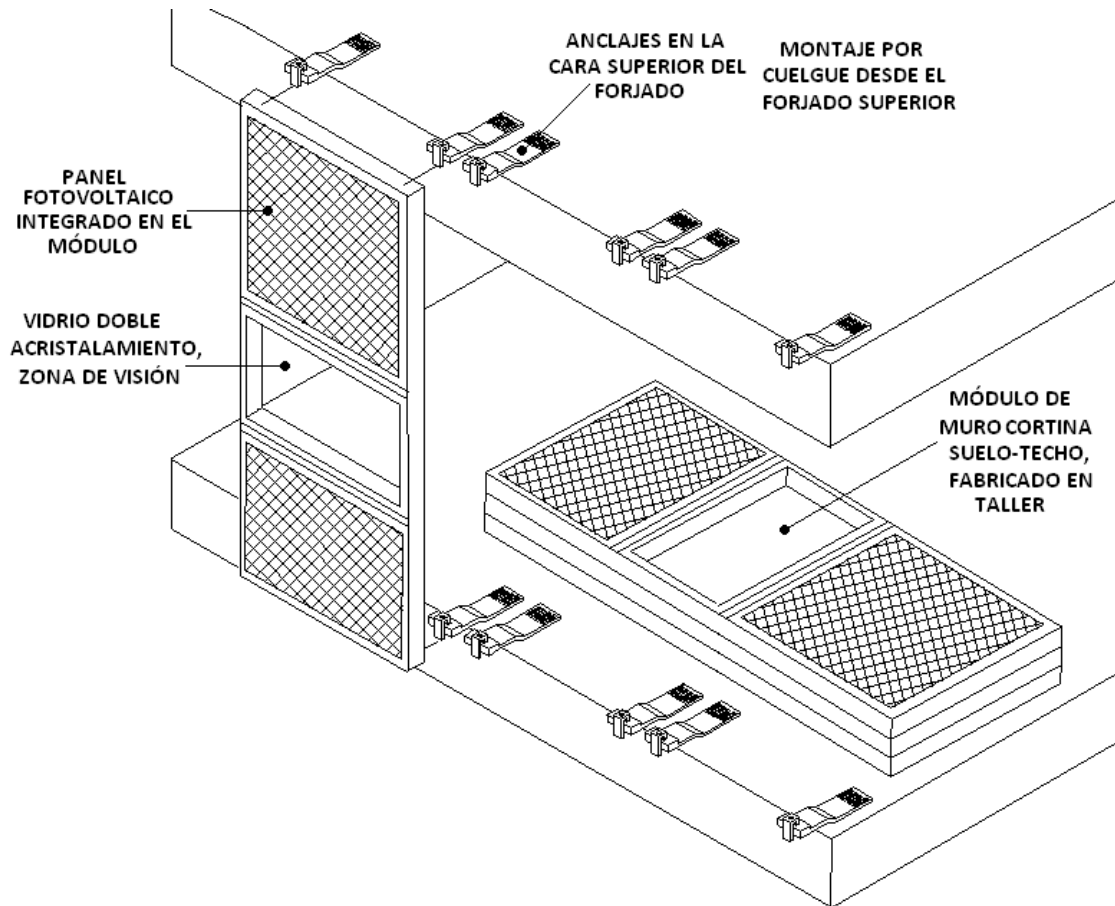


Figura 4.24: Esquema del proceso de montaje de un muro cortina modular: se avanza de un lado a otro de la planta y de abajo a arriba por la fachada.
Fuente: Detalle realizado por el autor.

El material de cerramiento exterior es un factor fundamental a la hora de decidir el tamaño y la composición del entramado estructural. Cuando se aplica un acabado exterior de piedra natural (de espesor nominal unos 40 milímetros), es conveniente emplear perfiles de aluminio de gran espesor, o bien de acero inoxidable. Cuando el acabado exterior es de vidrio o de paneles ligeros, bastará con una perfilaría de aluminio de los espesores convencionales. Las exigencias de resistencia al fuego también pueden influir en la decisión del material para la perfilaría. En la zona de paso de forjado, la resistencia al fuego asegura por lo general combinando paneles de lana de roca, que proporciona aislamiento térmico y antifuego, con un trasdós de paneles de cartón-yeso con fibras resistentes a las altas temperaturas.

El principio de construcción de un panel modular de muro cortina está basado en la versión pequeña del sistema “pantalla de lluvia”. El vidrio, el panel o la piedra exteriores configuran la primera barrera contra el agua. Si se trata de piedra, esto puede hacerse tanto en juntas abiertas como en juntas selladas, pero siempre permitiendo la ventilación. En caso de emplear vidrio o paneles metálicos, las juntas entre ellos están cerradas, salvo en los puntos de entrada de aire y de salida de agua

infiltrada. La cámara de ventilación y drenaje está formada por los canales que quedan entre la piel exterior y la cara frontal de los montantes y travesaños. La barrera estanca al agua y la humedad la componen el conjunto de juntas de goma o sellados de silicona situados en la cara interior del vidrio o panel.

Al igual que en los muros cortina convencionales, el montaje en obra comienza por el replanteo de ejes y líneas sobre la estructura principal, tras lo cual se fijan los anclajes (Figura 4.24).



Figura 4.25: Planta de Isofotón, fachada exterior (derecha) y Fachada por el interior (izquierda), Málaga. Resultado final de un buen acabado.
Fuente: Fotografías realizadas por el autor.

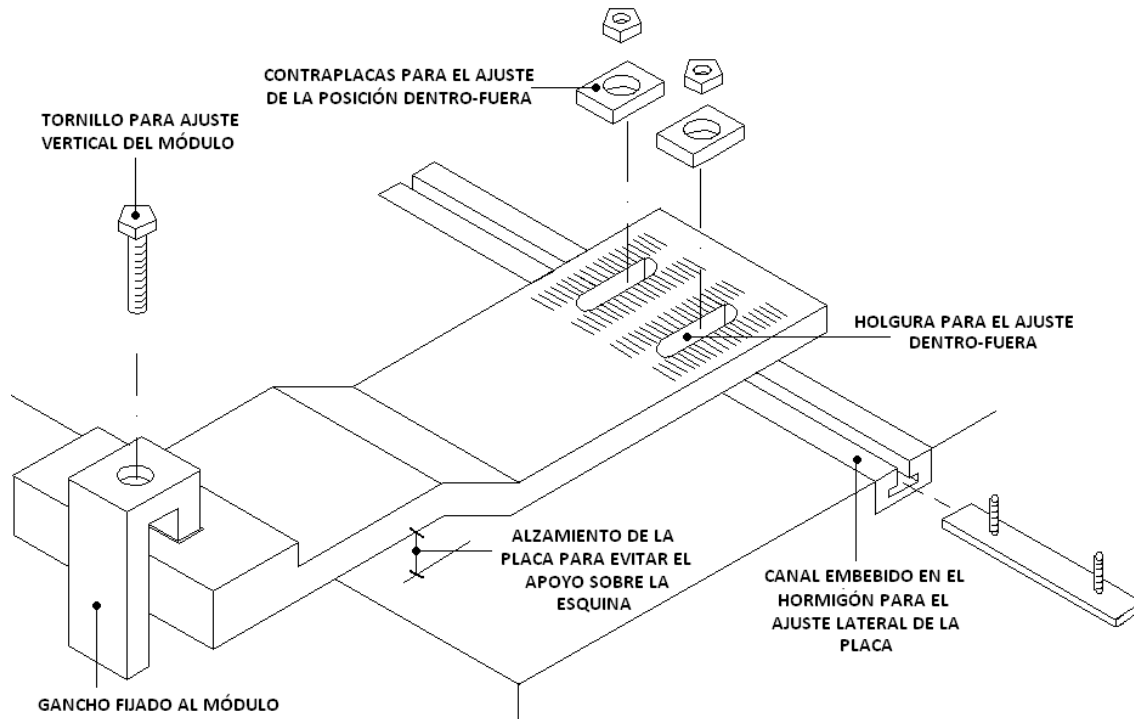


Figura 4.26: Axonometría de un anclaje de muro cortina modular, que se compone de dos elementos: la placa sobre el forjado y el gancho sobre el módulo.
Fuente: Detalle realizado por el autor.

Éstos suelen ser placas de acero o de aluminio fijadas en la cara superior de los forjados mediante carriles embebidos en el espesor del forjado, lo que facilita el ajuste lateral de las placas. Unos taladros rasgados en las placas de anclaje permiten el ajuste dentro-fuera. Por último, unos ganchos atornillados en los extremos superiores de los semimontantes permiten colgar el módulo sobre las placas de anclaje. Entre el gancho y la placa se inserta un tornillo roscado que permite el ajuste vertical (figuras 4.26/4.27).



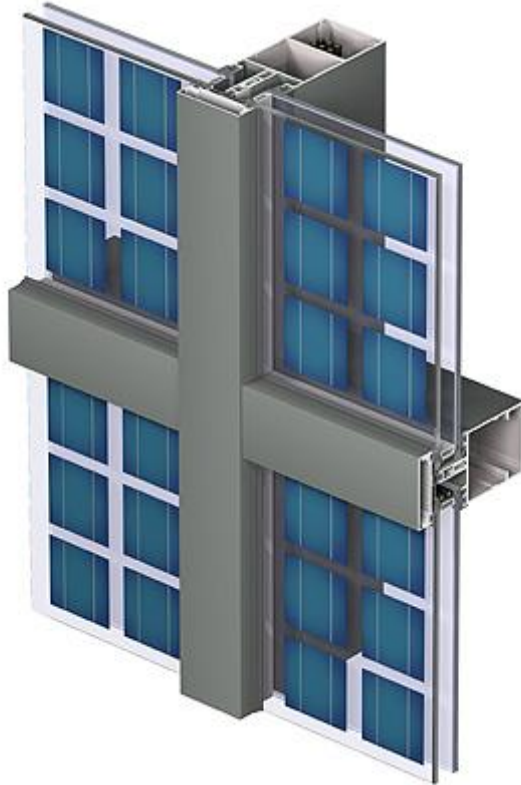
Figura 4.27: imagen de un anclaje de muro cortina modular: se aprecian la placa de anclaje y los ganchos fijados a los módulos.
Fuente: fotografía realizada por el autor.

Los módulos se fijan colgándolos en sus extremos superiores y por machihembrado al módulo de abajo en sus extremos inferiores, lo que permite la dilatación vertical con respecto a la planta precedente. Una vez que el módulo se ha colgado en su sitio, la instalación de la fachada concluye con la protección al fuego y el sellado antihumo del espacio intermedio entre los paneles y la estructura principal.

4.4.3 Integración fotovoltaica en muros cortina modulares.

En un muro cortina modular, los paneles fotovoltaicos se pueden insertar tanto en los vidrios de visión como en las partes opacas. Tanto si el acristalamiento es simple como si es doble, el vidrio

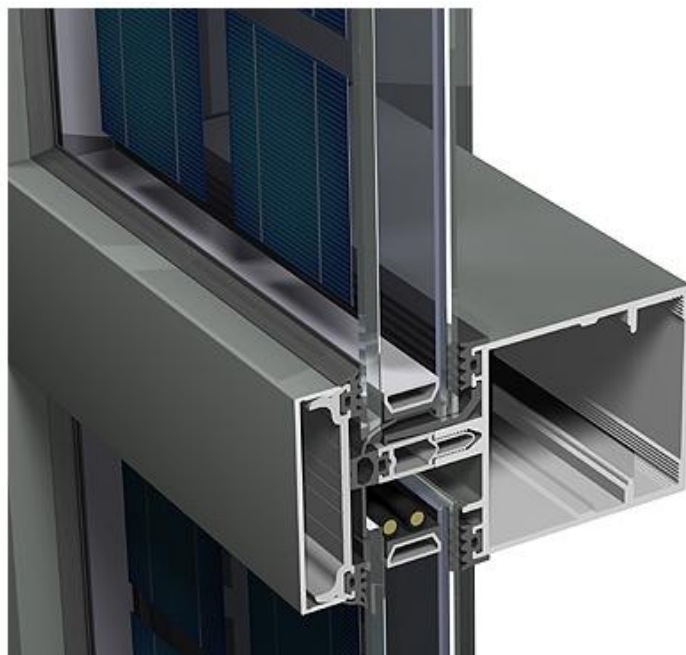
convencional se puede reemplazar por otro simple o doble que incorpore células fotovoltaicas.



Los módulos fotovoltaicos se fijan en la estructura de la fachada modular durante la fabricación de ésta en el taller. La ventaja de este sistema es que todas las conexiones entre cables y las perforaciones para el paso de los conductos se ejecutan y se sellan durante el ensamblaje del módulo de fachada en la fábrica, lo que asegura su calidad (Figuras situadas a la izquierda y en la zona inferior).

Si el diseño permite la existencia de perfilería vista al exterior, los paneles fotovoltaicos se

montan mediante la técnica de galce, para lo que se emplean presores atornillados por el exterior. Si se busca una imagen de fachada lisa, sin perfilería vista, se empleará un sistema de pegado a un bastidor intermedio, que a su vez se atornilla a la estructura del módulo de fachada. De esta manera, tanto en un caso como en otro, un eventual panel fotovoltaico dañado se puede reponer desde el exterior sin comprometer la estabilidad del conjunto. El sistema de fijación mediante pegado estructural directo del módulo fotovoltaico a la estructura del panel modular no es recomendable por sus dificultades de



mantenimiento y reposición.

Cuando queremos integrar paneles fotovoltaicos en las zonas de visión de un muro cortina modular, la composición del módulo fotovoltaico deberá ser de doble acristalamiento para asegurar el aislamiento térmico. Las células fotovoltaicas pueden integrarse en el vidrio laminado de la hoja exterior del doble acristalamiento. Por detrás de las células podemos añadir otras capas que mejoren el rendimiento del vidrio, como las de baja emisividad o de control solar. Como tenemos que evitar la rotura del vidrio por choque térmico (tensiones provocadas por diferencias acusadas de temperatura en zonas contiguas de un mismo vidrio), habrá que templar o termoendurecer los dos vidrios de la hoja exterior laminada. El espesor de los vidrios y la composición final del doble acristalamiento se decidirá en función de los requerimientos de resistencia mecánica, ya sea ante el viento o ante posibles impactos interiores o exteriores.

Cuando integramos el panel fotovoltaico en las zonas opacas del muro cortina modular, las opciones de composición y de acabados son mayores. En este caso, el panel fotovoltaico puede estar integrado en un vidrio simple o doble, aunque siempre debe estar encapsulado dentro de un laminado para su protección. Recordemos que lo ideal sería asegurar una ventilación natural del trasdós del panel, para lo que se pueden dejar las juntas horizontales abiertas y crear una cámara de aire entre el panel fotovoltaico exterior y el panel sándwich con aislamiento y barrera de vapor situado en el interior del módulo de fachada. Esa cámara permitirá la recogida del agua infiltrada, generalmente en la parte inferior de cada módulo fotovoltaico. Lo que estamos haciendo con esta solución es crear pequeñas fachadas ventiladas dentro de un módulo de muro cortina unitario.

Otra posibilidad para mejorar la ventilación posterior de los módulos fotovoltaicos y evitar su sobrecalentamiento es colgar los módulos de pequeñas ménsulas que salen de la cara exterior del panel modular. En este caso nos aproximamos al concepto de doble piel, aunque con un espesor menor. El único inconveniente es que estamos duplicando los materiales: el panel fotovoltaico no sustituye al panel opaco del módulo de fachada, sino que se superpone por delante de él. Por otra parte, la ventaja es que la reposición de los módulos desde el exterior se puede hacer con toda facilidad.

Los aspectos constructivos que debemos tener en cuenta a la hora de realizar fachadas de muro cortina modular con paneles fotovoltaicos integrados son los siguientes:

- La situación y el acceso a la caja de conexiones en la cara interior de cada módulo fotovoltaico.

- La disposición del cableado a lo largo de los perfiles horizontales y verticales, con posibilidad de acceso desde el interior.
- La estanqueidad de las perforaciones para el paso de los cables.
- La durabilidad de los sellados de los dobles acristalamientos en los puntos de paso de los cables.
- La capacidad de los módulos fotovoltaicos para resistir las cargas, tanto de tensiones térmicas como de viento o impacto.

Como dije en el capítulo anterior, una cuestión que hay que tener en cuenta, es si conviene dejar todo el cableado y las conexiones eléctricas por la cara exterior del muro cortina o si hay que perforar en todos y cada uno de los paneles. Al tratarse de una fachada modular, lo habitual es que cada módulo de fachada tenga una única perforación de paso de cables al interior, situada preferiblemente a la altura del suelo o por el falso techo, y que se hagan las conexiones registrables por el interior.

4.4.4 Mantenimiento y limpieza.

En los muros cortina modulares, debido a la ausencia de ventanas o a su presencia en número muy limitado, el mantenimiento y la reposición se tienen que efectuar desde el exterior. Como en general se trata de fachadas de superficie grande, es habitual que se disponga de un sistema de góndolas exteriores.

Un aspecto importante al considerar el diseño de las góndolas es que ha de ser posible realizar trabajos de reposición de vidrios, con el peso que ello supone. Por otra parte, el acceso a los elementos de la fachada debe ser muy próximo, a fin de poder trabajar sobre las conexiones eléctricas si fuese necesario. En general, las góndolas se fijan a las fachadas mediante dos sistemas:

- Unos rodamientos que corren por unas guías verticales empotradas en los paneles.
- Un sistema de puntos de fijación determinados, a los cuales se ancla el cable de la barquilla cada cierto número de plantas.

Si tenemos paneles fotovoltaicos integrados en la fachada modular, la opción de las guías empotradas es más adecuada que las fijaciones puntuales.

La reposición de una pieza de vidrio o de un módulo fotovoltaico dañado implica en general el desmontaje de las juntas de goma que rodean el vidrio, la retirada de tornillos y presores o de las fijaciones puntuales ocultas, y la instalación en su lugar de un nuevo vidrio. Lo que se repone es la pieza de vidrio dañada, no todo el módulo de fachada de planta a planta. Dependiendo del sistema de fijación de vidrio, el periodo durante el cual la fachada pierde temporalmente su estanqueidad varía entre una hora y un día. En general, será menos tiempo del que se requiere para hacer

la misma operación en un muro cortina de montantes y travesaños. Cuando los módulos fotovoltaicos están colgados por fuera de la fachada modular estanca, la reposición es rápida y la estanqueidad no se ve comprometida en ningún momento.

La estrategia de reposición de unidades de vidrio afecta a su tamaño máximo. Por lo general, las dimensiones de los módulos fotovoltaicos son inferiores a las dimensiones máximas del vidrio comercial, por lo que no suele haber problemas de tamaño para su desmontaje. No obstante, a veces se sugieren paneles modulares donde los módulos fotovoltaicos están unidos entre sí por detrás, lo que podría impedir su retirada parcial desde fuera. Cuanto más se facilite el acceso y el acercamiento para realizar trabajos desde la barquilla y se limite el tamaño y peso de los elementos que haya que reemplazar, mejor será la solución desde el punto de vista de la vida útil de la fachada en su conjunto.

4.5 Lamas y parasoles.

4.5.1 Introducción.

Existe una compatibilización entre ahorro energético y a la vez dotar de luz natural y confort a los edificios, son las lamas y parasoles (figura 4.28).



*Figura 4.28: Centro alzhéimer de la fundación Reina Sofía; Madrid
Fuente: Fotografía realizada por el autor.*

Las lamas o parasoles pueden ser fijas u orientables, de vidrio o metálicas, grandes o pequeñas, y estar adheridas a la fachada o separadas de ésta y crear así un espacio intermedio para el mantenimiento.

Los elementos de sombreado exterior suponen un poderoso refuerzo para la imagen de un edificio si se usan adecuadamente. Si se conocen y usan bien sus efectos, se puede conseguir un control energético adecuado sin perder demasiada iluminación natural, a la vez que se reduce el riesgo de deslumbramiento.

4.5.2 Principios de construcción.

Las lamas y los parasoles exteriores, tanto en posición horizontal como vertical, se pueden montar próximos o a cierta distancia de los huecos, y pueden ser fijos, orientables o retráctiles, lo que los aproxima al concepto de persianas exteriores.

Ya sean fijas o móviles, las lamas exteriores se anclan generalmente a la propia carpintería del hueco que protegen (figura 4.29), aunque en los casos de mayor tamaño se pueden fijar directamente a la estructura del edificio. En este caso suelen integrarse en un marco perimétrico que las recibe, y en el que se insertan los mecanismos de movimiento.



Figura 4.29: Construcción de edificio para investigaciones; Madrid
Fuente: Fotografía elaborada por el autor.

Los principales criterios a tener en cuenta en lamas o parasoles exteriores son su resistencia a la acción del viento, su durabilidad y la posibilidad de acceso para su limpieza y mantenimiento. Las lamas orientables pueden accionarse de modo manual o mediante sistema motorizado, que puede conectarse con un programa de gestión energética del edificio para que la orientación sea la óptima en función de la época del año y de las condiciones exteriores. En caso de que el viento sea excesivo, algunas posiciones de las lamas son peligrosas por su mayor exposición, lo que también puede ser controlado por el sistema de gestión, como sucede con los toldos a los que se dota de un pequeño anemómetro.

Desde el punto de vista del acceso para la limpieza y mantenimiento, está claro que la mejor opción es la de fijar las lamas sobre unas pasarelas exteriores accesibles desde cada planta. El material de las rejillas pisables que conforman las pasarelas y los

montantes que soportan las lamas suele ser de acero galvanizado. Ésta es la respuesta mediterránea al concepto de fachada de doble piel que evita el sobrecalentamiento de la fachada interior estanca y masiva. Los elementos de sombra pueden adoptar soluciones muy variadas: desde toldos o lamas retráctiles de tipo persiana veneciana, hasta lamas de terracota.

4.5.3 Integración fotovoltaica en lamas y parasoles.

Es obvio que un elemento diseñado para protegernos del sol como los parasoles y las lamas en general, tienen una gran oportunidad de convertirse en el soporte ideal para integrar los módulos fotovoltaicos. De esta manera, los paneles combinan dos funciones en un solo elemento: protección solar y producción energética.

Aun siendo prometedora, la integración de los módulos fotovoltaicos en persianas y venecianas retráctiles resulta difícil por la fragilidad de las células o de las capas fotovoltaicas, y por la dificultad de asegurar sus conexiones. En cambio, la

incorporación de módulos fotovoltaicos en parasoles o lamas exteriores resulta la opción de integración más evidente (figura 4.30). De hecho pienso que cuando se habla de integración fotovoltaica en los edificios más allá de las cubiertas, ésta es la primera opción que se considera.



Figura 4.30: Parasoles de la planta Isofotón; Málaga.
Fuente: Fotografía realizada por el autor.

Una primera solución es la de los parasoles fijos, que protegen del sol por encima de la línea de ventanas y que pueden orientarse del modo más adecuado para asegurar la máxima captación solar (figura 4.31). Las células fotovoltaicas pueden estar insertas en paños de vidrio laminado sujeto a una perfilaría de aluminio en ménsula, a través de la cual se efectúan las conexiones eléctricas al interior del edificio. Otra variante es la de los parasoles metálicos revestidos con paneles solares de lámina delgada. En ambos casos, la limpieza suele ser el punto crítico, por lo que no debería confiarse sólo a la acción del agua de lluvia. Se debe prever el acceso para la limpieza desde las ventanas de la planta superior, o desde la cubierta hasta la última planta, con ayuda de un brazo extensible conectado a una manguera.

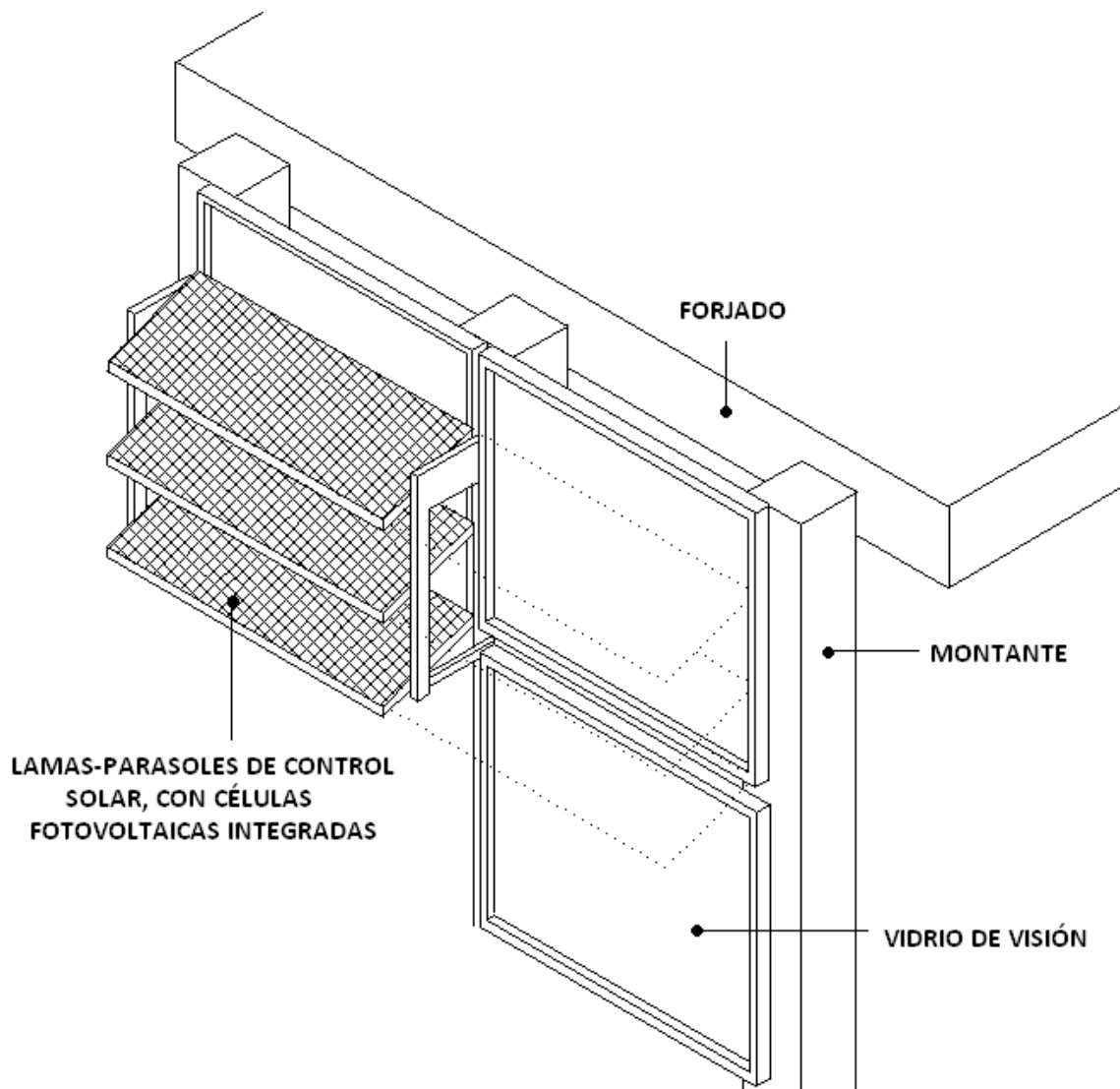


Figura 4.31: Esquema de principio de un sistema de lamas fotovoltaicas integradas en un muro cortina.

Fuente: Detalle elaborado por el autor.

Una variante de los parasoles fotovoltaicos es la de los balcones en las terrazas de edificios de viviendas, que pueden actuar como elementos ciegos que incorporan

células fotovoltaicas en su cara exterior. En este caso, la limpieza es fácil, y el punto crítico es su inclinación, ya que normalmente será vertical y puede estar sujeta a sombreados parciales, lo que afectará a su rendimiento.

Tanto por su extensión como por su accesibilidad, la mejor opción de integración de módulos fotovoltaicos es la de las lamas que cubren una gran superficie de fachada, fijadas a una estructura intermedia con pasarelas registrables para limpieza. En este caso, las lamas pueden ser ajustables y orientarse al sol en busca de la máxima sombra y el máximo rendimiento simultáneamente. La energía eléctrica necesaria para este ajuste fino a lo largo del día puede extraerse de los mismos módulos fotovoltaicos.

La superficie cubierta con lamas como piel exterior puede llegar a ser toda una fachada. Las lamas podrían ser de vidrio laminado, con las células cristalinas embebidas entre las hojas de vidrio. Las lamas de vidrio pueden fijarse mediante presillas longitudinales en los extremos, mediante grapas puntuales, o bien mediante fijaciones abotonadas pasantes.

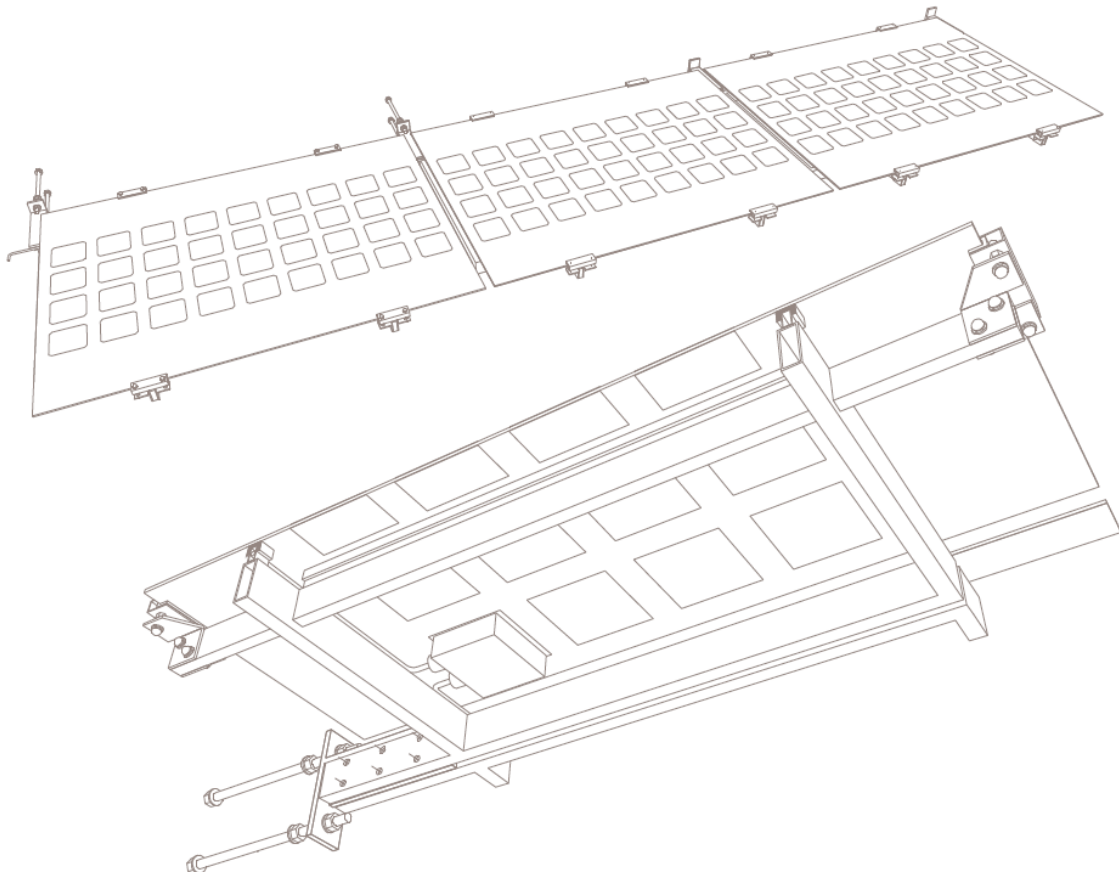


Figura 4.32: perspectiva superior e inferior del parasol de la sede de Isofotón; Málaga. Una estructura de tubos rectangulares de aluminio recibe los módulos fotovoltaicos, laminados en vidrio y Tedlar blanco; se aprecia la caja de conexiones en un extremo; los vidrios se fijan con grapas puntuales antisucción.

Fuente: Detalle por cortesía de Isofotón.

Los elementos de fijación del vidrio y los montantes verticales de soporte del conjunto de las lamas deben incorporar registros para la inserción del cableado de conexión, tanto para conectar los módulos entre sí como para guiar su entrada en el edificio (figura 4.32). El diseño de los montantes debe asegurar que los cables en la zona expuesta están bien ventilados y drenados, sin que puedan producirse acumulaciones de agua. La conexión de los cables se debe realizar en un número limitado de puntos, de fácil registro, para minimizar el número de penetraciones a través de la piel interior estanca.



Figura 4.33: Aulario Universitario dentro del campus Tecnológico; Castelldefels Barcelona.

Fuente: Fotografías por cortesía de TFM.

Tanto en los parasoles o frentes de balcones como en las lamas, la integración de los módulos fotovoltaicos es muy eficaz, puesto que la ventilación del trasdós está asegurada y, por tanto, las pérdidas por exceso de temperatura son menos importantes que en las opciones de muro cortina que hemos visto anteriormente (figura 4.33). De lo que tenemos que preocuparnos en estos casos es de facilitar la limpieza y de escoger una adecuada orientación.

4.5.4 Mantenimiento y limpieza.

Tanto si se trata de parasoles o de lamas, resulta fácil integrar módulos fotovoltaicos sobre los elementos, generalmente robustos, de protección solar. Cuando se trata de parasoles fijos situados encima de las líneas de ventanas, ya hemos hecho referencia a la necesidad de permitir el acceso a la cara exterior para limpiarla desde la planta inmediatamente superior. Cuando se trata de lamas y éstas ocupan una superficie importante, como más de una planta aproximadamente, es conveniente prever un sistema de pasarelas de rejilla para el acceso hasta las lamas, tanto para la limpieza como para las operaciones de mantenimiento.

Se debe considerar la estrategia de la limpieza de los parasoles y de las lamas, ya sea mediante el acceso directo desde los huecos adyacentes o bien incorporando un mecanismo de rotación que permita limpiar la cara exterior de las lamas desde dentro.

Las pasarelas deben resistir las sobrecargas derivadas de la sustitución de vidrios, tanto de lamas como de la piel interior. Es conveniente prever una anchura suficiente de paso para poder efectuar la sustitución de vidrios de la fachada interior desde la pasarela, sin tener que retirar temporalmente las lamas exteriores, lo que complicaría mucho la operación.

Dado que el cableado eléctrico y las cajas de conexión van a estar accesibles desde la pasarela, el diseño del sistema debe proporcionar una protección eléctrica adecuada para todos estos elementos. Es conveniente asimismo integrar en las pasarelas una línea de vida para la fijación de los operarios de mantenimiento. Las soluciones habituales son un cable a la altura de la barandilla, una guía bajo la pasarela de la planta superior, siempre que la altura no sea excesiva, o bien, un cable a la altura de los pies en el lado interior de la pasarela.

4.6 Cubiertas y lucernarios.

4.6.1 Introducción.

He dejado para el final las áreas del edificio donde la integración fotovoltaica es más habitual: las cubiertas. Considerada a menudo como “la quinta fachada”, la cubierta puede ser algo más que un cierre estanco o una planta técnica en la que se acumulan los equipos mecánicos y eléctricos del interior del edificio.

Distingo entre dos soluciones de cubierta, que requieren distintas respuestas de integración fotovoltaica.

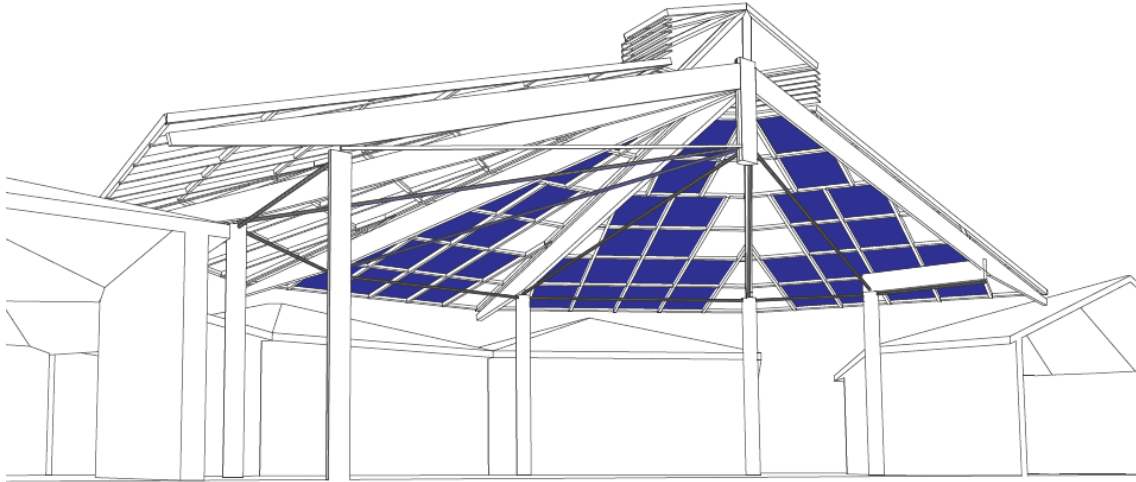


Figura 4.34: Diseño de un lucernario

Por una parte están las cubiertas planas e inclinadas (las denominaré ciegas), en las que los módulos pueden integrarse como un revestimiento adicional o como un componente individual del sistema estanco.

Por otra parte están las cubiertas acristaladas como los atrios o en un menor tamaño los lucernarios, que deben responder a las exigencias simultáneas de transparencia y de estanqueidad (figura 4.34).

Un tipo secundario de cubierta acristalada son las pérgolas exteriores.

4.6.2 Principios de construcción.

Las cubiertas tradicionales inclinadas son una solución constructiva tan antigua como la propia edificación. A partir de los elementos disponibles en el entorno, la estrategia ha sido utilizar la pendiente como mecanismo de evacuación del agua, pero no de su control. Así, la teja cerámica de tradición romana y árabe no es un material impermeable, pero el tiempo necesario para que el agua atraviese es mucho mayor que el tiempo de escorrentía, si el diseño y la ejecución son los adecuados.

Con la llegada de la construcción industrializada aparecen nuevos materiales que sí pueden hacer frente al agua desde una perspectiva de estanqueidad y no de evacuación. Se trata, por un lado de las membranas impermeables, basadas en cauchos o en materiales plásticos, y por otro lado, de las soluciones metálicas realizadas a partir de bobinas de acero o de aluminio prelacado y conformado mediante rodillos. Sin embargo, las tejas no han perdido nada su vigencia; lo que se ha

hecho es asegurar su comportamiento estanco insertando una membrana impermeable por la parte inferior o fijándolas sobre un material rígido y estable.

La cubierta plana se ha convertido en una solución estándar, sobre todo en la versión más estable, conocida como cubierta “plana invertida”, en la que la membrana impermeable queda protegida del sol y los cambios de temperatura están situados por debajo del aislamiento térmico. Actualmente es normal construir cubiertas planas o casi planas, visitables o accesibles sólo para mantenimiento, basadas en membranas impermeables, en las que la pendiente mínima para prevenir embolsamiento de agua ronda el 3%.

Por su parte, los lucernarios y claraboyas acristalados han seguido una evolución similar a las de las cubiertas ciegas. Cuando no se podía resolver el problema dejando el hueco abierto, la solución pasaba forzosamente por combinar pendiente y el solape.

En la actualidad, la construcción de los lucernarios y atrios acristalados se basa en el sistema de muros cortina de montantes y travesaños que vimos anteriormente. Los montantes, que actúan como pares y los travesaños que actúan como correas, transmiten las cargas verticales, como el peso propio, viento, nieve, mantenimiento... a la estructura principal. La longitud de los montantes no suele superar los cuatro metros entre apoyos, y si es mayor se necesita una subestructura a base de perfiles de acero. El vidrio que cierra las cubiertas acristaladas es siempre de doble acristalamiento, con la hoja interior laminada para prevenir posibles caídas por rotura de la hoja exterior (figura 4.35).



Figura 4.35: Lucernario a base de montantes y travesaños con acabado fotovoltaico; Centro de estudios medioambientales, Coruña.
Fuente: Fotografía cedida por Isofotón.

Una cuestión de importancia en la construcción de cubiertas acristaladas es la prevención de condensaciones en la cara interior y de acumulación de suciedad en la cara exterior. El riesgo de condensación debe calcularse y evitarse ya sea por ventilación de la cara interior o mediante el empleo de vidrio de altas prestaciones, que impide que se alcance el punto de rocío en la cara interior. La acumulación de suciedad puede reducirse aumentando la pendiente y evitando la presencia de elementos salientes en el plano del vidrio aguas abajo, para que el agua pueda correr sin detenerse.

En este sentido, el sellado con silicona de las juntas exteriores de los travesaños es una solución muy recomendable que puede combinarse con presores y tapas en los montantes, para fijar el vidrio en su plano. Los encuentros de la estructura de montantes y travesaños deben estar bien ejecutados, para permitir que el agua infiltrada en las juntas horizontales se dirija a través de un canal por el interior del travesaño hasta los canales inclinados de los montantes, desde los que saldrá al exterior de la cubierta aguas abajo. En la ejecución de atrios acristalados y lucernarios deberían seguirse escrupulosamente los principios de la pantalla de lluvia y de la eualización de presiones. Por otro lado, cuanto mayor sea el tamaño de la cubierta acristalada, más importante será prever juntas para movimientos diferenciales, tanto de la estructura como de la propia cubierta acristalada.

4.6.3 Integración fotovoltaica en cubiertas y lucernarios.

4.6.3.1 Cubiertas ciegas inclinadas.

En los edificios residenciales, las cubiertas inclinadas suelen revestirse con tejas cerámicas o de pizarra, dependiendo de las tradiciones constructivas de cada zona.

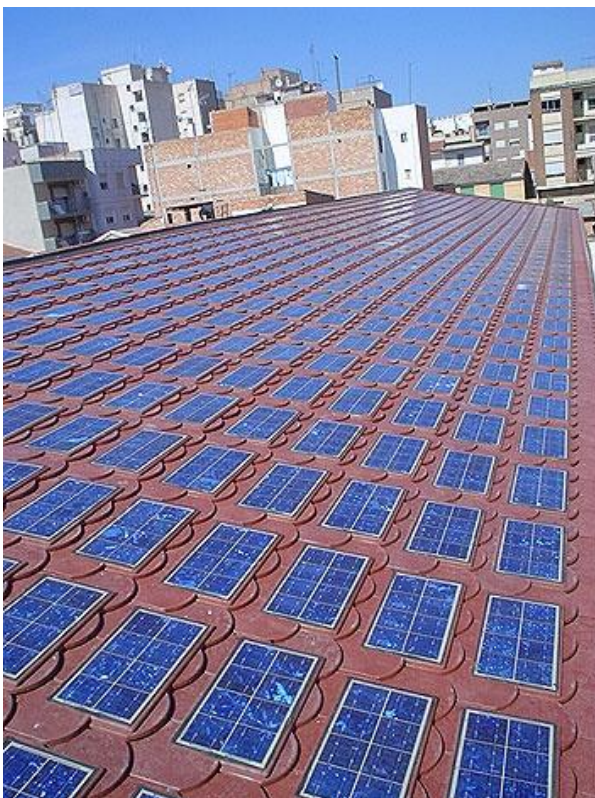


Figura 4.36: Superposición en cubierta inclinada; Miraflores de la sierra, Madrid.

Fuente: fotografía realizada por el autor.

Las primeras soluciones de aplicación de módulos fotovoltaicos en las cubiertas no pueden denominarse propiamente de integración, sino en todo caso de superposición, con resultados más que dudosos desde el punto de vista de la imagen final (figura 4.36).

Algunos fabricantes de módulos fotovoltaicos integrados se han esforzado en desarrollar soluciones de pequeños módulos que simulan el acabado y las dimensiones



de las tejas de pizarra y que se conocen como “tejas solares” (ver ANEXO: montaje de un tejado con tejas solares).

Esto puede lograrse con bastante éxito si las tejas son de pizarra o de asfalto, pero sobre cubiertas de teja cerámica la integración visual es más difícil (Imágenes de la parte izquierda y en la zona inferior).

Cuando las cubiertas inclinadas se resuelven con paneles metálicos, la integración es más sencilla. Hasta hace pocos años se seguía la vía de la superposición, es decir, los paneles de silicio monocristalino se fijaban sobre la cubierta metálica permitiendo generar las necesidades energéticas del edificio.

Actualmente es más habitual seguir la vía de la integración, gracias a los paneles metálicos con la cara exterior provista de láminas delgadas de silicio amorfo o de seleniuro de cobre.

Existen en el mercado unos paneles, en el que el laminado fotovoltaico flexible, basado en silicio amorfo se pega sobre un panel conformado de aluminio. La flexibilidad del silicio amorfo permite que el panel se pueda igualar al del



laminado fotovoltaico, o diferenciarse de éste (figura 4.37).

El siguiente paso es saltar el panel como revestimiento de una cubierta, al panel prefabricado con láminas fotovoltaicas integradas como el elemento único del cerramiento de cubierta, en una evolución equivalente a la de las fachadas modulares.



Si no están recubiertos de vidrio, se puede caminar por encima de los paneles durante la instalación y el mantenimiento. Cada panel puede llegar a tener una longitud de 17 metros y lleva una sola conexión eléctrica (Imagen en la

zona izquierda). El montaje es muy rápido: con una sola operación de la grúa para cada panel, la cubierta exterior queda completamente terminada.



Figura 4.37: Laminado flexible de silicio amorfo pegado sobre paneles machihembrados de aluminio.
Fuente: Fotografía realizada por el autor.

4.6.3.2 Cubiertas ciegas planas.

Instalar unos módulos fotovoltaicos sobre una cubierta plana ciega es la primera forma de integración, y todavía la más habitual, de la generación fotovoltaica en los edificios. No obstante, debemos cuestionarnos sobre el escaso grado de integración alcanzado hasta ahora: en la mayoría de los casos, los paneles se superponen a una cubierta ya existente y, por tanto, no sustituyen a ningún otro elemento constructivo (figura 4.38). Por otro lado, su montaje tiene que ser muy cuidadoso ya desde el proyecto, para que las fijaciones de la estructura de los módulos no perforen la lámina impermeable de la cubierta.



Figura 4.38: Montaje de placas fotovoltaicas en cubierta industrial; Murcia

Fuente: Fotografía realizada por el autor.

Todos los fabricantes de sistemas fotovoltaicos tienen soluciones para cubiertas planas, que suelen ser las más económicas de su gama de productos, ya que se emplean dimensiones y sistemas normalizados.

4.6.3.3 Lucernarios y atrios acristalados.

Como ya vimos en los muros cortina, es fácil integrar módulos fotovoltaicos en lucernarios basados en montantes y travesaños. Esto puede hacerse tanto en las partes de visión como en las partes opacas, si es que existen (figura 4.39). Los vidrios de doble acristalamiento de las cubiertas se reemplazan por paneles fotovoltaicos con cierto grado de transparencia, montados a su vez en un doble acristalamiento para no

perder sus prestaciones de transmisión térmica. La fijación de los módulos es exactamente igual a la de los vidrios a los que sustituyen la figura 4.40 es un esquema tipo.



Figura 4.39: Lucernario de la planta Isofotón; Málaga.

Fuente: Fotografía cedida por Isofotón.

Si los módulos fotovoltaicos se van a integrar en las zonas de visión de una cubierta acristalada, el módulo se situará en la hoja exterior del doble acristalamiento, que además incorporará otras láminas de baja emisión y posiblemente de control solar. Para evitar roturas del vidrio debido al choque térmico, el vidrio laminado se deberá templar o termoendurecer. El conjunto del doble acristalamiento también deberá soportar acciones estructurales como las del viento, sobrecargas de mantenimiento e impactos desde otros edificios o partes altas del mismo. La hoja interior del doble acristalamiento será también laminada, para actuar como línea de defensa en caso de rotura de la hoja exterior.

Si los módulos fotovoltaicos se integran en las zonas opacas del lucernario o atrio, se puede emplear un módulo fotovoltaico opaco, tanto de lámina delgada como de silicio amorfo. El módulo opaco se puede integrar en vidrio simple o doble. Si se emplea vidrio doble, se puede hacer opaco con una capa cerámica o impresa en la cara interior. Si se emplea vidrio simple, conviene drenar la cámara situada detrás de éste, equalizar su presión con el ambiente exterior y aislar la cara interna con una barrera de vapor. El calor generado en la cámara obligaría a emplear vidrio templado o termoendurecido.

Entre las cuestiones que requieren atención en el sistema de atrio acristalado con módulos fotovoltaicos, será la localización de la caja de conexiones en el trasdós del módulo, el recorrido y registro de los cables a lo largo de los montantes y travesaños, la impermeabilización de las perforaciones a través de los perfiles, la durabilidad de los sellados de borde del doble acristalamiento y la capacidad del módulo fotovoltaico de soportar las cargas de viento, nieve y mantenimiento. La cuestión de la impermeabilización es especialmente delicada: la perfilería debe tener una línea interior de evacuación del agua infiltrada y no confiar la estanqueidad solamente al sellado exterior. Se puede ver el detalle en la figura 4.41.

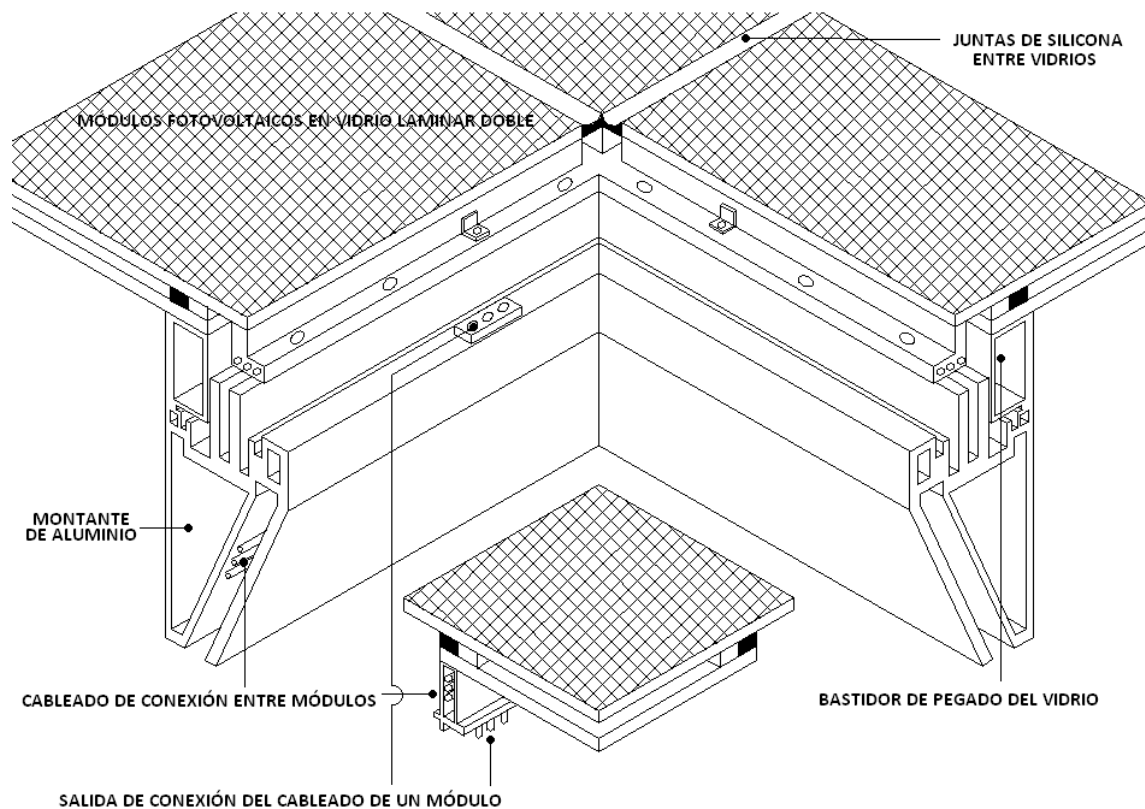


Figura 4.40: Esquema tipo de una cubierta acristalada fotovoltaica con vidrio fijado mediante encolado estructural.

Fuente: Detalle realizado por el autor.

Un sistema de lamas fotovoltaicas montadas sobre un lucernario puede resolver al mismo tiempo la integración fotovoltaica y la generación de sombras. Las lamas pueden activarse para girar con el sol, y el espacio entre ellas asegura una ventilación adecuada.

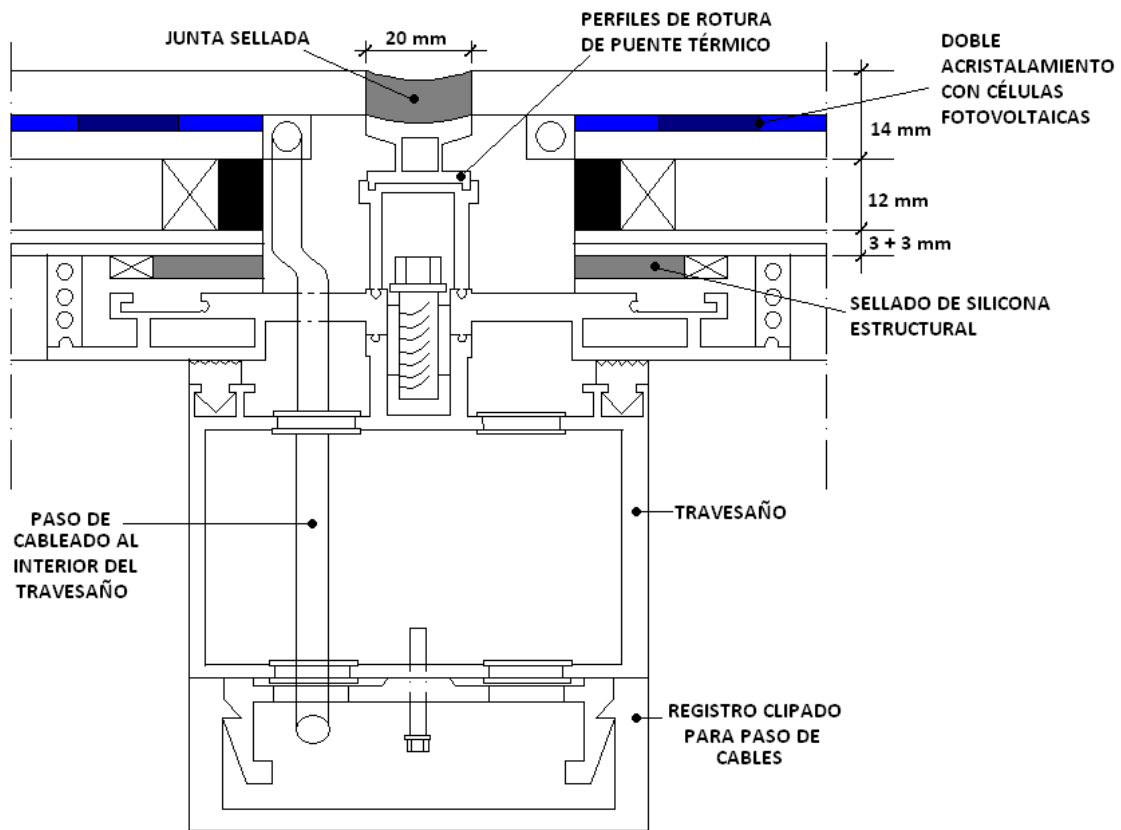


Figura 4.41: Esquema de lucernario con doble acristalamiento encolado mediante silicona estructural, con módulos fotovoltaicos integrados; se aprecia la conexión del cableado a través de los travesaños y su registro por la cara interior de éstos.

Fuente: Detalle realizado por el autor.

Las grandes superficies acristaladas que encierran atrios de dimensiones considerables son una solución arquitectónica cada vez más en auge. Para alcanzar el control solar necesario en la cubierta de un atrio se pueden usar módulos fotovoltaicos, dispuestos de forma ordenada o aleatoria.

4.6.4 Mantenimiento y limpieza.

Tanto si se trata de cubiertas inclinadas, planas o lucernarios, el mantenimiento y la reposición deben hacerse desde el exterior de la cubierta o del lucernario. Un acceso fácil y con los puntos de amarre bien definidos, sobre todo en cubiertas inclinadas, debe ser tenido en cuenta desde la fase de diseño. El acceso debe permitir la llegada a todos los paneles y las cajas de conexión.

La sustitución de módulos fotovoltaicos en una cubierta es más difícil cuanto mejor integrados están. En las soluciones de superposición, la retirada de un módulo no afecta al funcionamiento de la cubierta. Mientras que si retiramos un vidrio de un atrio tenemos un riesgo evidente de entrada de agua y pérdidas de calor. Por tanto, la

integración lleva aparejado un mayor esfuerzo para prever las vías de acceso, los mecanismos de reposición y las actuaciones en casos especiales.

La estrategia de acceso debe contemplar además el tamaño y el peso de los elementos mayores que haya que sustituir, y prever un protocolo de sustitución que se recogerá en el manual de mantenimiento del edificio.

5. Condiciones técnicas

5. Condiciones técnicas.

5.1 Componentes y materiales.

5.1.1 Generalidades.

- Como principio general se ha de asegurar, como mínimo, un grado de aislamiento eléctrico de tipo básico clase I en lo que afecta tanto a equipos (módulos e inversores), como a materiales (conductores, cajas y armarios de conexión), exceptuando el cableado de continua, que será de doble aislamiento.
- La instalación incorporará todos los elementos y características necesarios para garantizar en todo momento la calidad del suministro eléctrico.
- El funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas no deberá provocar en la red averías, disminuciones de las condiciones de seguridad ni alteraciones superiores a las admitidas por la normativa que resulte aplicable.
- Asimismo, el funcionamiento de estas instalaciones no podrá dar origen a condiciones peligrosas de trabajo para el personal de mantenimiento y explotación de la red de distribución.
- Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.
- Se incluirán todos los elementos necesarios de seguridad y protecciones propias de las personas y de la instalación fotovoltaica, asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones que resulten de la aplicación de la legislación vigente.
- En la Memoria de Diseño o Proyecto se resaltarán los cambios que hubieran podido producirse respecto a la Memoria de Solicitud, y el motivo de los mismos. Además, se incluirán las fotocopias de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante de todos los componentes.
- Por motivos de seguridad y operación de los equipos, los indicadores, etiquetas, etc. de los mismos estarán en alguna de las lenguas españolas oficiales del lugar de la instalación.

5.1.2 Sistemas generadores fotovoltaicos.

- Todos los módulos deberán satisfacer las especificaciones UNE-EN 61215 para módulos de silicio cristalino, o UNE-EN 61646 para módulos fotovoltaicos capa delgada, así como estar cualificados por algún laboratorio reconocido (por ejemplo, Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, Joint Research Centre Ispra, etc.), lo que se acreditará mediante la presentación del certificado oficial correspondiente. Este requisito no se aplica a los casos excepcionales

(En aquellos casos excepcionales en que se utilicen módulos no cualificados, deberá justificarse debidamente y aportar documentación sobre las pruebas y ensayos a los que han sido sometidos. En cualquier caso, todo producto que no cumpla alguna de las especificaciones anteriores deberá contar con la aprobación expresa del IDAE. En todos los casos han de cumplirse las normas vigentes de obligado cumplimiento).

- El módulo fotovoltaico llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo y nombre o logotipo del fabricante, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.
- Se utilizarán módulos que se ajusten a las características técnicas descritas a continuación. En caso de variaciones respecto de estas características, con carácter excepcional, deberá presentarse en la Memoria de Solicitud justificación de su utilización y deberá ser aprobada por el IDAE.
- Los módulos deberán llevar los diodos de derivación para evitar las posibles averías de las células y sus circuitos por sombreados parciales y tendrán un grado de protección IP65.
- Los marcos laterales, si existen, serán de aluminio o acero inoxidable.
- Para que un módulo resulte aceptable, su potencia máxima y corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar deberán estar comprendidas en el margen del $\pm 10\%$ de los correspondientes valores nominales de catálogo.
- Será rechazado cualquier módulo que presente defectos de fabricación como roturas o manchas en cualquiera de sus elementos así como falta de alineación en las células o burbujas en el encapsulante.
- Se valorará positivamente una alta eficiencia de las células.
- La estructura del generador se conectará a tierra.
- Por motivos de seguridad y para facilitar el mantenimiento y reparación del generador, se instalarán los elementos necesarios (fusibles, interruptores, etc.) para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales, de cada una de las ramas del resto del generador.

5.1.3 Estructura soporte.

- Las estructuras soporte deberán cumplir las especificaciones de este apartado. En caso contrario se deberá incluir en la Memoria de Solicitud y de Diseño o Proyecto un apartado justificativo de los puntos objeto de incumplimiento y su aceptación deberá contar con la aprobación expresa del IDAE. En todos los casos se dará cumplimiento a lo obligado por la NBE y demás normas aplicables.
- La estructura soporte de módulos ha de resistir, con los módulos instalados, las sobrecargas del viento y nieve, de acuerdo con lo indicado en la normativa básica de la edificación NBE-AE-88.

- El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos, siguiendo las indicaciones del fabricante.
- Los puntos de sujeción para el módulo fotovoltaico serán suficientes en número, teniendo en cuenta el área de apoyo y posición relativa, de forma que no se produzcan flexiones en los módulos superiores a las permitidas por el fabricante y los métodos homologados para el modelo de módulo.
- El diseño de la estructura se realizará para la orientación y el ángulo de inclinación especificado para el generador fotovoltaico, teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje, y la posible necesidad de sustituciones de elementos.
- La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de los agentes ambientales. La realización de taladros en la estructura se llevará a cabo antes de proceder, en su caso, al galvanizado o protección de la estructura.
- La tornillería será realizada en acero inoxidable, cumpliendo la norma MV-106. En el caso de ser la estructura galvanizada se admitirán tornillos galvanizados, exceptuando la sujeción de los módulos a la misma, que serán de acero inoxidable.
- Los topes de sujeción de módulos y la propia estructura no arrojarán sombra sobre los módulos.
- En el caso de instalaciones integradas en cubierta que hagan las veces de la cubierta del edificio, el diseño de la estructura y la estanquidad entre módulos se ajustará a las exigencias de las Normas Básicas de la Edificación y a las técnicas usuales en la construcción de cubiertas.
- Se dispondrán las estructuras soporte necesarias para montar los módulos, tanto sobre superficie plana (terraza) como integrados sobre tejado, cumpliendo lo especificado en el punto sobre sombras. Se incluirán todos los accesorios y bancadas y/o anclajes.

•Orientación e inclinación y sombras

- La orientación e inclinación del generador fotovoltaico y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla I. Se considerarán tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica. En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

	Orientación e inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI + S)
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración Arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla I

- Cuando, por razones justificadas, y en casos especiales en los que no se puedan instalar de acuerdo con el apartado anterior, se evaluará la reducción en las prestaciones energéticas de la instalación, incluyéndose en la Memoria de Solicitud y reservándose el IDAE su aprobación.
- En todos los casos deberán evaluarse las pérdidas por orientación e inclinación del generador y sombras. En los anexos II y III se proponen métodos para el cálculo de estas pérdidas, y podrán ser utilizados por el IDAE para su verificación.

- La estructura soporte será calculada según la norma MV-103 para soportar cargas extremas debidas a factores climatológicos adversos, tales como viento, nieve, etc.
- Si está construida con perfiles de acero laminado conformado en frío, cumplirá la norma MV-102 para garantizar todas sus características mecánicas y de composición química.
- Si es del tipo galvanizada en caliente, cumplirá las normas UNE 37-501 y UNE 37-508, con un espesor mínimo de 80 micras para eliminar las necesidades de mantenimiento y prolongar su vida útil.

5.1.4 Inversores.

- Serán del tipo adecuado para la conexión a la red eléctrica, con una potencia de entrada variable para que sean capaces de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico puede proporcionar a lo largo de cada día.
- Las características básicas de los inversores serán las siguientes:
 - Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
 - Autoconmutados.
 - Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
 - No funcionarán en isla o modo aislado.
- Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética (ambas serán certificadas por el fabricante), incorporando protecciones frente a:
 - Cortocircuitos en alterna.
 - Tensión de red fuera de rango.
 - Frecuencia de red fuera de rango.
 - Sobretensiones, mediante varistores o similares.
 - Perturbaciones presentes en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.
- Cada inversor dispondrá de las señalizaciones necesarias para su correcta operación, e incorporará los controles automáticos imprescindibles que aseguren su adecuada supervisión y manejo.
- Cada inversor incorporará, al menos, los controles manuales siguientes:
 - Encendido y apagado general del inversor.

- Conexión y desconexión del inversor a la interfaz CA. Podrá ser externo al inversor.
- Las características eléctricas de los inversores serán las siguientes:
 - El inversor seguirá entregando potencia a la red de forma continuada en condiciones de irradiación solar un 10 % superior a las CEM. Además soportará picos de magnitud un 30 % superior a las CEM durante períodos de hasta 10 segundos.
 - Los valores de eficiencia al 25 % y 100 % de la potencia de salida nominal deberán ser superiores al 85 % y 88 % respectivamente (valores medidos incluyendo el transformador de salida, si lo hubiere) para inversores de potencia inferior a 5 kW, y del 90 % al 92 % para inversores mayores de 5 kW.
 - El autoconsumo del inversor en modo nocturno ha de ser inferior al 0,5 % de su potencia nominal.
 - El factor de potencia de la potencia generada deberá ser superior a 0,95, entre el 25 % y el 100 % de la potencia nominal.
 - A partir de potencias mayores del 10 % de su potencia nominal, el inversor deberá inyectar en red.
- Los inversores tendrán un grado de protección mínima IP 20 para inversores en el interior de edificios y lugares inaccesibles, IP 30 para inversores en el interior de edificios y lugares accesibles, y de IP 65 para inversores instalados a la intemperie. En cualquier caso, se cumplirá la legislación vigente.
- Los inversores estarán garantizados para operación en las siguientes condiciones ambientales: entre 0 °C y 40 °C de temperatura y entre 0 % y 85% de humedad relativa.

5.1.5 Cableado.

- Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente.
- Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Concretamente, para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte CC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 % y los de la parte CA para que la caída de tensión sea inferior del 2 %, teniendo en ambos casos como referencia las tensiones correspondientes a cajas de conexiones.
- Se incluirá toda la longitud de cable CC y CA. Deberá tener la longitud necesaria para no generar esfuerzos en los diversos elementos ni posibilidad de enganche por el tránsito normal de personas.
- Todo el cableado de continua será de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado, de acuerdo con la norma UNE 21123.

5.1.6 Conexión a red.

- Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículos 8 y 9) sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas

conectadas a la red de baja tensión, y con el esquema unifilar que aparece en la Resolución de 31 de mayo de 2001.

5.1.7 Medidas.

- Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 10) sobre medidas y facturación de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

5.1.8 Protecciones.

- Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 11) sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión y con el esquema unifilar que aparece en la Resolución de 31 de mayo de 2001.
- En conexiones a la red trifásicas las protecciones para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51 y 49 Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 Um y 0,85 Um respectivamente) serán para cada fase.

5.1.9 Puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas.

- Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 12) sobre las condiciones de puesta a tierra en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.
- Cuando el aislamiento galvánico entre la red de distribución de baja tensión y el generador fotovoltaico no se realice mediante un transformador de aislamiento, se explicarán en la Memoria de Solicitud y de Diseño o Proyecto los elementos utilizados para garantizar esta condición.
- Todas las masas de la instalación fotovoltaica, tanto de la sección continua como de la alterna, estarán conectados a una única tierra. Esta tierra será independiente de la del neutro de la empresa distribuidora, de acuerdo con el Reglamento de Baja Tensión.

5.1.10 Armónicos y compatibilidad electromagnética.

- Todas las instalaciones cumplirán con lo dispuesto en el Real Decreto 1663/2000 (artículo 13) sobre armónico y compatibilidad electromagnética en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

5.2 Recepción y pruebas.

- El instalador entregará al usuario un documento-albarán en el que conste el suministro de componentes, materiales y manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Este documento será firmado por duplicado por ambas partes, conservando cada una un ejemplar. Los manuales entregados al usuario estarán en alguna de las lenguas oficiales españolas para facilitar su correcta interpretación.
- Antes de la puesta en servicio de todos los elementos principales (módulos, inversores, contadores) éstos deberán haber superado las pruebas de

funcionamiento en fábrica, de las que se levantará oportuna acta que se adjuntará con los certificados de calidad.

- Las pruebas a realizar por el instalador, con independencia de lo indicado con anterioridad en este PCT, serán como mínimo las siguientes:
 - Funcionamiento y puesta en marcha de todos los sistemas.
 - Pruebas de arranque y parada en distintos instantes de funcionamiento.
 - Pruebas de los elementos y medidas de protección, seguridad y alarma, así como su actuación, con excepción de las pruebas referidas al interruptor automático de la desconexión.
 - Determinación de la potencia instalada, de acuerdo con el procedimiento descrito en el anexo I.
- Concluidas las pruebas y la puesta en marcha se pasará a la fase de la Recepción Provisional de la Instalación. No obstante, el Acta de Recepción Provisional no se firmará hasta haber comprobado que todos los sistemas y elementos que forman parte del suministro han funcionado correctamente durante un mínimo de 240 horas seguidas, sin interrupciones o paradas causadas por fallos o errores del sistema suministrado, y además se hayan cumplido los siguientes requisitos:
 - Entrega de toda la documentación requerida en este PCT.
 - Retirada de obra de todo el material sobrante.
 - Limpieza de las zonas ocupadas, con transporte de todos los desechos a vertedero.
- Durante este período el suministrador será el único responsable de la operación de los sistemas suministrados, si bien deberá adiestrar al personal de operación.
- Todos los elementos suministrados, así como la instalación en su conjunto, estarán protegidos frente a defectos de fabricación, instalación o diseño por una garantía de tres años, salvo para los módulos fotovoltaicos, para los que la garantía será de 8 años contados a partir de la fecha de la firma del acta de recepción provisional.
- No obstante, el instalador quedará obligado a la reparación de los fallos de funcionamiento que se puedan producir si se aprecia que su origen procede de defectos ocultos de diseño, construcción, materiales o montaje, comprometiéndose a subsanarlos sin cargo alguno. En cualquier caso, deberá atenerse a lo establecido en la legislación vigente en cuanto a vicios ocultos.

5.3 Requerimientos técnicos del contrato de mantenimiento

5.3.1 Generalidades.

- Se realizará un contrato de mantenimiento preventivo y correctivo de al menos tres años.
- El contrato de mantenimiento de la instalación incluirá todos los elementos de la instalación con las labores de mantenimiento preventivo aconsejados por los diferentes fabricantes.

5.3.2 Programa de mantenimiento.

- El objeto de este apartado es definir las condiciones generales mínimas que deben seguirse para el adecuado mantenimiento de las instalaciones de energía solar fotovoltaica conectadas a red.
- Se definen dos escalones de actuación para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida útil de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la producción y prolongar la duración de la misma:
 - Mantenimiento preventivo
 - Mantenimiento correctivo
- Plan de mantenimiento preventivo: operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la misma.
- Plan de mantenimiento correctivo: todas las operaciones de sustitución necesarias para asegurar que el sistema funciona correctamente durante su vida útil. Incluye:
 - La visita a la instalación en los plazos indicados en el apartado de garantías, el segundo punto de lugar y tiempo de la prestación y cada vez que el usuario lo requiera por avería grave en la misma.
 - El análisis y elaboración del presupuesto de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la instalación.
 - Los costes económicos del mantenimiento correctivo, con el alcance indicado, forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra ni las reposiciones de equipos necesarias más allá del período de garantía.
- El mantenimiento debe realizarse por personal técnico cualificado bajo la responsabilidad de la empresa instaladora.
- El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá al menos una visita (anual para el caso de instalaciones de potencia menor de 5 kWp y semestral para el resto) en la que se realizarán las siguientes actividades:
 - Comprobación de las protecciones eléctricas.
 - Comprobación del estado de los módulos: comprobación de la situación respecto al proyecto original y verificación del estado de las conexiones.
 - Comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc.
 - Comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornes), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes y limpieza.
- Realización de un informe técnico de cada una de las visitas en el que se refleje el estado de las instalaciones y las incidencias acaecidas.

- Registro de las operaciones de mantenimiento realizadas en un libro de mantenimiento, en el que constará la identificación del personal de mantenimiento (nombre, titulación y autorización de la empresa).

5.3.3 Garantías.

- **Ámbito general de la garantía**
 - Sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el manual de instrucciones.
 - La garantía se concede a favor del comprador de la instalación, lo que deberá justificarse debidamente mediante el correspondiente certificado de garantía, con la fecha que se acredite en la certificación de la instalación.
- **Plazos**
 - El suministrador garantizará la instalación durante un período mínimo de 3 años, para todos los materiales utilizados y el procedimiento empleado en su montaje. Para los módulos fotovoltaicos, la garantía mínima será de 8 años.
 - Si hubiera de interrumpirse la explotación del suministro debido a razones de las que es responsable el suministrador, o a reparaciones que el suministrador haya de realizar para cumplir las estipulaciones de la garantía, el plazo se prolongará por la duración total de dichas interrupciones.
- **Condiciones económicas**
 - La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía.
 - Quedan expresamente incluidos todos los demás gastos, tales como tiempos de desplazamiento, medios de transporte, amortización de vehículos y herramientas, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.
 - Asimismo, se deben incluir la mano de obra y materiales necesarios para efectuar los ajustes y eventuales reglajes del funcionamiento de la instalación.
 - Si en un plazo razonable, el suministrador incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho suministrador cumpla con sus obligaciones. Si el suministrador no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación podrá, por cuenta y riesgo del suministrador, realizar por sí mismo las oportunas reparaciones, o contratar para ello a un

tercero, sin perjuicio de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el suministrador.

- Anulación de la garantía
 - La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido reparada, modificada o desmontada, aunque sólo sea en parte, por personas ajenas al suministrador o a los servicios de asistencia técnica de los fabricantes no autorizados expresamente por el suministrador, salvo lo indicado en el último punto de condiciones económicas.
- Lugar y tiempo de la prestación
 - Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación lo comunicará fehacientemente al suministrador. Cuando el suministrador considere que es un defecto de fabricación de algún componente, lo comunicará fehacientemente al fabricante.
 - El suministrador atenderá cualquier incidencia en el plazo máximo de una semana y la resolución de la avería se realizará en un tiempo máximo de 15 días, salvo causas de fuerza mayor debidamente justificadas.
 - Las averías de las instalaciones se repararán en su lugar de ubicación por el suministrador. Si la avería de algún componente no pudiera ser reparada en el domicilio del usuario, el componente deberá ser enviado al taller oficial designado por el fabricante por cuenta y a cargo del suministrador.
 - El suministrador realizará las reparaciones o reposiciones de piezas a la mayor brevedad posible una vez recibido el aviso de avería, pero no se responsabilizará de los perjuicios causados por la demora en dichas reparaciones siempre que sea inferior a 15 días naturales.

6. Conclusiones

6. Conclusiones.

Desde el punto de vista constructivo, los elementos fotovoltaicos deben cumplir una serie de requerimientos tales como el aspecto deseado como el color, imagen, tamaño, transparencia, la impermeabilización, la resistencia a las cargas de viento, la durabilidad y el mantenimiento, la seguridad durante la construcción y el uso.

En cualquier caso, el reto está en integrar adecuadamente los paneles fotovoltaicos dentro de los edificios, y conseguir así compaginar exigencias de la generación eléctrica y los requerimientos de cerramiento.

En el proyecto he intentado analizar al detalle las distintas opciones de integración de los módulos fotovoltaicos en la edificación y se ha expuesto sus posibilidades y requerimientos.

Las fachadas ventiladas son muy adecuadas para la integración fotovoltaica, su cámara de aire posterior tiene como función reducir las temperaturas, por lo que contribuye a mantener un alto rendimiento fotovoltaico, además de proporcionar espacio para el cableado y las conexiones.

En las fachadas verticales o inclinadas, los muros cortina son una opción de recubrimiento conocida y fiable. Los módulos fotovoltaicos se pueden integrar en las dos modalidades de muro cortina: el sistema de montantes y travesaños, ensamblado en obra; y el sistema modular, prefabricado completamente en el taller. Desde el punto de vista constructivo, este último es mejor para la integración de los módulos fotovoltaicos, porque las instalaciones y la conexión eléctrica de los módulos se llevan a cabo bajo condiciones de calidad más controladas.

Las ventanas también pueden albergar módulos fotovoltaicos, que pueden ocupar las partes fijas y dejar libres las practicables para la visión directa. Otra posibilidad es emplear módulos semitransparentes de lámina delgada que cubran toda la superficie de la ventana.

Los voladizos son una buena opción para la integración fotovoltaica por su inclinación hacia el sol y porque sus dos caras están ventiladas. Los parasoles y las lamas tienen una gran oportunidad de convertirse en el soporte ideal para integrar los módulos fotovoltaicos y combinar dos funciones en un solo elemento: el control solar y la producción energética. En los parasoles fijos, los paneles fotovoltaicos pueden estar insertos en paños de vidrio laminado sujeto a una perfilera de aluminio en ménsula, a través de la cual se efectúan las conexiones eléctricas al interior del edificio. Una variante es la de los parasoles metálicos revestidos con paneles solares de lámina delgada.

Las cubiertas son las zonas del edificio donde la integración fotovoltaica es más habitual. En las cubiertas ciegas, los módulos pueden integrarse como un revestimiento superpuesto o como un componente interior del sistema estanco. En las cubiertas inclinadas es preferible evitar la superposición y utilizar módulos

especialmente diseñados para su integración en ellas, como las tejas fotovoltaicas. Para las cubiertas planas, todos los fabricantes de sistemas fotovoltaicos tienen soluciones estándar, generalmente de bajo coste, ya que se emplean dimensiones y sistemas de fijación normalizados.

En la integración fotovoltaica en lucernarios y atrios acristalados se combinan la generación eléctrica, la transparencia y la estanqueidad. La integración se produce tanto en las partes de visión como en las partes opacas, si es que existen. Los vidrios de doble acristalamiento de los lucernarios se reemplazan por paneles fotovoltaicos con cierto grado de transparencia, montados a su vez en un doble acristalamiento para no perder prestaciones de transmisividad térmica. La fijación de los módulos es exactamente igual a la de los vidrios que sustituyen.

En los edificios industriales o pabellones polideportivos, los paneles fotovoltaicos pueden colocarse en la cara sur de una cubierta en diente de sierra, lo que permite la entrada de luz natural por la cara norte. Si el edificio tiene una cubierta curva, una buena opción es emplear paneles fotovoltaicos de lámina delgada, opaca pero flexible, integrados en la chapa nervada de la cubierta.