

Master en Energías Renovables y Mercado Energético
Módulo de Energía Solar Fotovoltaica

Riesgos y protecciones en las instalaciones fotovoltaicas

Isidoro Lillo Bravo
ESCUELA DE INGENIERIOS
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Master en Energías Renovables y Mercado Energético
Módulo de Energía Solar Fotovoltaica
Riesgos y protecciones en las instalaciones fotovoltaicas

Isidoro Lillo Bravo

Escuela de Ingenieros – UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Contenido

1. Introducción	3
2. Factores de riesgos.....	3
2.1. Existencia de tensiones elevadas	3
2.2. Tipo de corriente.....	3
2.3. Existencia de acumuladores electroquímicos	4
Presencia de ácido.....	4
Presencia de gases inflamables	4
2.4. Riesgos de cortocircuito.....	4
2.5. Sobretensiones	5
2.6. Defectos de aislamiento	5
2.7. Puntos calientes.....	5
3. Valoración y cuantificación de los factores de riesgo	7
3.1. Efectos de la tensión-corriente sobre el cuerpo humano	7
3.2. Efectos del tipo de corriente sobre el organismo	10
3.3. Existencia de acumuladores electroquímicos	11
Efectos de la presencia de ácido	11
Efectos de la presencia de gases inflamables.....	13
3.4. Cortocircuito	13
3.5. Otros riesgos	14
3.6. Efectos de las sobretensiones.....	14
3.7. Puntos calientes.....	15
4. Métodos de prevención.....	16
4.1. Introducción.....	16
4.2. Diseño de la instalación	16
Medidas de prevención de accidentes eléctricos	16
Instalaciones eléctricas en locales con riesgo de incendio o de explosión	22
Normativa	22
Clasificación de emplazamientos.....	22
Equipos eléctricos normalizados	24
Protección contra el rayo	24
Selección de conductores.....	25
Grados de protección de las envolventes.....	26
Diseño del campo solar.....	29
Diseño de salas de baterías	30
Conceptos Generales.....	30
Recomendaciones generales	31
Protección contra peligros por los efectos de la electricidad.....	32
Protección contra peligros a través de la acción del electrolito.....	34
Precauciones contra el riesgo de explosión	35
4.3. Montaje y mantenimiento	39
Herramientas de medida	42
5.- Conclusiones.....	43
6. Bibliografía	43

1. Introducción

En el presente módulo dedicado a la seguridad de las instalaciones solares fotovoltaicas se quiere dejar constancia de los posibles riesgos que existen en las instalaciones fotovoltaicas en función de las características de ésta (tensión/es de operación, existencia o no de acumuladores electroquímicos, etc..) y de las medidas correctoras que pueden llevarse a cabo, en función de criterios técnicos y de cumplimiento de la legislación vigente.

En el apartado 2, se definen todos los posibles factores de riesgo que pueden aparecer durante el montaje y uso de una instalación fotovoltaica. En el apartado 3, se realiza una valoración y cuantificación de los factores señalados. En el apartado 4 se establecen diferentes posibles medidas de prevención para evitar los riesgos definidos y cuantificados anteriormente.

2. Factores de riesgos

En el presente capítulo se ponen de manifiesto cómo en algunas instalaciones fotovoltaicas existen factores que ponen en peligro a las personas, animales y/o cosas.

Los factores de riesgo que pueden existir en una instalación fotovoltaica son:

2.1. Existencia de tensiones elevadas

En una instalación fotovoltaica pueden existir niveles de tensión que superen los siguientes umbrales de seguridad, dados por el R.E.B.T:

- 50 V. en corriente alterna en locales secos.
- 24 V. en corriente alterna o continua en locales húmedos.
- 75 V. en corriente continua en locales secos.

En efecto, estos niveles de tensión se pueden obtener fácilmente mediante la conexión serie de paneles solares y/o baterías, mediante el uso de convertidores de corriente continua-corriente continua o de un inversor de corriente continua a corriente alterna.

La posibilidad de que, en principio, una instalación fotovoltaica pueda alcanzar tensiones superiores a la de seguridad obliga, en caso necesario, a establecer medidas preventivas específicas que minimicen el posible riesgo en función de su tensión.

Con el previsible desarrollo de las instalaciones de conexión a red, es frecuente que en la parte de corriente continua de la instalación también existan tensiones por encima de los 75 V.

2.2. Tipo de corriente

Los paneles solares producen corriente eléctrica continua existiendo ocasiones que, por motivos técnicos o económicos, es necesario convertirla a alterna, pudiendo disponer de uno o

de los dos tipos de corriente en una misma instalación.

La acción de estos dos tipos de corriente sobre el organismo y equipos es diferente y, por consiguiente, también lo serán las medidas de prevención que se tengan que aplicar, sobre todo desde el punto de vista de la posible utilización de equipos de prevención que únicamente se accionan mediante corriente alterna.

2.3. Existencia de acumuladores electroquímicos

Las instalaciones fotovoltaicas que dispongan de acumuladores electroquímicos (baterías) presentan los siguientes riesgos:

Presencia de ácido

El ácido de las baterías, fuertemente corrosivo, puede afectar muy peligrosamente a las personas, animales o cosas durante la manipulación de éste o de las baterías.

Presencia de gases inflamables

Durante el proceso de carga de una batería se desprende hidrógeno y oxígeno.

El hidrógeno es un gas muy inflamable, siendo su velocidad de combustión la más alta de todos los gases, y su energía de ignición muy baja. Estas propiedades hacen que una pequeña chispa, la fricción o la electricidad estática produzcan la ignición inmediata de este gas. (La energía mínima de ignición a presión atmosférica es de 0,019 mJ en el aire y 0,07 mJ en oxígeno).

Una mezcla de 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno ó 5 de aire atmosférico, encendida por una chispa, da lugar a la combinación con formación de agua acompañada de una fuerte detonación.

Actualmente muchas baterías de instalaciones fotovoltaicas se encuentran en salas habitadas en presencia de focos calientes (cocinas, chimeneas, etc..) y sin la más mínima ventilación con el riesgo señalado.

2.4. Riesgos de cortocircuito

La intensidad de cortocircuito de un grupo de paneles no es peligrosa para los equipos y conductores porque es muy similar a la intensidad nominal de funcionamiento de la instalación cuando la irradiancia alcanza 1.000 W/m². Por este motivo, un cortocircuito en el campo solar no es peligroso para los equipos a los que está normalmente conectado.

Cuando en la instalación fotovoltaica existen baterías, sí que pueden producirse cortocircuitos o sobreintensidades que pueden ocasionar riesgos para los equipos y/o para las personas, siendo obligatoria su protección.

2.5. Sobretensiones

Las sobretensiones suelen ser debidas a la incidencia de un rayo. Cada impacto de rayo origina unos efectos indirectos en sus alrededores que afecta a un radio de 1 km aproximadamente. La probabilidad de que un rayo afecte indirectamente a un edificio es por tanto mucho mayor a que se produzca un impacto directo de un rayo en el edificio. Por lo que se puede concluir que una instalación a lo largo de su vida útil se ve más influenciada por los impactos de rayos en sus alrededores que en la propia instalación.

Los efectos de impactos indirectos de rayos son acoplamientos galvánicos, inductivos y capacitivos. Los acoplamientos producen sobretensiones, de las cuales hay que proteger a las instalaciones eléctricas del propio edificio. La protección interna contra rayos incluye a todas las instalaciones del edificio, que se encargan de la protección de los efectos indirectos de los rayos pero también de la conexión a la red de distribución pública (en el caso de instalaciones de conexión a red). Cuanto mayor sea el peligro de impactos de rayos mayores deben ser las medidas de protección interna. Una condición previa para una adecuada función de una protección interna contra rayos es una buena conexión equipotencial según la IEC 364-5-54. A través de la conexión equipotencial se conectan a tierra todas las tuberías metálicas (por ejemplo, conducciones de agua, calefacción, gas...).

Los acoplamientos inductivos de los rayos se pueden producir en el módulo, en los cables de los módulos y en el circuito principal de corriente continua. El acoplamiento inductivo disminuye a la mitad cuando los módulos fotovoltaicos tienen marco metálico respecto a los módulos sin marco. Para no aumentar este acoplamiento inductivo es aconsejable situar los cables del polo positivo y negativo de la parte de corriente continua lo más cerca posible.

La mayoría de las instalaciones fotovoltaicas son flotantes en el sentido de estar aisladas de tierra. Especiales consideraciones hay que tomar en las instalaciones de conexión a red.

2.6. Defectos de aislamiento

El emplazamiento de este tipo de instalaciones es generalmente en lugares aislados fácilmente accesibles a cualquier animal. La acción de algunos animales, como roedores, puede provocar un defecto de aislamiento en la instalación pudiendo derivarse la corriente a través de las personas con el consiguiente riesgo para su seguridad.

Los defectos de aislamiento también se pueden producir por otras causas, entre las más frecuentes está el deterioro de los aislamientos por estar expuestos a condiciones climáticas extremas.

2.7. Puntos calientes

La posibilidad de que un panel fotovoltaico esté deteriorado o expuesto, sólo parcialmente, a la radiación solar, puede hacer que aparezcan incrementos de temperatura en

zonas de un panel que lleguen a provocar un incendio en las inmediaciones. Este efecto adquiere más importancia a medida que la instalación fotovoltaica aumenta de tamaño donde los incrementos de temperatura son mayores.

3. Valoración y cuantificación de los factores de riesgo

En este apartado se van a desarrollar y analizar la influencia de los factores de riesgo analizados anteriormente en una instalación fotovoltaica desde el punto de vista de la seguridad de las personas.

3.1. Efectos de la tensión-corriente sobre el cuerpo humano

Los efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano han dado lugar a numerosos estudios contrastados entre sí que sirven de base para tener una buena visión de conjunto de los distintos niveles de peligro y poder establecer así las medidas de seguridad oportunas.

Experimentalmente se ha demostrado que es la intensidad que atraviesa el cuerpo humano y, no la tensión, la que ocasiona los efectos fisiológicos sobre el organismo. Según KOEPPEN, los efectos de la intensidad de la corriente sobre el organismo, son:

Grupos de intensidad la corriente	Reacciones Fisiológicas
I. Inferior o alrededor de 25 mA:	
- De 0,01 a 1 mA - 1 a 5 mA	Hormigueo en la mano. Sensación de insensibilidad en la mano: ligera laxitud de la mano y del antebrazo.
- De 5 a 15 mA.	Sensación de crispación de la mano y del antebrazo; todavía puede liberarse un conductor retenido en la mano; aumento de la tensión arterial en función de la intensidad de la corriente.
- De 15 a 25 mA.	Sensación de crispación de la mano y del antebrazo; ya no puede liberarse por los propios medios un conductor mantenido en la mano. Sin influencia sobre el ritmo cardiaco y el fascículo músculo-nervioso.
II. Entre 25 y 80 mA.:	
- De 25 a 50 mA.	Aumento de la presión arterial, ritmo cardiaco irregular; el corazón cesa de contraerse, pero

todavía puede ser reanimado.

- De 50 a 80 mA. Además del caso anterior, desvanecimiento.

III.- Entre 80 mA. y 3 A.:

Fibrilación ventricular influenciada por la duración de acción de la corriente. Las cortas descargas eléctricas de una duración inferior a 0,3 segundos todavía no provocan una fibrilación ventricular.

IV.- Más de 3A.:

Aumento de la presión arterial, ritmo cardiaco irregular; el corazón cesa de contraerse; en general, desvanecimiento.

Cuadro nº 1.- Reacciones fisiológicas del ser humano en función de la intensidad de corriente.

Se puede observar como en presencia de intensidades de corriente del grupo III o IV se pueden provocar accidentes mortales.

Además de la intensidad de la corriente en el accidente de electrocución interviene el tiempo de exposición. La relación en ambos factores está definida por ZOEPPEN.

Koeppen designa las líneas de delimitación de los grupos de intensidad de corriente por valores "corriente de duración" (intensidad * duración de acción de la corriente) y llega a la conclusión de que la fibrilación ventricular es inminente para una duración de acción de la corriente que llegue hasta un segundo, si el "valor corriente duración" sobrepasa los 70 mA. Para una duración de más de un segundo, la línea se hace a nivel del valor efectivo de 60 mA, paralela al eje de la duración de acción de la corriente. Esta línea de delimitación separa al grupo de intensidad de corriente III del grupo de intensidad de corriente II. La línea de delimitación entre los grupos de intensidad de corriente de I y II se sitúa en 21 mA.

De los resultados de las investigaciones mencionadas se deduce claramente que los efectos de una corriente que atraviese el cuerpo humano son principalmente función de la duración de acción de la corriente y de su intensidad.

Para los grupos que entran en consideración para la aplicación del acoplamiento de protección de corriente de defecto, hay que determinar los valores que todavía aseguran, en las condiciones más desfavorables, una protección eficaz, es decir, que impiden no sólo la muerte, sino heridas graves.

También hay que tener en cuenta que en el cuerpo humano según el tiempo de exposición y la dirección de paso de la corriente se pueden presentar las siguientes lesiones:

1.- Fibrilación ventricular.

Se produce cuando la corriente pasa por el corazón y su efecto sobre el organismo se traduce en paro circulatorio, por rotura del ritmo cardiaco.

2.- Paro respiratorio.

Es producido cuando la corriente circula de la cabeza a algún miembro, atravesando el centro nervioso respiratorio.

3.- Asfixia.

Se presenta cuando la corriente atraviesa el torax. Impide la contracción de los músculos de los pulmones, y por tanto, la respiración.

4.- Tetanización muscular.

Con este concepto se expresa la anulación de la capacidad de reacción muscular que impide la separación por sí mismo del punto de contacto.

5.- Quemaduras.

Son producidas por la energía liberada al paso de la intensidad. (Efecto Joule). Un calentamiento excesivo de núcleos nerviosos vitales puede dar lugar a parálisis localizada.

De acuerdo a estos efectos se establecen las siguientes consideraciones sobre el riesgo de la intensidad de la corriente:

- Una corriente de contacto de 10 mA como máximo, cuya duración de acción no sobrepase los 0,2 segundos, puede considerarse como inofensiva.

- Una corriente de contacto de más de 10 mA puede provocar una crispación muscular tal que la duración de la acción de la corriente no pueda ya ser influenciada por la víctima. Esto eventualmente puede llegar a tener consecuencias graves, ya que bajo la acción prolongada de una corriente superior a 20 mA, el corazón puede cesar de latir. Sin embargo, incluso una corriente de 30 mA puede ser inofensiva si su duración de acción está limitada a alrededor de 0,3 segundos.

- Una corriente de 50 mA es inofensiva si no dura más de 0,2 segundos. Lo mismo ocurre con una corriente de 100 mA que no dure más de 0,1 segundos, o de una corriente de 300 mA de una duración de acción inferior a 0,03 segundos.

- La fibrilación ventricular es, de entre todos los efectos perniciosos de la corriente, el que menos tiempo necesita para producirse. Este efecto no parece producirse si el tiempo de paso de la corriente por el corazón es inferior a 0,025 seg.

- Estos valores anteriores se han indicado para la corriente alterna de 50 Hz., para la corriente continua los valores de la intensidad de corriente son un poco mayores y su efecto se describe en el apartado posterior.

- Está demostrado que los animales son más sensibles que el ser humano. Mientras que, según las prescripciones, la tensión de contacto admisible es de 50 V. para el hombre,

una tensión de 24 V. debe considerarse como umbral de peligro para los animales. (En locales secos).

- Una corriente eléctrica sólo puede provocar un incendio si la energía transformada en calor es suficientemente grande, es decir, si una corriente suficientemente elevada circula durante un cierto tiempo. Actualmente se puede admitir que una corriente inferior a 300 mA, de corta duración, no puede provocar un incendio.

3.2. Efectos del tipo de corriente sobre el organismo

Dalziel analizó la influencia de los distintos tipos de corriente sobre el organismo, sus resultados se exponen de forma resumida en el cuadro 2 siguiente:

INTENSIDAD CORRIENTE CONTINUA (mA) (60 Hz)		INTENSIDAD CORRIENTE ALTERNA (mA)		EFECTO
H	M	H	M	
1	0,6	0,4	0,3	Ligera sensación en la mano.
5,2	3,5	1,1	0,7	Umbral de percepción.
9	6	1,8	1,2	Choque indoloro.
62	41	9	6	Choque doloroso sin pérdida del control muscular.
76	51	6	10,5	Choque doloroso.
90	60	23	15	Choque doloroso y grave.
200	70	50	35	Principio de la fibrilación ventricular

Cuadro nº 2.- Efecto del tipo de corriente en hombres (H) y mujeres (M), según la intensidad de corriente, en mA.

Se observa como los valores límites de la corriente continua son mayores que los de la corriente alterna. Además hay que significar que la acción de la corriente alterna y de la corriente continua sobre el organismo es sensiblemente diferente:

- La superposición de la frecuencia al ritmo nervioso circulatorio produce una alteración sustancial que se traduce en espasmos, sacudidas y ritmo desordenado del corazón (fibrilación ventricular).

En la zona de baja frecuencia (50-60 Hz), los umbrales de gravedad son algo más

elevados. Entre 100 y 1.000 Hz. se estabilizan y desde 1.000 Hz. vuelven a subir. Las corrientes de alta frecuencia no ejercen influencia nerviosa, sólo producen efectos de calentamiento.

La razón de esta diferente acción estriba en la relación existente entre la frecuencia aplicada y la frecuencia con que se transmiten los impulsos nerviosos.

- La corriente continua actúa por calentamiento y sus efectos son a largo plazo pudiendo llegar a producir un efecto electrolítico en el organismo. Derivado de este efecto es la posibilidad de electrolisis de la sangre con el riesgo de embolia y muerte.

Este tipo de corriente da efectos según la fuente de energía, así por ejemplo, son más graves los efectos de una corriente continua por rectificación (como la producida por un rectificador c.a./c.c. aplicados para cargar baterías) que la obtenida por los paneles solares fotovoltaicos, por la muy diferente proporción de armónicos de corriente.

3.3. Existencia de acumuladores electroquímicos

Efectos de la presencia de ácido

A.- Sustancias químicas de una batería.

* Acido sulfúrico.

Es un líquido aceitoso, de incoloro a marrón oscuro e inodoro. Se congela a 10,37° C en condiciones normales, dando un sólido cristalino incoloro. No es combustible, pero sí muy reactivo. Concentrado y caliente es oxidante.

El ácido sulfúrico se mezcla con el agua en todas proporciones. No obstante, la preparación del ácido sulfúrico diluido debe efectuarse con cuidado pues al mezclar el ácido puro con agua se desprende una cantidad considerable de calor. Por esta razón debe añadirse siempre el ácido al agua en pequeñas proporciones, agitando continuamente, para que toda el agua absorba el calor desarrollado. De no hacerlo así éste será suficiente para convertir el agua en vapor y esparcir el ácido caliente en todas direcciones. Una vez hecha la disolución conviene esperar unas dos horas para que se enfríe.

* Sulfato de plomo.

Es una sal insoluble de plomo, de color blanco. La capa blanca sobre la mateia activa puede hacerse desaparecer añadiendo una pequeña cantidad de sulfato de sosa al electrolito. La conductibilidad eléctrica del sulfato es insignificante.

El sulfato de plomo esponjoso, que en forma microcristalina constituye inicialmente la masa activa de los electrodos, se transforma en cristales mayores que no pueden intervenir en las reacciones de los electrodos, durante la carga, transformándose de nuevo en plomo y dióxido de plomo.

* Peróxido de plomo.

Es un polvo negro de fractura escamosa y cristalina, oxidante energético, obtenido al añadir polvos de gas (cloruro de cal) sobre una dilución de plumbito sódico, entre otras formas.

Calentado sólo o con ácido sulfúrico desprende oxígeno, convirtiéndose sucesivamente en minio y óxido o sulfato plúmbico.

Hay que destacar que todos los compuestos de plomo son tóxicos. El contacto de estas sustancias con la piel puede ocasionar quemaduras, intoxicaciones, etc.

B.- Acumuladores alcalinos y de plomo desde el punto de la seguridad.

Con objeto de adoptar medidas generales de protección para todo tipo de baterías se van a señalar las posibles diferencias entre las alcalinas y las de plomo.

Los acumuladores alcalinos, cualesquiera que sean los principios que rigen su construcción se caracterizan por su electrolito alcalino, generalmente de potasa. Este electrolito debe considerarse más peligroso para el hombre que el ácido sulfúrico de los acumuladores de plomo, especialmente en caso de proyección a los ojos. Los acumuladores alcalinos se dividen en tres grandes categorías, según su realización:

1ª.- Los acumuladores abiertos, muy similares a los de plomo, teniendo que adoptarse las mismas medidas que éstas, teniendo presente la diferencia de que los acumuladores alcalinos abiertos tienen una corriente de cortocircuito mayor que las de plomo y que habrá que cortar.

2ª.- Los acumuladores semiestancos. Su capacidad está limitada a 320 Ah. Están dotados de una envoltura cerrada provista de una válvula de descarga de los desprendimientos gaseosos. Estos sólo se producen durante una sobrecarga y son mucho menos importantes que en los acumuladores abiertos. Están constituidos por oxígeno en más del 90%. Las precauciones relativas a la ventilación, indispensables para los acumuladores abiertos, pueden reducirse aquí a una ventilación natural poco intensa.

3ª.- Los acumuladores estancos, cuya capacidad es más pequeña, presentan sólo un riesgo que es necesario conocer: si las prescripciones del proveedor relativas a las intensidades de carga no se respetan rigurosamente, y si la corriente de carga es demasiado importante, pueden producirse explosiones por desprendimientos gaseosos y, como resultado, la ruptura de la envoltura, la proyección de los materiales que lo constituyen y del electrolito y la posibilidad de cortocircuito.

En general, los acumuladores alcalinos son por completo análogos a los acumuladores de plomo. La única particularidad, desde el punto de vista de la seguridad, reside en el riesgo señalado para los acumuladores estancos, que se pueden prevenir con las consignas del fabricante.

Efectos de la presencia de gases inflamables

En una instalación fotovoltaica la batería se encuentra normalmente en procesos de carga y descarga casi continuos, siendo en el proceso de carga en el cual la producción de hidrógeno es mayor.

Una mezcla de 2 volúmenes de hidrógeno y 1 de oxígeno ó 5 de aire atmosférico, encendida por una chispa, da lugar a una fuerte detonación con formación de agua debido a la dilatación del vapor de agua por el calor de reacción.

Una batería no explota por sí sola, sino que han de concurrir tres factores:

- Emanación de gases, especialmente el hidrógeno.
- Presencia de oxígeno y/o aire.
- Proximidad de un foco de ignición.

Se produce una explosión en los siguientes casos:

1.- La atmósfera del local en que se encuentra la batería alcanza un contenido de hidrógeno superior al límite de inflamación de la mezcla aire-hidrógeno que se fija en el 3%. Es suficiente entonces una chispa o llama para desencadenar la explosión.

Así pues, los locales en los cuales se produce la carga de baterías deben ventilarse de modo que la concentración en hidrógeno de la atmósfera no alcance nunca el límite inferior de explosividad del 3%.

2.- Aún si el local está suficientemente ventilado, la existencia en el vaso, por encima del electrolito, de una mezcla explosiva y la presencia de un cuerpo caliente o de una chispa podrá provocar la explosión del vaso, produciendo su ruptura, y las consecuencias que se pueden prever: proyección de ácido, posibilidades de cortocircuito, etc. Esta explosión, de menor importancia que la anterior, debería lógicamente evitarse.

Para ello, basta quitar los tapones de los vasos y ventilar ligeramente en cada uno de ellos para eliminar el hidrógeno. Estando la batería normalmente en reposo, el desprendimiento de hidrógeno será muy pequeño y se evacuará por difusión.

Por el desprendimiento gaseoso y por llevar las burbujas una pequeña cantidad de electrolito que se deposita sobre los vasos o en su vecindad, se debe prohibir instalar baterías en locales habitados.

3.4. Cortocircuito

Una batería, dependiendo de su capacidad, puede llegar a generar una intensidad de corriente que va desde cero hasta la corriente de cortocircuito. Estos distintos valores de corriente pueden llegar a ser peligrosos, tal y como se ha descrito anteriormente.

Para la prevención de riesgos es necesario conocer cuál es la corriente de cortocircuito de una batería. Esta viene dada por la ley de Ohm:

$$I_{cc} = V_b/R$$

donde:

- V_b es la tensión máxima de descarga. (Batería cargada al 100%).
- R es la resistencia interna, equivalente al conjunto de elementos. (Generalmente dado por el fabricante).

Este valor define el poder de corte de los elementos protectores de la instalación a partir de la batería, previniendo así la posibilidad de provocar un incendio.

3.5. Otros riesgos

Los demás riesgos importantes se derivan del transporte manual de la batería y del trasiego del electrolito.

Al manejar la batería puede caer sobre los pies, con el consiguiente golpe, y verterse el ácido que puede producir quemaduras.

Al añadir ácido, bien puro o diluido, puede haber salpicaduras que alcancen los ojos, capaces de producir ceguera.

Las chispas que se pueden producir son de dos tipos:

- Chispas internas.
- Chispas externas.

Las primeras se producen en el seno de la batería por cortocircuitos causados por un deficiente estado de la misma, ya sea por desprendimiento de materia porosa, por acumulación de algunas impurezas, por comunicación entre los apoyos o por deformación de éstas, así como por avería de algún separador. Cabe pensar que otras circunstancias se deban a defectos de fabricación, a un mantenimiento incompleto o al trato dispensado a la batería.

Las chispas externas tienen lugar por la manipulación de herramientas durante el montaje o desmontaje, la conexión de pinzas, la electricidad estática, las abrazaderas flojas, la carga insuficiente, la sobrecarga y por dejar objetos metálicos encima de la batería.

La explosión de una batería origina la proyección violenta de las partes sólidas y líquidas que contiene, produciendo generalmente heridas en cara y ojos.

3.6. Efectos de las sobretensiones

Se entiende por instalación flotante aquella instalación eléctrica cuyos conductores están todos aislados de tierra.

Normalmente, el campo solar, como generador de la energía eléctrica y, la batería,

como almacenador químico de energía, tienen los dos polos (positivo y negativo) aislados de tierra, por lo que se puede considerar este tipo de instalaciones como flotantes. Por consiguiente, tienen las ventajas e inconvenientes en cuanto a los accidentes eléctricos que se describen a continuación, y en el que se deberán tomar las medidas oportunas.

Teniendo en cuenta que para que circule la corriente eléctrica siempre debe existir un circuito cerrado, en una instalación flotante, el contacto directo e indirecto de una persona no produce ningún paso de corriente a través de ella a tierra ya que la corriente no puede retornar a la instalación por estar ésta aislada de tierra.

Según esto, sería lógico que todas las instalaciones eléctricas fuesen flotantes para que no existiesen accidentes debido a contactos directos e indirectos de una persona con un conductor activo. Esto sería cierto si no nos encontramos con los siguientes inconvenientes:

En primer lugar, se presenta el inconveniente de detectar el primer fallo de aislamiento de este tipo de instalaciones pudiendo originar calentamiento locales muy peligrosos en determinados ambientes como en las salas de baterías poco ventiladas y otras zonas de locales con madera y pastos muy presentes en instalaciones solares fotovoltaicas.

Como consecuencia de estar aisladas de tierra estas instalaciones se pueden cargar electrostáticamente hasta un potencial tal, que originen pequeñas descargas disruptivas, en forma de chispas, produciendo riesgo de incendio en las zonas señaladas anteriormente.

Estos dos efectos de fallo de aislamiento y producción de chispas también pueden ser debidos a la inducción producida por una descarga atmosférica próxima al originar altas sobretensiones respecto a tierra.

3.7. Puntos calientes

Además de la disminución de rendimiento de la conexión de los paneles solares como consecuencia de la dispersión de sus parámetros en grandes instalaciones fotovoltaicas, es importante reducir el efecto de la aparición de gradientes de temperaturas elevados que provoquen un incendio o deterioro del panel.

Para ello, se establece, sobre todo en grandes instalaciones fotovoltaicas, que las conexiones entre paneles se realicen primero en paralelo y después en serie. En este caso, la potencia perdida se puede repartir por todos los paneles conectados en paralelo, no produciéndose el calentamiento excesivo y por tanto el riesgo de incendio. Además este tipo de conexión permite instalar diodos de potencia y diodos led para anular y señalar, respectivamente, el módulo que está actuando como receptor, pudiéndose proceder a su reparación. Se recomienda realizar un sobredimensionamiento de los diodos.

4. Métodos de prevención

4.1. Introducción

En las instalaciones solares fotovoltaicas interviene siempre la corriente eléctrica y, según la configuración elegida, puede ser necesario el uso de baterías. Como se ha indicado, estos elementos pueden presentar riesgos de accidentes eléctricos y químicos para las personas.

Para prevenir estos accidentes se tendrá que realizar un diseño, montaje y mantenimiento óptimo de la instalación.

En este apartado se van a definir las medidas de prevención que se pueden utilizar para que, de forma económica, se eviten accidentes durante el montaje y uso de cualquier tipo de instalación solar fotovoltaica.

4.2. Diseño de la instalación

Con objeto de prevenir accidentes durante el uso de la instalación solar fotovoltaica, en el proyecto tendrán que ir definidas las medidas de prevención necesarias.

Estas medidas se elegirán entre las que se señalan a continuación, según el tamaño y configuración de la instalación:

Medidas de prevención de accidentes eléctricos

La corriente eléctrica provoca en el organismo humano, como se ha descrito en el capítulo II, alteraciones más o menos graves según su intensidad, duración y frecuencia y dirección de paso.

Es obvio que, para que la corriente eléctrica pase por el organismo humano debe existir un contacto entre éste y un elemento conductor provocando el paso de corriente por el organismo en función de la diferencia de potencial existente. El contacto puede ser directo o indirecto.

Se define como contacto directo, el producido por el contacto de alguna parte del cuerpo humano con elementos que están normalmente bajo tensión.

Para su prevención se pueden tomar las siguientes medidas, todas ellas aceptadas por el vigente R.E.B.T.:

- Sistemas diferenciales.
- Separación por distancia.
- Interposición de obstáculos.
- Recubrimiento.

Sistemas diferenciales

Los sistemas diferenciales basan su actuación en la diferencia residual de las corrientes que convergen en un aparato con defecto a tierra. Si existe un fallo a tierra, la corriente no se cierra por el resto del circuito y crea una diferencia entre las corrientes que llegan al consumo y las que retornan.

Los sistemas diferenciales son sensibles a esta diferencia, disparando en caso de fallo a tierra.

En el caso que se trata, la corriente total de tierra es la que pasaría por el cuerpo humano, por lo que no se aconseja instalación de interruptores diferenciales con sensibilidad mayor de 30 mA.

En general, es un método eficaz, tanto para prevenir contactos directos como indirectos.

En instalaciones fotovoltaicas se puede utilizar cuando la distribución de energía se realice en corriente alterna.

Sin embargo, este sistema no actúa en las siguientes circunstancias:

1.- Cuando la distribución se realiza en corriente continua.

No existe en este caso corriente de inducción que accione el interruptor diferencial.

Esta circunstancia es muy importante en las instalaciones fotovoltaicas ya en los módulos fotovoltaicos, baterías, reguladores de tensión y hasta entrada al inversor, la corriente que circula es continua.

2.- Contacto fase-neutro estando la persona aislada de tierra.

En estas condiciones el cuerpo humano pasa a ser un consumo más de la instalación, por lo que el interruptor diferencial no actúa.

Si la persona no está aislada de tierra, parte de la corriente se cierra por tierra, por lo que el interruptor diferencial pudiera disparar si se supera su umbral de actuación.

3.- Cuando la distribución se realiza a través de un inversor trifásico en el cual dos fases presentan corrientes de fuga inferiores a la nominal de intervención (I_i), una persona en contacto directo con la tercera fase puede ser atravesada por una corriente un poco inferior a $2 I_i$, sin que actúe el interruptor.

4.- Si un conductor está en contacto con una masa metálica, y una persona aislada de tierra, toca simultáneamente la masa metálica y una carcasa aislada con defecto a tierra, es atravesado por una peligrosa corriente, sin que intervenga el interruptor diferencial.

En estas circunstancias, la persona es un consumo más, análogamente al caso 2.

5.- En contacto de una persona con una fase, o con el neutro, estando el campo solar, batería e inversor aislado de tierra. En este caso no funciona pero no existe riesgo para las personas al no poder circular la corriente por ella.

Separación por distancia

La separación por distancia se consigue mediante el alejamiento de las partes activas de las zonas próximas de operación o paso, de forma que sea imposible el contacto accidental con cualquier parte del cuerpo, por manipulación de elementos conductores cerca de la instalación.

Esta medida está especialmente indicada para los lugares en que pueden existir conductores desnudos o falta de aislamiento, como salas de baterías y campo solar con tensiones peligrosas (en este caso el polo positivo y negativo estarían lo más alejados posibles).

Interposición de obstáculos

Se entiende por interposición de obstáculos, la colocación de elementos rígidos que generalmente contienen en su interior al conductor, no estando depositados directamente sobre él.

Con ello se tiende a evitar todo contacto accidental con partes en tensión.

Recubrimiento

Se entiende por recubrimiento la aplicación de material aislante, directamente sobre el conductor, o partes susceptibles de quedar en tensión, incluyendo herramientas y conductores. Los conductores también pueden ir bajo tubo para evitar las acciones anteriores si se estimase oportuno.

Hay que tener en cuenta que en instalaciones flotantes y, especialmente las de corriente continua, es muy importante evitar fallos de aislamiento que pueden ser debidos a un mal recubrimiento.

Este método es muy importante en instalaciones solares fotovoltaicas que tengan conductores expuestos a la radiación solar y/o a la posible acción de animales como roedores. Por consiguiente, es necesario el uso de conductores con aislamientos adecuados a las condiciones a que van a estar sometidos.

Además, este tipo de protección, basada en el aislamiento por clase II, es la más recomendada en la parte de corriente continua de las instalaciones fotovoltaicas que se mantengan flotantes.

Contactos indirectos

Se define como contacto indirecto aquel que se efectúa con las partes de los materiales

eléctricos que no están bajo tensión en servicio normal, pero que pueden estarlo en caso de defecto.

Para su prevención se pueden tomar las siguientes medidas:

- Separación de circuitos.
- Utilización de pequeñas tensiones de alimentación.
- Inaccesibilidad simultánea de partes en tensión y masa.
- Protección por puesta a tierra.
- Aislamiento de protección.
- Conexiones equipotenciales.
- Reveladores de tensión e interruptores diferenciales.

Separación de circuitos

También se llaman separación galvánica, consiste en separar el circuito de utilización del circuito de alimentación. Se debe utilizar un transformador con bobinados separados y debidamente aislados, llamado transformador de separación.

En la práctica esta medida se limita casi siempre a la protección de una sola máquina, y que en instalaciones fotovoltaicas se recomienda a los inversores para separar el circuito de corriente continua y el de corriente alterna.

Utilización de pequeñas tensiones de alimentación

Con este sistema se limita la tensión de trabajo a los valores de seguridad adoptados, que son:

- Corriente Continua: 75 V.
- Corriente Alterna: 50 V.

Este sistema constituye el mejor método de prevención, incluso contra los contactos indirectos, sin embargo, los equipos de consumo o la distribución de energía eléctrica para el caso de conexión a red se realiza a tensiones más elevadas.

Con el fin de evitar cualquier conexión galvánica que cree un acoplamiento conductivo entre la línea de muy baja tensión y otra de tensión superior, se deben tomar las siguientes precauciones:

1.- Todos los puntos de la instalación de muy baja tensión estarán aislados de tierra y de otras instalaciones.

2.- Los conductores de muy baja tensión, no deben tenderse junto a conductores de tensiones superiores, aprovechando canalizaciones comunes.

3.- Las masas de los aparatos alimentados con muy baja tensión no deben estar puestas a tierra, ni conectadas equipotencialmente entre sí.

4.- Cuando una instalación de muy baja tensión está conectada galvánicamente

a otra de baja tensión, debe ser considerada, a efectos de la prevención de accidentes eléctricos, como de baja tensión. Esto sucede cuando en una instalación fotovoltaica se utilizan inversores de corriente continua a corriente alterna que elevan la tensión y convertidores de corriente continua a corriente continua con tensiones diferentes y alguna de estas tensiones supere los valores umbrales antes señalados.

La mayoría de las instalaciones fotovoltaicas son pequeñas, y tienen una tensión de salida del campo solar igual o inferior a los 24 Voltios, por lo que el tener estos niveles de tensión constituye el mejor método de prevención ante cualquier accidente eléctrico. Cuando la tensión nominal de la instalación es mayor de 24 V. es cuando hay que comenzar a adoptar medidas de prevención.

Inaccesibilidad simultánea de partes en tensión y masa

Este sistema de protección consiste en disponer las masas y los elementos conductores de tal forma que no sea posible tocar simultáneamente e involuntariamente una masa y un elemento conductor.

Es muy útil en el uso de materiales eléctricos de seguridad, tal como tomas de corriente con interruptor, enclavamiento y fusibles.

Protección por puesta a tierra

Desde un punto de vista técnico, la puesta a tierra se entiende como toda ligazón metálica directa, sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de la instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falta o la de descarga de origen atmosférico.

Su instalación viene regulada por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

La puesta a tierra de una instalación eléctrica tiene como objeto, además de asegurar su correcto funcionamiento, disminuir o eliminar el riesgo que cualquier instalación eléctrica pueda presentar.

La puesta a tierra permite:

1.- En instalaciones flotantes, la unión de todas las masas y tierra, evitando las diferencias de potencial peligrosas de las partes metálicas respecto a tierra.

2.- Ser un circuito de descarga de las cargas electrostáticas o inducidas, evitando así sobretensiones de valores peligrosos y riesgo de explosión en locales donde pueda producirse. (Ej. Sala de Baterías).

3.- Asegurar la actuación de las protecciones utilizadas cuando existe avería en algún conductor o equipo, actuando en coordinación de interruptores automáticos.

4.- Limitar la tensión que, por avería de los equipos eléctricos, se pueda producir en

las partes metálicas directamente o utilizando varistores y/o descargadores de sobretensión.

Aislamiento

En todos los equipos existe un aislamiento funcional y uno de protección. El aislamiento funcional es el necesario que debe tener un equipo en servicio para asegurar su correcto funcionamiento. El aislamiento de protección es un aislamiento suplementario al funcional. De manera que una parte conductora accesible al contacto, no puede quedar nunca bajo tensión o bien quede aislada del exterior en caso de fallo del aislamiento funcional.

El doble aislamiento, o aislamiento clase II, comprende, a la vez, el aislamiento de protección y el aislamiento funcional.

Se pueden presentar dos formas de aislamiento de protección:

- 1.- Aislamiento de protección de los elementos de servicio.
- 2.- Aislamiento de protección del puesto de trabajo.

El uso y empleo de materiales con aislamiento viene regulado por la norma UNE (6.5.66) " Instalaciones eléctricas receptoras de baja tensión. Sistemas de Protección".

Los aparatos de doble aislamiento no necesitan de conductor de protección. Está prohibido conectarlo al conductor de protección.

Conexiones equipotenciales

La alta resistencia de los contactos de apoyo entre los aparatos eléctricos y el suelo, puede dar a una situación peligrosa; en caso de defectos de los aislamientos funcionales, las corrientes de derivación a tierra, aunque sean débiles, pueden crear diferencias de potencial entre las masas entre sí y entre éstas y el suelo, superiores al umbral de peligro. En estas condiciones una persona puede sufrir una electrocución al tocar una masa cuyo aislamiento tiene defecto o al tocar dos masas simultáneamente aunque sus pies estuvieran aislados del suelo.

Se observa que el peligro nace de una resistencia excesiva, que es la que normalmente existe entre el suelo y las masas y entre éstas entre sí. Si esta resistencia fuese baja, no aparecerían tensiones peligrosas y no se presentaría ningún riesgo para las personas o animales al tocarlas.

Con objeto de eliminar este riesgo existen varios procedimientos:

- 1.- Puesta a tierra de las masas.

Este procedimiento ya se ha descrito anteriormente.

- 2.- Conexión equipotencial parcial.

Consiste en unir galvánicamente las masas simultáneamente accesibles mediante un

conductor de protección de resistencia despreciable.

Hay que resaltar que esta conexión no se debe realizar entre masas de aparatos que estén alimentados por tipos de corriente (continua o alterna) y/o tensiones diferentes, pues podrían establecer conexiones galvánicas entre circuitos que se han previsto separados.

3.- Conexión equipotencial total.

Consiste en unir las masas y el suelo mediante una conexión galvánica.

Este método consiste en embutir bajo el suelo, horizontalmente, una placa o plataforma metálica reticular conectando todas las masas a esta plataforma, mediante conductores de protección.

Hay que resaltar que las corrientes de derivación a tierra siguen produciendo tensiones que pueden ser peligrosas entre la plataforma y el suelo, resultando conveniente conectar entre sí, mediante conductores de protección, todas las plataformas.

Reveladores de tensión e interruptores diferenciales

Estos métodos son muy conocidos siendo frecuente su uso, sobre todo los interruptores diferenciales, en prevenir los contactos indirectos.

Instalaciones eléctricas en locales con riesgo de incendio o de explosión

En las instalaciones fotovoltaicas pueden aparecer locales donde se almacena energía (sala de baterías) con posible riesgo de explosión y en el que está presente, como mínimo, los elementos eléctricos correspondiente a la propia instalación. Por tanto, los equipos eléctricos y/o electrónicos con el material auxiliar están acogidos a las "Instalaciones eléctricas en zonas con riesgo de incendio o explosión y, consecuentemente, a la actual "Normativa Europea y Española".

Normativa

El día 26 de enero de 1988 fue publicada en el B.O.E. nº 22, la Orden Ministerial por la cual quedaba modificada la Instrucción Complementaria referente a instalaciones Eléctricas en Zonas con Riesgo de Incendio o Explosión, dentro del R.E.B.T., para adecuarla y actualizarla con los avances técnicos, niveles de seguridad y armonización con la legislación de la Comunidad Europea.

Las instalaciones eléctricas en zonas con riesgo de incendio o explosión necesitan de una aprobación previa del proyecto por parte del Ministerio de Industria, lo mismo en instalación nueva, ampliación o modificación, cualquiera que sea su potencia, según MI BT 042.

Clasificación de emplazamientos

Ya no existe una clasificación común para todas las sustancias combustibles, sino que las zonas son diferentes según la clase de sustancia o naturaleza.

La única norma sobre clasificación de emplazamiento para gases publicada en España es la UNE 20.322-86. En esta Norma se insta a la propia experiencia de los técnicos responsables.

Sin duda, el apartado de clasificación de zonas supone para el responsable del proyecto el punto más complejo de confirmar en un emplazamiento, y es aquí donde se tendrá que determinar si un emplazamiento en el que se encuentren baterías en proceso de carga y descarga, dentro de la clase 1, en qué zona se clasifica.

Para definir el tipo de zona estas tienen las siguientes características:

* Zona 0: Aquella en la que la atmósfera explosiva está presente de forma continua o se prevé que lo esté durante largos periodos o incluso cortos periodos, pero frecuentemente.

* Zona 1: Aquella en la que la atmósfera explosiva puede estar presente de forma periódica u ocasionalmente durante el funcionamiento normal.

* Zona 2: Aquella en que la atmósfera explosiva no se prevé este presente en funcionamiento normal y, si lo está, será de forma poco frecuente y de corta duración.

Los datos principales a considerar del emplazamiento son:

- Emplazamiento interior/externo.
- Conceptos de anomalía transitoria o permanente.
- Vientos predominantes.
- Grado de sustancia.
- Fuentes de escape y su velocidad.
- Velocidad natural/general/local/sin ventilación.

Los datos principales propios a considerar de los gases son:

- Densidad relativa.
- Gas inerte/no inerte.
- Límites de inflamabilidad.

a) LIE= Límite inferior de concentración en porcentaje con respecto al aire.

b) LSE= Límite superior de concentración en porcentaje con respecto al aire.

- Punto de destello: Temperatura más baja a la que un líquido en ciertas condiciones pueda desprender vapores que forman atmósfera explosiva.

- Temperatura de ignición: Temperatura mínima de una superficie la cual en ciertas condiciones pueda provocar la ignición de la atmósfera explosiva.

- Energía mínima de ignición en mJ (EMI).

De acuerdo con la recomendación CEI 79-1, se clasifica el hidrógeno, gas presente en salas de baterías, en el grupo IIC, ya que éste tiene un nivel intersticio experimental máximo de seguridad (IEMS) menor de 0,5 mm. y una corriente mínima de ignición (CMI) menor de 0,45 A., encontrándose en zona 2 si se diseña con la ventilación necesaria.

Equipos eléctricos normalizados

Los equipos eléctricos que se han de colocar en áreas peligrosas deben tener algún sistema fiable de protección que evite la formación del triángulo de fuego y responda a unas normas de construcción. Estos sistemas son:

- * Inmersión en aceite o.
- * Sobrepresión interna p.
- * Aislante pulverulento g.
- * Seguridad aumentada e.
- * Envolverte antideflagrante d.
- * Seguridad intrínseca.
- * Encapsulado m.

Por consiguiente se tendrán en cuenta estas consideraciones en los aparados que se instalen en las salas de baterías.

Protección contra el rayo

Una instalación de protección contra el rayo no tiene como objetivo impedir que la descarga atmosférica alcance la instalación fotovoltaica. Sin embargo, cuando la instalación fotovoltaica a proteger es alcanzada indirectamente por el rayo, debe evitarse la aparición de una diferencia de potencial peligrosa para las personas o capaz de realizar, por la aparición de arcos, daños importantes o un incendio.

Las diferencias de potencial pueden producirse:

- 1.- En el momento de una descarga atmosférica directa.
 - Entre la instalación de protección contra el rayo y todas las partes metálicas que no están unidas a dicha instalación.
 - Entre las partes metálicas unidas a la instalación de protección contra el rayo si la conexión es excesivamente larga.
- 2.- En el momento de una descarga atmosférica en las inmediaciones.

En efecto, una descarga brusca de una nube cargada de electricidad, libera las cargas eléctricas que debido al paso de la nube se han acumulado en las masas metálicas no unidas a tierra.

Esta carga eléctrica que fluye hacia la tierra puede provocar, por una chispa,

perforaciones o inflamación de materias situadas en las proximidades.

Las diferencias de potencial serán tanto más débiles cuanto más numerosas y cortas sean las vías que deriven a tierra la corriente del rayo.

Cuando la resistencia de tierra de la instalación de protección contra el rayo sea suficientemente débil, el potencial absoluto de la instalación fotovoltaica con respecto a tierra será reducido y las diferencias de potencial tendrán menos facilidad de producirse.

Cuando por ser el suelo mal conductor no sea posible realizar una puesta a tierra suficientemente eficaz, será necesario crear en la instalación fotovoltaica un conjunto equipotencial lo más completo posible.

Selección de conductores

Los conductores a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas serán de cobre preferentemente, aislados y deben satisfacer las exigencias de la norma UNE 21030.

La sección del conductor, de cobre con aislamiento 0,6/1 kV, mínima recomendada entre la batería y el inversor en función de la distancia entre los equipos, la potencia y la tensión a la entrada del inversor, es la siguiente:

Potencia Inversor	Tensión entrada Inversor	Sección del conductor para distancias			Protección Fusible o Magnetotérmico(*)
		< 3 m.	Entre 3 y 6 m	Entre 6 y 10 m.	
500 W	12 V	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	80 A
	24 V	10 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	40 A
750 W	12 V	16 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	100 A
	24 V	10 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	50 A
1000 W	12 V	16 mm ²	25 mm ²	25 mm ²	160 A
	24 V	16 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	80 A
1500 W	12 V	25 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	250 A
	24 V	16 mm ²	25 mm ²	25 mm ²	125 A

Lo lógico es que la distancia entre el regulador y la batería sea pequeña (< 3m), por lo que la sección del conductor entre la batería y el regulador debe ser, como mínimo, igual a la sección del conductor que se instale entre la batería y el inversor. De esta forma, la protección frente a cortocircuitos puede ser la misma. No obstante, en cada caso particular, el diseñador podrá hacer los cálculos necesarios para determinar la sección.

Es importante tener presente, para evitar caídas de tensión, asegurar que las conexiones de los conductores con los equipos (baterías, módulos, regulador e inversor) sean adecuadas con terminales idóneos para cada caso. Por supuesto, para el caso de baterías existen en el mercado terminales específicos para las mismas.

Otro aspecto a tener en cuenta es el de disponer los conductores del polo positivo y del negativo, en la parte de corriente continua, lo más juntos posibles con el objeto de

disminuir la inductancia.

Puede ser frecuente que la línea que va del campo solar a las baterías o bombas, vaya por exteriores, en este caso:

Si los conductores van por el exterior en un tendido aéreo deberán cumplir la ITC-BT-06. En particular, podrán ir sobre fachada o muros, mediante abrazaderas fijadas a los mismos y resistentes a las acciones de la intemperie. Cuando no vaya sobre fachada o muro se utilizarán cables fiadores de acero galvanizado, cuya resistencia a la rotura sea como mínimo 800 daN, y a los que se fijarán mediante abrazaderas u otros dispositivos apropiados los conductores aislados. Los conductores estarán a una distancia mínima del suelo del 2,5 m, la distancia a ventanas es de 0,3 m al borde superior y 0,5 m al borde inferior y bordes laterales de la abertura, la distancia a balcones es de 0,3 m. al borde superior y 1 m. a los bordes laterales, la distancia de los conductores a elementos metálicos exteriores será de 0,05 m. Se respetarán las distancias indicadas en la ITC-BT-06, pto. 3.9 sobre condiciones generales para cruzamientos y paralelismos de estos tendidos eléctricos. La sección mínima será de 10 mm².

Si los conductores van por el exterior, enterrados, los conductores y el trazado deberán cumplir la ITC-BT-007. En particular, serán de cobre preferentemente, de 0,6/1 kV de aislamiento y deben cumplir la norma UNE-HD 603. La sección mínima será de 6 mm². Los conductores podrán ir directamente enterrados o entubados, a una profundidad mínima de 0,6 m en acera y 0,8 m en fachada. Se respetarán las distancias indicadas en la ITC-BT-07, pto. 2.2, sobre condiciones generales para cruzamientos y proximidades y paralelismos. Para conocer las intensidades máximas admisibles se tendrá en cuenta la norma UNE 20435 y la ITC-BT-07, pto. 3, con las correcciones que en ese apartado se indican.

Cuando se trate de una aplicación particular, como por ejemplo, una instalación fotovoltaica para alumbrado exterior, se deberá tener presente la ITC-BT-09, para piscinas y fuentes, la ITC-BT-31, como mínimo. El lector debe ser consciente de que este manual se refiere únicamente a lo que es la instalación de suministro eléctrico y no se refiere a la red de distribución interior de la vivienda, a las luminarias de alumbrado exterior, a las piscinas o fuentes, etc..., para lo cual deberá tener en cuenta las instrucciones indicadas.

Grados de protección de las envolventes

Los equipos eléctricos en general deben tener una protección contra el acceso a partes peligrosas del equipo de elementos sólidos o de líquido (agua) y que deberá estar indicada en el mismo. En la norma UNE 21-324-93 se detalla el sistema de clasificación, con simbología IP, de los grados de protección de las envolventes y los ensayos de laboratorio. El criterio que se aplica es el siguiente:

- La primera cifra (entre 0 y 6) indica el grado de protección contra el acceso a partes peligrosas o cuerpos extraños. Se indica con X para indicar que no se requiere ninguna protección específica.
- La segunda cifra (entre 0 y 8) indica el grado de protección contra la entrada de agua. Se indica con X para indicar que no se requiere ninguna protección específica.
- La primera letra adicional A, B, C ó D es opcional e indica la protección

- contra el acceso de mano, dedo, herramienta o alambre.
- La segunda letra H,M,S ó W es opcional e indica unas características especiales de protección del equipo.

En las tablas adjuntas se indica el significado de cada número y letra de acuerdo a lo indicado:

Primera Cifra	Grado de Protección		Significado para la protección	
	Descripción abreviada	Definición	del equipo	de personas
0	No protegido	---	No protegido	No protegido
1	Protegido contra los cuerpos superiores a 50 mm ϕ y mayores	El calibre-objeto de esfera 50 mm de ϕ no penetrará completamente	≤ 50 mm ϕ	El dorso de la mano
2	Protegido contra los cuerpos superiores a 12,5 mm ϕ y mayores	El calibre-objeto de esfera de 12.5 mm ϕ no penetrará completamente	$\leq 12,5$ mm ϕ	Dedo
3	Protegido contra los cuerpos superiores a 2.5 mm ϕ y mayores	El calibre-objeto de 2.5 mm ϕ no penetrará nada.	$\leq 2,5$ mm ϕ	Herramienta
4	Protegido contra los cuerpos superiores a 1,0 mm ϕ y mayores	El calibre-objeto de 1 mm ϕ no penetrará nada	≤ 10 mm ϕ	Alambre
5	Protegido contra el polvo	Penetra algo de polvo pero no como para perjudicar el buen funcionamiento del aparato o perjudicar la seguridad	Protegido contra el polvo	Alambre
6	Totalmente protegido contra el polvo	No hay penetración de polvo	Totalmente protegido contra el polvo	Alambre

Cuadro nº 3.- Primera cifra IP. Representa el grado de protección contra el acceso a partes peligrosas o contra cuerpos sólidos extraños.

Segunda Cifra	Grado de Protección	
	Descripción abreviada	Definición – No debe producir efectos perjudiciales
0	No protegido	
1	Protegido contra la caída vertical de gotas de agua	Las gotas de agua no deben producir efectos perjudiciales
2	Protegido contra las caídas de agua verticales con una inclinación máxima de 15° de la envolvente	La caída vertical de gotas no debe producir efectos perjudiciales, cuando la envolvente esté inclinada hasta 15° en cada lado de la vertical
3	Protegido contra el agua en forma de lluvia	El agua que cae en lluvia fina, en una dirección, que tenga, respecto a los dos lados de la vertical un ángulo inferior o igual a 60° , no debe producir efectos perjudiciales
4	Protegido contra proyecciones de agua	El agua proyectada sobre la envolvente desde cualquier dirección, no debe producir efectos perjudiciales
5	Protegido contra chorros de agua	El agua proyectada en chorros sobre desde la envolvente desde cualquier dirección, no debe producir efectos perjudiciales
6	Protegido contra fuertes chorros de agua	El agua proyectada en chorros fuertes sobre la envolvente desde cualquier dirección, no debe producir efectos perjudiciales
7	Protegido contra los efectos de la inmersión de agua	No debe ser imposible que el agua penetre en cantidad perjudicial en el interior de la envolvente sumergida temporalmente en agua, con una presión y un tiempo normalizados
8	Protegido contra la inmersión prolongada	No debe ser posible que el agua penetre en cantidad perjudicial en el interior de la envolvente sumergida continuamente en agua bajo condiciones que se acordarán entre el fabricante y el usuario, pero que son más severas que para la cifra 7

Cuadro 4.- Segunda cifra IP. Representa el grado de protección contra el agua

Letra adicional	Grado de protección Descripción abreviada	Definición
A	Protegida contra el acceso con el torso de la mano	El calibre de acceso de la esfera de 50 mm de ϕ , deberá quedar a una distancia adecuada de las partes peligrosas
B	Protegida contra el acceso con el dedo	El calibre de prueba articulado de 12,5 mm de ϕ , longitud 80 mm, quedará a una distancia adecuada de las partes peligrosas
C	Protegido contra el acceso con una herramienta	El calibre de acceso de 2.5 mm de ϕ , longitud 100 mm, quedará a una distancia adecuada de las partes peligrosas
D	Protegido contra el acceso con un alambre	El calibre de acceso de 1,0 mm de ϕ , longitud 100 mm, quedará a una distancia adecuada de las partes peligrosas

H	Aparato de alta tensión
M	Ensayo de la verificación de la protección contra los efectos perjudiciales, debido a la penetración del agua, efectuados sobre el material, estando sus partes móviles (p. e. el rotor de una máquina rotativa) en movimiento
S	Ensayos de la verificación de la protección contra los efectos perjudiciales, causados por la penetración del agua, efectuado sobre el material con sus partes móviles (p.e. el rotor de una máquina rotativa) en reposo
W	Material diseñado de forma que pueda utilizarse en las condiciones atmosféricas especificadas, y en el que se han previsto medidas o procedimientos complementarios de protección

Cuadros 5.- Letras adicionales o suplementarias (opcionales)

El diseñador deberá exigir a los equipos que estén a la intemperie una protección mínima IP 64 y si está en interior la protección mínima debe ser IP 32, si el local es seco y no existe polvo. En caso de locales polvorientos, posible existencia de chorros de agua, etc..., en función de las tablas anteriores se deberá exigir el grado de protección mínimo más adecuado.

Diseño del campo solar

Si la tensión en el campo solar es inferior a 50 V, no es necesario adoptar ninguna medida especial, únicamente poner a tierra el marco y estructura soporte de los módulos.

Si la tensión en el campo solar es superior a 50 V, se deben de tomar ciertas medidas de seguridad:

- Poner a tierra el marco y estructura de los módulos.
- Exigir aislamiento clase II a módulos y cajas de conexiones según la norma UNE 20460, Para asegurar que este doble aislamiento se mantiene estable durante la totalidad de la

vida útil del módulo y que el aislamiento cumpla la normativa vigente, se realizan unos ensayos descritos en la IEC 61215.

- Instalar cerramientos e impedir que sea accesible el campo solar por personal no especializado.
- Señalizar el acceso al campo solar con placa de riesgo eléctrico, sobre todo en puertas.
- Si la tensión es en la parte de continua es superior a 120 V, instalar dispositivos de control de defecto de aislamiento.
- Utilizar siempre cables con aislamiento de 0,6/1 kV y protección intemperie.
- Si existe elevado riesgo de rayos en la zona, utilizar varistores a la salida del campo solar si no existe aislamiento clase II y sí a la salida del inversor.
- En configuración del tipo TT a la salida del inversor, el cable que une el campo solar y el inversor (en instalaciones de conexión a red) debe ser apantallado con la pantalla puesta a tierra por los dos extremos).

Diseño de salas de baterías

Conceptos Generales

En este apartado se van a establecer una serie de características que deben reunir las salas que contengan baterías.

En general, no se requieren especiales características para salas que contengan baterías como partes de un equipo o existan pocas unidades. Sin embargo, es conveniente sensibilizar en todos los casos a los proyectistas e instaladores en el seguimiento de apropiadas especificaciones de seguridad.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden o no incorporar baterías para su funcionamiento y, por tanto, tener en cuenta o no las medidas que se presentan en este apartado.

Normalmente las instalaciones fotovoltaicas no van a requerir todas las medidas aquí expuestas debido a su pequeño tamaño pero pudiera ocurrir que ciertas instalaciones fotovoltaicas sí alcancen unos niveles de tensión e importancia que requieran considerar las medidas presentadas.

En la estructuración de las salas de baterías e instalaciones hay que considerar fundamentalmente tres tipos de peligro:

- Peligro por lo efectos de la electricidad como consecuencia de un voltaje peligroso o de una corriente elevada.
- Peligro de corrosión.
- Peligro de explosión.

Con objeto de evitar estos peligros se van a establecer unos criterios de diseño de salas de batería y unas medidas específicas para evitar los riesgos señalados.

Recomendaciones generales

Las medidas que se tomarán en cuenta en el diseño de una sala donde se ubiquen baterías son las que se exponen a continuación:

- * Se consultará con el proveedor la necesidad de vibración para las baterías.
- * No se instalarán baterías en locales habitados ni en aquellos donde pudiera existir un foco caliente o chispa.
- * La sala de baterías se procurará que esté lo más cerca posible del campo de paneles solares y equipos acondicionadores de potencia.

- * Las baterías se instalarán de forma que sea fácil realizar el mantenimiento.

- * Se aislarán adecuadamente las estructuras soporte de las baterías. No se recomienda el uso de estructuras soporte de cobre, aluminio y acero galvanizado por ser atacados por el electrolito.

- * Se procurará, en general, que sean inaccesibles simultáneamente los dos bornes (positivo y negativo). Este aspecto es importante cuando las tensiones de trabajo superan los 75 V. En estos casos la distancia entre los bornes positivo y negativo de mayor diferencia de potencial será, como mínimo, 1,5 m.

- * Se aislará mediante fundas de elementos no conductores los bornes positivos y negativos de todos los vasos que constituyen la batería.

- * Las baterías deben estar separadas unas de otras, al menos, 10 mm.
- * Las hileras de baterías serán accesibles, al menos, por un lado.
- * La iluminación de la sala se realizará mediante lámparas fluorescentes o halógenas.

- * Se tendrán en salas distintas las baterías de plomo y las de níquel-cadmio con el objeto de evitar confusiones en el mantenimiento de ellas.

- * Las superficies de las paredes serán lisas. Es recomendable el uso de materiales cerámicos o pinturas adecuadas.

- * El suelo será llano y resistente al electrolito.

- * No se requieren necesariamente ventanas. Si existieran se impedirá que las baterías reciban radiación directamente sobre ellas. Si son accesibles desde fuera se protegerá con malla fina menor o igual de 10*10 mm. para impedir la entrada de hojas o animales.

- * Las baterías irán protegidas con sistemas de protección contra sobreintensidades desconectando simultáneamente ambos polos (positivo y negativo).

- * El ancho de pasillos será una vez y media el ancho de los vasos y, como mínimo 750 mm.
- * La distancia entre la pared y la batería será, al menos, de 500 mm.

* La puerta de entrada a la sala de baterías se abrirá hacia fuera, tendrá cerradura y su ancho será, como mínimo, 1 m.

* En salas con baterías de más de 1500 Ah de capacidad será necesario asegurar que, en caso de derrame del electrolito, éste no pase a otras salas anexas. La sala podría tener un pequeño umbral en la puerta, que acabe en rampa hacia fuera con el objeto de favorecer la entrada de carretillas.

* La sala de baterías será de uso exclusivo para este fin, no pudiéndose colocar otros equipos, ni siquiera interruptores ni tomas de corriente.

* Usar extintores de clase C.

Protección contra peligros por los efectos de la electricidad

Instalaciones de baterías con voltaje nominal hasta 75 V.

Si la instalación cumple las siguientes dos condiciones:

a) Voltaje nominal de la batería menor o igual a 75 V., esto es, un máximo de 30 elementos de una batería de plomo o gel y un máximo de 50 elementos de un batería de níquel-cadmio.

b) No exista ninguna posibilidad de que alguna parte activa o elementos de circuitos bajo tensión de la instalación no puedan entrar en contacto con otras partes activas o elementos de circuitos con tensión superior a 75 V.

Entonces no hay que tomar ninguna otra medida contra los contactos directos e indirectos.

A pesar de que la instalación no alcance tensiones superiores a los 75 V., pueden darse elevadas corrientes de cortocircuito. Se debe proteger la batería de estas corrientes de cortocircuito mediante algún elemento (fusible, magnetotérmico,..). Se evitará también que ningún elemento metálico pueda estar en contacto con los dos bornes de la baterías simultáneamente.

Se pondrán fundas de plástico o goma en todas las bornas de los vasos.

Instalaciones de baterías con voltaje nominal entre 75 V y 120 V

En estas instalaciones se exige una protección contra los contactos con las partes activas.

Como protección contra contacto directo con las partes activas hay varias posibilidades:

a) Protección a través del aislamiento de partes activas, por ejemplo, a través de un revestimiento con un material plástico o con resina colada.

b) Protección con coberturas o envolturas, por ejemplo, con placas aislantes de gran superficie cubriéndolos con material aislante o con piezas aislantes superpuestas.

c) Protección a través de obstáculos o de separación, por ejemplo a través de vallas, barreras, cierres, etc. mediante las cuales puede evitarse el contacto directo a la batería.

Pueden servir como obstáculos las puertas de las salas de baterías que estén señalizados convenientemente.

Cuando la instalación no tiene posibilidad de entrar en contacto con otra de mayor tensión, y se encuentra aislada de tierra, se cumple la protección contra contacto indirecto. Únicamente sería conveniente mantener un buen aislamiento en los conductores de la sala.

Si la instalación a la que pertenecen las baterías está conectada a tierra hay que tomar medidas contra los contactos indirectos siendo la más conveniente el control del aislamiento de los conductores.

No debe existir ninguna posibilidad de que una parte activa o un conductor bajo tensión entre en contacto con otra parte activa o conductor con tensión superior.

Instalaciones de baterías con voltaje nominal entre 120 V y 500 V

Estas instalaciones precisan un lugar de funcionamiento eléctrico cerrado, que sólo pueda abrirse desde fuera con llaves o herramientas especiales por parte de una persona autorizada y a la que sólo pueda acceder personal especializado en electricidad.

Como protección contra contacto directo se exige una de las medidas siguientes:

- Aislamiento.
- Cobertura o envoltura.
- Obstáculos.
- Separación.

Al mismo tiempo se exigen otras medidas de protección contra contactos indirectos dependiendo de la forma de la instalación (corriente continua, alterna, con tomas de tierras o no, etc..).

Colocación de estanterías de baterías

En general se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones sobre estanterías para baterías:

- a) Estructuras y armarios de madera.

Las estanterías de madera son una posibilidad para instalar baterías. Como la madera

puede ser conductora con el tiempo por la acción de la humedad (por ejemplo si se coloca en sótanos húmedos), hay que instalar materiales aislantes entre la estructura y el suelo. La madera debe ser tratada convenientemente con aceites que la protejan del electrolito y pintadas con pinturas anticorrosivas.

Las baterías nuevas deben tener al ponerla en funcionamiento una resistencia aislante respecto a tierra de al menos 1 MOhm. En baterías estacionarias, la resistencia aislante no puede ser menor de 100 Ohm por voltio de voltaje nominal.

En baterías conectadas paralelamente sirve la resistencia aislante para cada batería aislada. La intensidad de la resistencia aislante está determinada de tal forma que no pueda producirse ningún incendio a través de posibles corrientes de conexión a tierra.

b) Estructuras y armarios de metal.

En aquellas instalaciones de baterías estacionarias en las que se realiza la protección de contactos indirecto desconectando o avisando, las estructuras o armarios metálicos pueden estar conectados al conductor protector.

El aislamiento del conjunto de la instalación debe tener una resistencia de aislamiento de al menos 1 MOhm.

c) Herramientas y superficies estables aislantes.

En baterías con voltaje nominal de más de 120 V. debe protegerse a las personas que, por ejemplo, realizan el mantenimiento, con medios o dispositivos protectores, aparte de la protección de la instalación contra contactos directos e indirectos.

Protección contra peligros a través de la acción del electrolito

Las baterías de plomo contienen ácido sulfúrico, las baterías de níquel-cadmio contienen cáustica de potasa diluida. Los dos electrolitos tienen una acción fuertemente cáustica y corrosiva, por ejemplo sobre la piel, en los elementos de mampostería, pinturas, metales, etc..

Cuando el electrolito alcanza los ojos o sobre la mucosa, la medida de primeros auxilios es lavar con abundante agua. Hay que buscar inmediatamente ayuda médica. Por esto, debe existir agua en las inmediaciones de la sala de baterías para disminuir rápidamente los efectos del electrolito.

Las partes metálicas, suelos y paredes deben estar protegidos en este sentido, con pinturas o materiales adecuados.

Debe tenerse a disposición material absorbente o neutralizante adecuado. La neutralización del electrolito derramado se puede realizar con diversas sustancias. Las condiciones particulares determinarán qué sustancia es la más conveniente, pero todas se manejarán con mucho cuidado. Se seguirán las instrucciones de manejo dadas por el fabricante.

Algunas de estas sustancias son:

Neutralizantes del ácido sulfúrico:

- Bicarbonato sódico, lo normal es utilizar una solución de 500 gramos de bicarbonato sódico aproximadamente, en 4 litros de agua. Esta solución se añadirá a la zona donde se derramó el electrolito hasta que se evidencie que la reacción formada ha cesado. El líquido resultante se recogerá y se secará la zona.

- Otros neutralizantes son el Carbonato Sódico, disponible en polvo y relativamente inocuo sobre la piel y ropa y la Sosa Cáustica, disponible en líquido y sólido.

Neutralizantes del hidróxido potásico:

- Se suele utilizar una solución al 10% de ácido bórico. Se recogerá el líquido resultante y se secará la zona. Este líquido recogido se entregará al fabricante de baterías para que lo deposite en un lugar adecuado.

Está prohibido el uso de aerómetros y termómetros que hayan sido usados en baterías de plomo, para su uso en baterías de níquel-cadmio. El contacto de los electrolitos ácidos y alcalinos pueden causar una reacción violenta y, además, dañar la batería.

Precauciones contra el riesgo de explosión

Ventilación

A) Baterías de plomo.

Para conocer la cantidad máxima de hidrógeno producido durante la carga de una batería de plomo se puede proceder de la siguiente forma:

1.- Se admite que, en fin de carga, toda la energía eléctrica se utiliza para la electrolisis del agua. Así se cometerá un error por exceso, ya que el paso de la corriente supone un calentamiento por efecto Joule y ciertas acciones químicas.

La reacción química que se produce, para el desprendimiento de hidrógeno, es la siguiente:



Corriente Eléctrica

2.- Conociendo la tensión máxima de la batería, V_{fc} , y la intensidad de fin de carga, I_{fc} . Se calcula la potencia proporcionada a la batería, P_{fc} , mediante la expresión:

$$P_{fc} = V_{fc} * I_{fc}$$

Como para liberar un gramo de hidrógeno hacen falta, según las leyes de electrolisis,

96.600 culombios y suponiendo que en cada vaso alcanza una diferencia de potencial máxima de 2,5 Voltios, por cada amperio que pasa por cada vaso se le ha dado 2,5 W.

Por tanto, para obtener un gramo de hidrógeno nos hace falta:

$$96.600 * 2,5 = 241.500 \text{ Julios.}$$

En una hora, la batería desprenderá los siguientes gramos de hidrógeno, Hb:

$$Hb = \frac{Pfc * 3.600}{241.500}$$

Como la molécula de hidrógeno pesa 2 gr. y ocupa un volumen de 22,4 litros, en condiciones normales de presión y temperatura, el volumen total ocupado por el hidrógeno, Vh, será:

$$Vh = \frac{Pfc * 22,4}{2}$$

Mezclándose con la atmósfera del local en que se encuentran las baterías no debe provocar la creación de una mezcla explosiva. Por tanto, se tendrá que renovar el aire a un caudal mínimo por hora, Qr (Litros/h) :

$$Qr = \frac{Vh * 100}{3} \quad (1)$$

De forma simplificada se puede obtener aceptar la expresión:

$$Qr = 6 * Vfc * Ifc.$$

El aire de renovación debe entrar desde un nivel lo más cerca del suelo, circular a través de las baterías y salir, lo más alto posible, por la parte opuesta al lugar de entrada del aire en la habitación.

El área de las superficies de entrada y salida del aire será, como mínimo, para cada una de ellas, de:

$$S(\text{cm}^2) = 28 * Qr / 1.000$$

También se podría utilizar la ecuación que se deduce en la norma DIN VDE 0510 y que tiene la siguiente expresión:

$$Q = 0,05 * N * I$$

donde

Q : volumen de corriente de aire (m³/h).

N : número de elementos de la batería.

I: Intensidad eléctrica (amperios cada 100 Ah) que produce el hidrógeno. (A).

La corriente I está determinada por un valor tipo según la forma de carga de las baterías:

- Para instalaciones de funcionamiento paralelo; donde se establece una tensión de carga de 2,23 V. o 1,4 V por elemento en baterías de plomo y níquel-cadmio respectivamente, la intensidad I=1 Amperio por cada Ah de capacidad nominal.

- Para instalaciones de funcionamiento en tampón; donde se establece una tensión de carga Voltajes de carga de 2,4 V o 1,55 V por elemento, en baterías de plomo y níquel-cadmio respectivamente, la intensidad I=2 A cada 100 Ah de capacidad nominal para baterías de plomo e I=4 Amperios por cada 100 Ah de capacidad nominal para baterías de níquel-cadmio.

- Para baterías que desprenden poca cantidad de gases, como son las de aleaciones de plomo, debe aplicarse un factor de corrección dependiendo del tipo de batería.

B) Baterías de níquel-cadmio.

Una batería de níquel-cadmio produce hidrógeno durante la carga final de la batería. La cantidad máxima de hidrógeno producida por vaso es:

$$H = (0,128) * (I). \quad (*)$$

donde H es el hidrógeno producido en cm³/s e I es la intensidad de carga, en A.

De forma simplificada se puede tomar la expresión:

$$Q_r = 0,5 * I$$

(*) Expresión tomada de "IEEE Recommended Practice for Installation and Maintenance of Níquel-Cadmium Batteries for Photovoltaic (PV) Systems".

Temperatura ambiente

Para baterías de plomo la temperatura ambiente de la sala de baterías debe oscilar entre + 5 °C y 35 °C.

Para baterías de níquel-cadmio, como no se dañan debido a temperaturas bajas, no hay requerimiento especial para evitar las bajas temperaturas.

A pesar de lo indicado aquí como referencia, los niveles máximos y mínimos de temperatura en la sala de baterías vendrán dados por el fabricante de las baterías a instalar.

Señalización

Con el objeto de advertir a toda persona de los riesgos que se pueden producir en la instalación fotovoltaica es necesario señalar adecuadamente la instalación.

Se utilizarán las siguientes señales:

1.- Señales de Prohibición.

1.1.- PROHIBIDO FUMAR.

2.- Señales de Peligro.

2.1.- RIESGO DE EXPLOSION. MATERIAS EXPLOSIVAS.

2.2.- RIESGO DE CORROSION. SUSTANCIAS CORROSIVAS.

2.3.- RIESGO ELECTRICO.

Las características de estas señales están reguladas por el Real Decreto número 1.403/86 (B.O.E. nº 162 del 8/07/86 corregida en el B.O.E. nº 243 del 10/10/87) " Señalización de Seguridad en los Centros y Locales de Trabajo".

En una instalación es necesario el uso de estas señales cuando, a juicio del técnico competente sea necesario, y siempre que existan las siguientes circunstancias:

1.- Cuando exista una sala de batería se advertirá de la prohibición de fumar y del riesgo de corrosión y de explosión.

2.- Cuando la tensión nominal de la instalación del campo solar sea mayor de 75 V. se advertirá del peligro de riesgo eléctrico en el campo solar y en la sala de baterías.

4.3. Montaje y mantenimiento

Durante el montaje de la instalación fotovoltaica se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- El contratista está obligado al cumplimiento de la Reglamentación del Trabajo correspondiente, la contratación del Seguro Obligatorio, Subsidio familiar y de vejez, Seguro de Enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes o que en lo sucesivo se dicten. En particular, deberá cumplir lo dispuesto en la Norma UNE 24042 " Contratación de Obras. Condiciones Generales".

- Los instaladores tendrán la titulación requerida para la realización de instalaciones solares fotovoltaicas. (Electricista convencional para instalaciones de conexión a red, según R.D. 1663/00).

- Seguridad en el trabajo:

El contratista está obligado a cumplir la siguiente reglamentación:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, aprobado por Decreto 842/2002.

- Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobada por Orden del 9.03.71 del Ministerio de Trabajo.

- Cuantos preceptos sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo contengan las Ordenanzas Laborales, Reglamentos de Trabajo, Convenios Colectivos y Reglamentos de Régimen Interior en vigor.

Así mismo, deberá proveer cuanto fuese preciso para el mantenimiento de las máquinas, herramientas, materiales y útiles de trabajo en las debidas condiciones de seguridad.

Mientras los operarios trabajen en circuitos o equipos en tensión, o en su proximidad, usarán ropa sin accesorios metálicos y evitarán el uso innecesario de objetos de metal. Se llevarán las herramientas o equipos en bolsas y se utilizará calzado aislante o al menos sin herrajes ni clavos en las suelas.

El personal de la contrata viene obligado a usar todas las disposiciones y medios de protección personal, herramientas y prendas de seguridad exigidas para eliminar o reducir los riesgos profesionales tales como casco, gafas, etc.. pudiendo el director de la obra suspender los trabajos, si estima que el personal de la contrata está expuesto a peligros que son corregibles.

El director de obra podrá exigir del contratista, ordenándolo por escrito, el cese en la obra de cualquier empleado u obrero que, por imprudencia temeraria, fuera capaz de producir accidentes que hicieran peligrar la integridad física del propio trabajador o de sus compañeros.

El director de obra podrá exigir del contratista en cualquier momento, antes o después de la iniciación de los trabajos, que presente los documentos acreditativos de haber formalizado los regímenes de Seguridad Social de todo tipo (afiliación, accidente, enfermedad, etc.) en la forma legalmente establecida.

- Seguridad Pública

El contratista deberá tomar todas las precauciones en las operaciones y usos de equipos para proteger a las personas, animales o cosas de los peligros procedentes del trabajo, siendo de su cuenta las responsabilidades que tales accidentes ocasionen.

El contratista mantendrá póliza de seguros que proteja suficientemente a él y a sus empleados u obreros frente a las responsabilidades de daños, civil, etc. en que uno y otro pudieran incurrir para con el contratista o para terceros, como consecuencia de la ejecución de los trabajos.

- Se prestará especial interés a las siguientes indicaciones:

1.- Se prohibirá fumar siempre que durante el montaje se prevea la instalación de baterías y siempre en la sala de baterías. (Para evitar riesgo de explosión).

2.- Las baterías se mantendrán alejadas de cualquier chispa o foco caliente. (Para evitar riesgo de explosión).

3.-Se usarán carretillas para el transporte de las baterías, estando las celdillas cerradas y preferiblemente vacías. (Para evitar riesgos de rotura de la batería y de caída de ésta sobre las personas).

4.- No instalar en un mismo local baterías alcalinas y de plomo. (Para evitar errores en los elementos de mantenimiento).

5.- No realizar trabajos de soldadura cerca de baterías si antes no se han tomado las siguientes precauciones:

5.1.- No iniciar el trabajo menos de cuatro horas después del final de la última carga.

5.2.- Asegurarse de que la concentración de hidrógeno no sobrepasa el 2 por 100 en la atmósfera del local en que estén las baterías.

5.3.- Aislar eléctricamente la batería.

5.4.- Quitar los tapones de los vasos y soplar ligeramente en el interior de éstos, asegurándose de que es mínimo el desprendimiento gaseoso.

5.5.- Proteger la batería con pantallas convenientes contra proyecciones.

- 6.- No dejar herramientas ni objetos metálicos encima de la batería.
- 7.- Para evitar chispas estáticas toque un metal puesto a tierra antes de trabajar en la batería.
- 8.- No realizar trabajo alguno que implique desprendimiento de partículas metálicas cerca de la batería (P.ej. “pelar” los terminales de los conductores de cobre cerca de la batería).
- 9.- Nunca añada ácido sulfúrico puro al electrolito.
- 10.- Nunca vierta agua sobre el ácido para diluirlo.
- 11.- Es conveniente el uso de herramientas antichispa (de bronce, berilio, etc...).
- 12.- El soporte, con fondo de material aislante, debería estar pintado o protegido para ser inatacable por el ácido. La batería estará asentada perfectamente en su alojamiento.
- 13.- Cuando se maneje ácido o se manipula una batería, se deben utilizar las prendas de protección siguientes:
 - Gafas o pantallas incoloras, clase D-747.
 - Guantes, botas y delantal de goma.
 - Manguitos de nylon.
 - Ropa antiácido, que no desarrolle cargas estáticas.
- Sería excesivo recomendar todas estas prendas para cualquier operación en las baterías, por lo tanto se utilizarán las más idóneas al tipo de trabajo, pero siempre protección visual.
- 14.- No se debe tomar alimentos, ni fumar, si las manos han tocado cualquier sustancia de plomo, sin antes efectuar un completo lavado de ellas.
- 15.- El llenado inicial de una batería nueva debe realizarse progresivamente y no de una manera brusca.
- 16.- Deberá existir agua limpia disponible para poder usar inmediatamente en caso de accidente con la batería.
- 17.- Es recomendable no llevar objetos metálicos personales (reloj, pulsera,...) al manipular ácido o batería.
- 18.- Desconectar las fuentes de carga de baterías (Campo solar) y las de descarga (consumo) antes de desconectar o conectar los bornes de la batería.
- 19.- Está prohibido el uso de aerómetros y termómetros usados en baterías de plomo para usarlos en baterías de níquel-cadmio.
- 20.- Cubrir las caras frontales de los paneles con un material opaco antes de realizar las conexiones eléctricas o abrir la caja de terminales.

21.- Durante el montaje del campo solar se mantendrán los seccionadores abiertos si éstos son necesarios instalarlos en el mismo.

Herramientas de medida

Cuando se desea comprobar el funcionamiento de una instalación fotovoltaica, para mantenimiento preventivo o correctivo, el instalador debe conocer el estado de cada componente así como de elementos auxiliares como protecciones y características de los equipos de consumo. Para ello es fundamental que éste disponga, entre otras herramientas, de un multímetro adecuado. Se dan algunas recomendaciones acerca de las características que se deben tener en cuenta a la hora de las medidas:

A la salida del inversor, la corriente está generalmente distorsionada debido por una parte a la propia forma de la onda a la salida del inversor (existen en el mercado inversores de onda cuadrada, semisenoidal y senoidal) y por otra parte, a la presencia de corrientes armónicas generadas por cargas no lineales, especialmente debidas a equipos electrónicos como TV, lámparas fluorescentes con compensación electrónica, reguladores de velocidad, etc..., resultando que la onda no es senoidal. Esto no sólo ocurre en instalaciones fotovoltaicas sino sucede hoy día en la mayoría de las instalaciones con energía eléctrica convencional que aunque la forma de la onda de la compañía eléctrica es senoidal pura existe una gran presencia de cargas no lineales.

Por ello las herramientas que se diseñan para medir ondas senoidales no valen en estas circunstancias dando valores erróneos y que pueden engañar al propio instalador. En consecuencia es fundamental disponer de herramientas que puedan medir tensiones y corrientes no senoidales. Para poder distinguir estas herramientas hay que asegurarse que el multímetro es del tipo TRMS (Verdadero Valor Eficaz) en lugar de ser del tipo RMS (Valor Eficaz). El tipo TRMS funciona tomando el cuadrado del valor instantáneo de la corriente de entrada, calculando la media con respecto al tiempo y mostrando después la raíz cuadrada de esa media. en lugar de ser del tipo RMS (Valor Eficaz). El tipo RMS (más barato) funciona tomando la medida del valor medio y multiplicando el resultado por el factor de forma.

A título indicativo, si la onda es cuadrada, un multímetro tipo RMS indica una medida que es un 10% más alta que el multímetro tipo TRMS (que es el correcto), si la onda está distorsionada (tipo diodo rectificador monofásico) un multímetro tipo RMS indica una medida que es un 40% más bajo que el valor correcto marcado por el tipo TRMS.

Además desde el punto de vista de la seguridad no todos son iguales. Todos los multímetros deben cumplir la norma europea IEC 1010, sobre las medidas de seguridad de los equipos de medida eléctrica. No debemos olvidar que cuando medimos formamos parte del circuito eléctrico y como tal, estamos sometidos a corrientes y tensiones si los equipos de medida o las precauciones que tomamos no son suficientes.

Otras características que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar un multímetro son las siguientes:

Multímetros y puntas de prueba con doble envolvente.

Multímetros con entradas profundas y puntas de prueba con conectores protegidos por

fundas de plástico.

Puntas de prueba salva dedos.

Multímetros y puntas de prueba hechas de materiales no conductivos, de alta calidad y duración.

5.- Conclusiones

Se han expuesto los posibles riesgos que pueden aparecer en una instalación fotovoltaica y cómo pueden evitarse. El diseñador deberá, en cada aplicación concreta seleccionar el más conveniente en función del tipo de instalación y tensiones existentes. Para ello el diseñador debe tener presente se una instalación fotovoltaica es una instalación eléctrica que tiene algunas peculiaridades respecto a las instalaciones convencionales.

En el caso de instalaciones aisladas con baterías hay que destacar que éstas introducen nuevos factores de riesgos que hay que considerar.

Hoy día, con el gran desarrollo de las instalaciones de conexión a red y su integración arquitectónica en los edificios, es fundamental prevenir y evitar los posibles riesgos eléctricos que tenga la instalación, además de los de resistencia y por supuesto de los riesgos durante el montaje. Hay que advertir que en este documento no se han descrito las medidas de protección que deben tomarse para trabajar en altura o en zonas especiales (tejados,...) especiales y que el propio instalador deberá valorar.

6. Bibliografía

Seguridad en instalaciones solares fotovoltaicas.

Isidoro Lillo Bravo. I.S.B.N. 84-605-0312-7. ADESA. 1993.