

Diseño de instalaciones eléctricas en los edificios sanitarios

Francesc Castella Giménez
Josep Serra Capmany

PID_00213495

Índice

Introducción.....	7
1. El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.....	9
2. Alimentación de energía.....	13
2.1. Suministro normal desde red pública	14
2.1.1. Especificaciones para instalaciones en media tensión ...	16
2.2. Suministro complementario de emergencia	21
2.3. Suministro en red estabilizada	21
3. Las fuentes propias de energía. Los grupos electrógenos.....	24
3.1. Los grupos electrógenos	24
3.1.1. Características a tener en cuenta	25
3.1.2. Especificaciones técnicas	26
3.1.3. Condiciones de funcionamiento	26
3.1.4. Cuadro de mandos	26
3.1.5. Protecciones y alarmas	27
3.2. La cogeneración	28
4. Los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI).....	33
4.1. Sistemas estáticos de alimentación ininterrumpida	33
4.1.1. Configuraciones para hospitales	36
4.2. Sistemas dinámicos de alimentación ininterrumpida	43
4.2.1. Modos de funcionamiento	45
5. Esquemas de conexionado.....	48
5.1. Diferencias entre las redes TT y las redes TN-S según el REBT	49
5.1.1. Esquema TT	49
5.1.2. Esquema TN-S	50
5.1.3. Esquemas de distribución IT	54
6. Red de distribución y protecciones.....	56
6.1. Cuadro general de baja tensión	56
6.1.1. Construcción del CGBT en instalaciones hospitalarias	57
6.2. Potencias y consumos	60
6.3. Protecciones	60
6.3.1. Protección por puesta a tierra	61
6.3.2. Protección contra sobrecorrientes	64
6.3.3. Protección contra cortocircuitos	65
6.3.4. Protección contra contactos directos	66

6.3.5. Protección contra los contactos indirectos	66
7. Diseño para locales de pública concurrencia.....	69
8. Diseño para locales de riesgo especial.....	76
8.1. Consideraciones previas. Áreas de riesgo especial	76
8.2. Definición normativa de las áreas de riesgo	77
8.3. La Instrucción ITC BT 38 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	81
9. Diseño para el mantenimiento.....	88
9.1. Mantenimiento de la disponibilidad de las fuentes de energía ..	88
9.2. Mantenimiento de la seguridad	89
10. La luz en los hospitales.....	93
10.1. Áreas especiales	95
10.1.1. Áreas de acceso, hall y atrio principal: acogimiento y orientación	95
10.1.2. Pasillos y áreas de circulación: orientación y guía	95
10.1.3. Salas de espera: relax	96
10.1.4. Salas de exploración y diagnóstico: ambientación	96
10.1.5. Quirófanos y cuidados intensivos: funcionalidad	96
11. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.....	98
11.1. Cálculo de alumbrado de interiores	99
11.2. Iluminancia	101
11.3. Eficiencia energética	101
11.4. Confort visual	105
11.5. Calidad de la luz	106
11.6. Eficiencia de las fuentes de luz	108
11.6.1. Introducción a los led	109
11.7. CTE. Documento básico HE 3	112
12. La seguridad en alumbrado en el CTE.....	118
12.1. La seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada	118
12.1.1. Alumbrado normal en zonas de circulación	119
12.1.2. Alumbrado de emergencia	119
12.1.3. Posición y características de las luminarias	120
12.1.4. Características de la instalación	120
12.1.5. Iluminación de las señales de seguridad	121
13. Tecnología de iluminación led.....	122
13.1. Introducción	122
13.2. Normativa	127
13.3. Magnitudes en iluminación	128
13.3.1. Intensidad lumínica e iluminancia media	128

13.3.2. Área tarea visual y área circundante inmediata	130
13.3.3. Grado de deslumbramiento	132
13.3.4. Factor de mantenimiento	134
13.3.5. Índice de reproducción cromática	137
13.3.6. Temperatura de color	138
13.3.7. Valor de eficiencia energética	139
13.4. Iluminación led	142
13.4.1. Composición del led	142
13.4.2. Funcionamiento del led	146
13.4.3. Tipos de leds	148
13.4.4. Características técnicas que tener en cuenta en un led	151
13.4.5. Soluciones ópticas	152
13.4.6. Disipación del calor	152
13.4.7. Fuentes de alimentación	153
13.4.8. Alimentación. Protocolos de comunicación	156
13.4.9. Rendimiento	156
13.4.10. Mantenimiento	157
13.4.11. Diseño de luminarias	158
13.5. Comparativa iluminación led frente a convencional. Ventajas y desventajas	161
13.5.1. Ventajas de la tecnología led	161
13.5.2. Desventajas tecnología led	162
13.6. Perspectiva de futuro del led	162
13.7. Casas comerciales de referencia	163
13.8. Archivo fotográfico de iluminación led en recintos hospitalarios	163
14. Energía fotovoltaica	167
14.1. Consideraciones generales	167
14.2. Energía solar fotovoltaica	167
14.3. Legislación	170
14.4. El Código Técnico de la Edificación	171
Esquemas	177
Bibliografía	178

Introducción

En este capítulo determinaremos los conceptos y criterios básicos del diseño de las instalaciones eléctricas en un centro sanitario, con arreglo a las normas y reglamentos de cumplimiento obligado.

Un hospital es un edificio que cumple una función esencial en la atención, diagnóstico y tratamiento de pacientes en diversas situaciones y condiciones de salud, pero también es, a muchos efectos, un edificio de pública concurrencia, y así se contempla en los reglamentos, códigos, prescripciones y normas asociadas.

Por eso, en cada uno de los puntos que forman parte de este curso, se incluyen menciones que, de forma explícita o implícita, hacen referencia a:

La seguridad. Tanto de las personas en general como, y especialmente, de los pacientes, en la utilización de los elementos que conforman una instalación eléctrica de un hospital. La seguridad está en función del diseño de las protecciones instaladas, de la calidad de los componentes, y de la vigilancia y correcto mantenimiento de equipos e instalaciones.

La fiabilidad y disponibilidad de la energía eléctrica. De ella depende, en gran medida, todo el funcionamiento de un hospital, y se revela especialmente esencial en casos de asistencia crítica o vital. La fiabilidad y disponibilidad de un suministro eléctrico de calidad, al margen de cumplir las mismas condiciones que hemos enumerado para la seguridad, se verá reforzada, en determinados casos, por la redundancia de los equipos.

El ahorro de energía. Dentro de las instalaciones eléctricas de alumbrado, la eficiencia energética es una cualidad que, actualmente, ha de tenerse en cuenta. Y no sólo por conciencia ecológica de sostenibilidad, sino porque, además, está regulada por el nuevo Código Técnico de la Edificación (CET).

El mantenimiento. El mantenimiento es una condición necesaria para que las cualidades que hemos enumerado sigan siendo efectivas a lo largo del tiempo. Por eso, el diseño de los sistemas de monitorización, control y gestión debe contribuir a que la instalación eléctrica se pueda vigilar y mantener con eficacia.

El bienestar de los ocupantes. Este punto corresponde, mayoritariamente, al correcto diseño de la iluminación de los espacios, para que cuenten, en todo momento, con la luz adecuada, como complemento a la utilización de la luz natural.

En base a lo que hemos explicado, el curso propone una revisión de los criterios de diseño y de las prescripciones contenidas en los dos textos fundamentales de referencia:

- **El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)**, según redacción actualizada en el Real Decreto 842 de agosto 2002, cuyos objetivos se basan en criterios de seguridad, fiabilidad y mantenimiento de las instalaciones eléctricas según prescriben las instrucciones técnicas.
- **El Código Técnico de la Edificación (CTE)**, aprobado por el Real Decreto 314 de 17 de marzo de 2006, que añade a los objetivos del REBT, los de eficiencia energética y de bienestar de los ocupantes del edificio en sus documentos básicos SU4 (Seguridad) y HE3/HE5 (Energía).

En esta revisión se destacarán los aspectos más específicamente aplicables y, en algunos casos, exclusivos, de los edificios sanitarios, justificando y recomendando criterios para contribuir a los objetivos establecidos para un buen diseño de instalaciones eléctricas en hospitales.

El curso, en cuanto a guía de diseño, se ordena en diferentes unidades temáticas que hacen referencia a los textos reglamentarios o normativos del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y del Código Técnico de la Edificación, así como a las normas asociadas, seleccionadas por lo que pueden añadir de información relevante en torno a las definiciones de conceptos, los equipos y los procedimientos homologados.

1. El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

En esta unidad analizaremos el contenido del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, sus instrucciones técnicas, y su aplicación específica en el diseño de instalaciones eléctricas en centros sanitarios.

El REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión) es el documento de referencia y de obligado cumplimiento de las instalaciones eléctricas. Por eso es necesario conocerlo e interpretarlo correctamente, siguiendo su versión más actualizada, publicada en el Real Decreto 842 de agosto de 2002.

El artículo primero de REBT nos explica, de forma muy clara, sus objetivos:

Artículo 1- Objeto

"El presente Reglamento tiene por objeto establecer las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión, con la finalidad de:

Preservar la seguridad de las personas y los bienes.
Asegurar el normal funcionamiento y prevenir perturbaciones.
Contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia de las instalaciones."

REBT

Seguridad y fiabilidad son, pues, los objetivos prioritarios del REBT.

Cabe también señalar que el REBT regula, además, el cumplimiento de las Instrucciones técnicas complementarias (ITC):

Artículo 23 – Cumplimiento de las instrucciones

1) Se considerará que las instalaciones realizadas de acuerdo a las prescripciones de este Reglamento proporcionan las condiciones de seguridad exigibles (.../...).

2) Las prescripciones establecidas en el presente Reglamento (.../...) tendrán la condición de mínimos obligatorios.

Se considerarán cubiertos tales mínimos:

- a) Por aplicación directa de las prescripciones de las correspondientes ITC, o
- b) Por aplicación de técnicas de seguridad equivalente, siendo tales las que proporcionen al menos un nivel de seguridad equiparable a la anterior. La aplicación (.../...) deberá ser justificada debidamente por el diseñador de la instalación, y aprobada debidamente por el órgano competente de la comunidad autónoma.

Efectivamente, el Reglamento establece unos mínimos requisitos que van ligados a unos objetivos muy precisos de seguridad y fiabilidad. Ahora bien, el apartado 3b del artículo 23 abre la puerta (aunque con trabas, como veremos) a las Técnicas de seguridad equivalente, que en muchos casos pueden mejorar las que están redactadas en las Instrucciones ITC-BT.

Link

Os podéis descargar el texto completo en formato pdf en http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/rebt_guia.aspx.

Un ejemplo de ello (que trataremos en detalle más adelante) sería la posibilidad de sustituir las baterías que aseguran la continuidad de alimentación eléctrica en los equipos de asistencia vital en quirófanos y salas de intervención, por equipos SAI, que tienen prestaciones de continuidad sin corte muy superiores a las prescritas por la ITC.

Aparte de las 51 Instrucciones técnicas de obligado cumplimiento, el nuevo REBT enumera las normas de aplicación UNE (235 en total, frente a las 129 que constaban en la versión anterior de 1973). Evidentemente, ni todas las ITC ni todas las normas son de aplicación a los edificios hospitalarios.

Las normas o estándares se refieren, básicamente, a los procedimientos y las características técnicas de los equipos y los materiales, y se ha procurado que sean concordantes con las normas europeas EN y las internacionales del IEC (Comité Electrotécnico Internacional). Pueden ser actualizadas (lo que ocurre con cierta frecuencia) sin necesidad de tocar el reglamento y están recomendadas como una guía de diseño para homogeneizar características dentro de un entorno global. Aunque no son de obligado cumplimiento, habitualmente se siguen.

En este módulo nos referiremos solamente a la norma que corresponda cuando sea relevante y añada información útil a la explicación.

En cuanto a las Instrucciones técnicas complementarias, de aplicación general en las instalaciones eléctricas, se irán viendo en su conjunto, pero, como es natural, se tratarán solamente en las partes específicas sobre los centros sanitarios, en su calidad de centros de pública concurrencia y en su calidad funcional de asistencia sanitaria, en determinadas áreas hospitalarias que calificamos, normativamente, como de riesgo especial.

Así pues, la primera tarea a emprender es una lectura atenta del REBT y las ITC¹, que nos ayudará entender el alcance de su contenido y a saber dónde podemos ubicar la información que nos interesa, en cada momento.

Es importante dar cumplimiento a las prescripciones técnicas, pues debemos tener presente que los hospitales están sujetos a una inspección previa por parte de Industria o de una de las entidades colaboradoras autorizadas, según se puede ver en la ICT BT 05 del REBT.

⁽¹⁾Algunas ITC se refieren concretamente a viviendas y a edificios diferentes de los hospitales, por lo que podemos aligerar la lectura. Así, el estudio del REBT quedará bastante simplificado.

4.1 Inspecciones iniciales

Serán objeto de inspección, una vez ejecutadas las instalaciones, sus ampliaciones o modificaciones de importancia y previamente a ser documentadas ante el órgano competente de la comunidad autónoma, las siguientes instalaciones:

- a) Instalaciones industriales que precisen proyecto, con una potencia instalada superior a 100 kW;
- b) Locales de Pública Concurrencia;**
- c) Locales con riesgo de incendio o explosión, de clase I, excepto garajes de menos de 25 plazas;
- d) Locales mojados con potencia instalada superior a 25 kW;
- e) Piscinas con potencia instalada superior a 10 kW;
- g) Quirófanos y salas de intervención;**
- h) Instalaciones de alumbrado exterior con potencia instalada superior 5 kW.

REBT (La negrita es nuestra).

Relación de las Instrucciones técnicas ITC-BC del REBT

(La negrita marca las ITC que debemos estudiar con más detenimiento).

ITC-BT-01 Terminología.

ITC-BT-02 Normas de referencia en el Reglamento Electrotécnico de baja tensión.

ITC-BT-03 Instaladores autorizados y empresas instaladoras autorizadas.

ITC-BT-04 Documentación y puesta en servicio de las instalaciones.

ITC-BT-05 Verificaciones e inspecciones.

ITC-BT-06 Redes aéreas para distribución en baja tensión.

ITC-BT-07 Redes subterráneas para distribución en baja tensión.

ITC-BT-08 Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución.

ITC-BT-09 Instalaciones de alumbrado exterior.

ITC-BT-10 Previsión de cargas para suministros en baja tensión.

ITC-BT-11 Redes de distribución de energía eléctrica. Acometidas.

ITC-BT-12 Instalaciones de enlace Esquemas.

ITC-BT-13 Instalaciones de enlace. Cajas generales de protección.

ITC-BT-14 Instalaciones de enlace. Línea general de alimentación.

ITC-BT-15 Instalaciones de enlace. Derivaciones individuales.

ITC-BT-16 Instalaciones de enlace. Contadores: ubicación y sistemas de instalación.

ITC-BT-17 Instalaciones de enlace. Dispositivos generales e individuales de mando.

ITC-BT-18 Instalaciones de puesta a tierra.

ITC-BT-19 Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales.

ITC-BT-20 Instalaciones interiores o receptoras. Sistemas de instalación.

ITC-BT-21 Instalaciones interiores o receptoras. Tubos y canales protectores.

ITC-BT-22 Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones.

ITC-BT-23 Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra sobretensiones.

ITC-BT-24 Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos.

ITC-BT-25 Instalaciones interiores en viviendas. Número de circuitos y características.

ITC-BT-26 Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones generales.

ITC-BT-27 Instalaciones interiores en viviendas. Locales que contiene bañera o ducha.

ITC-BT-28 Instalaciones en locales de pública concurrencia.

ITC-BT-29 Prescripciones particulares para las instalaciones de los locales con riesgo de incendio o explosión.

ITC-BT-30 Instalaciones en locales de características especiales.

ITC-BT-31 Instalaciones con fines especiales. Piscinas y fuentes.

ITC-BT-32 Instalaciones con fines especiales. Máquinas de elevación y transporte.

ITC-BT-33 Instalaciones con fines especiales. Instalaciones provisionales de obras.

ITC-BT-34 Instalaciones con fines especiales. Ferias y stands.

ITC-BT-35 Instalaciones con fines especiales. Establecimientos agrícolas y hortícolas.

ITC-BT-36 Instalaciones a muy baja tensión.

ITC-BT-37 Instalaciones a tensiones especiales.

ITC-BT-38 Instalaciones con fines especiales. Requisitos particulares instalación eléctrica en quirófanos y salas de intervención.

ITC-BT-39 Instalaciones con fines especiales. Cercas eléctricas para ganado.

ITC-BT-40 Instalaciones generadoras de baja tensión.

ITC-BT-41 Instalaciones eléctricas en caravanas y parques de caravanas.

ITC-BT-42 Instalaciones eléctricas en puertos y marinas para barcos de recreo.

ITC-BT-43 Instalación de receptores. Prescripciones generales.

ITC-BT-44 Instalación de receptores. Receptores para alumbrado.

ITC-BT-45 Instalación de receptores. Aparatos de caldeo.

ITC-BT-46 Instalación de receptores. Cables y folios radiantes en viviendas.

ITC-BT-47 Instalación de receptores. Motores.

ITC-BT-48 Instalación de receptores. Transformadores y autotransformadores.

Reactancias y rectificadores. Condensadores.

ITC-BT-49 Instalaciones eléctricas en muebles.

ITC-BT-50 Instalaciones eléctricas en locales que contienen radiadores para saunas.

ITC-BT-51 Instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y de la seguridad para edificios.

2. Alimentación de energía

En esta unidad interpretaremos el artículo 10 del Reglamento, y se ampliarán los criterios de fiabilidad genéricos. Con ello, pretendemos lograr que se optimice, con todas las garantías, la alimentación eléctrica del cuadro general de baja tensión, superando ampliamente los mínimos exigibles por el REBT.

Veamos un extracto del artículo 10:

Tipos de suministro

1) A efectos del presente Reglamento, los suministros se clasifican en normales y complementarios.

A) Suministros normales son los efectuados a cada abonado por una sola empresa distribuidora por la totalidad de la potencia contratada por el mismo y con un solo punto de entrega de la energía.

B) Suministros complementarios o de seguridad son los que, a efectos de seguridad y continuidad de suministro, complementan a un suministro normal. Estos suministros podrán realizarse por dos empresas diferentes o por la misma empresa, cuando se disponga, en el lugar de utilización de la energía, de medios de transporte y distribución independientes, o por el usuario mediante medios de producción propios.

Se considera suministro complementario aquel que, aun partiendo del mismo transformador, dispone de línea de distribución independiente del suministro normal desde su mismo origen en baja tensión. Se clasifican en suministro de socorro, suministro de reserva y suministro duplicado:

a) Suministro de socorro es el que está limitado a una potencia receptora mínima equivalente al 15 por 100 del total contratado para el suministro normal.

b) Suministro de reserva es el dedicado a mantener un servicio restringido de los elementos de funcionamiento indispensables de la instalación receptora, con una potencia mínima del 25 por 100 de la potencia total contratada para el suministro normal.

c) Suministro duplicado es el que es capaz de mantener un servicio mayor del 50 por 100 de la potencia total contratada para el suministro normal.

2) Las instalaciones previstas para recibir suministros complementarios deberán estar dotadas de los dispositivos necesarios para impedir un acoplamiento entre ambos suministros, salvo lo prescrito en las Instrucciones técnicas complementarias. La instalación de esos dispositivos deberá realizarse de acuerdo con la o las empresas suministradoras. De no establecerse ese acuerdo, el órgano competente de la comunidad autónoma resolverá lo que proceda en un plazo máximo de 15 días hábiles, contados a partir de la fecha en que le sea formulada la consulta.

3) Además de los señalados en las correspondientes Instrucciones técnicas complementarias, los órganos competentes de las comunidades autónomas podrán fijar, en cada caso, los establecimientos industriales o dedicados a cualquier otra actividad que, por sus características y circunstancias singulares, hayan de disponer de suministro de socorro, de reserva o suministro duplicado.

4) Si la empresa suministradora que ha de facilitar el suministro complementario se negara a realizarlo o no hubiera acuerdo con el usuario sobre las condiciones técnico-económicas propuestas, el órgano competente de la comunidad autónoma deberá resolver lo que proceda, en el plazo de quince días hábiles, a partir de la fecha de presentación de la controversia.

REBT (artículo 10).

Un hospital dispone, normalmente, de tres sistemas de alimentación de energía eléctrica. Estos, a su vez, convergen en el cuadro general de baja tensión, desde donde se distribuyen los diversos suministros a los cuadros secundarios de zona.

Los tres sistemas son:

- Suministro normal desde la red pública.
- Suministro complementario a través de fuentes propias de energía.
- Suministro en red estabilizada por SAI.

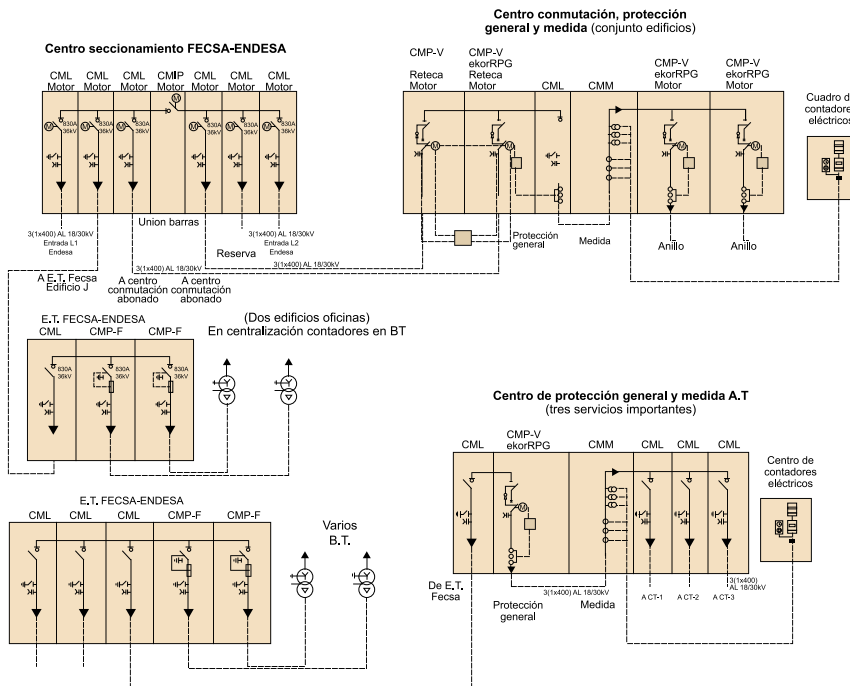
2.1. Suministro normal desde red pública

Lo primero a tener en cuenta es que, a partir de los 100 kW, la compañía suministradora puede exigir un local aislado para instalar una estación transformadora.

La energía consumida medida en baja tensión (230 v entre fase y neutro y 400 V entre fases) se rige por las tarifas de libre mercado. Sin embargo, para los hospitales de ciertas dimensiones, normalmente, la medida en media tensión con estación transformadora propia es más rentable, aunque es recomendable hacer un estudio comparativo de potencias y consumos de las dos tarifas, en cada caso particular.

Por norma general, se proyecta una doble acometida con conmutación automática en MT con una estación transformadora propia (si es rentable) o más de una, según la dimensión del edificio o edificios. Las condiciones de acometida son siempre un capítulo a negociar con la compañía suministradora (en el artículo 10 del REBT ya se prevé esta posibilidad).

Esquema unifilar de acometida en MT según Fecsa-Endesa



Como ya se ha explicado, estos centros deben contar con dos suministros, de forma que es posible, según el Reglamento, que el suministro complementario lo aporte otra compañía, o la misma, desde una línea independiente, mediante conmutación en media tensión.

Según el Reglamento, en la mayoría de los centros hospitalarios, el suministro normal podría ser aportado por una compañía suministradora en media tensión, y el suministro complementario se obtendría gracias a grupos electrógenos, por lo que la doble acometida para dar cumplimiento al suministro de reserva no sería totalmente necesaria. Sin embargo, el criterio más generalizado es el de prever una doble acometida con el 100% de la potencia normal en conmutación automática en MT.

La posibilidad de una doble acometida se ha revelado como una solución a los problemas que sufren las compañías suministradoras. Así, al aplicar esta redundancia se aumenta la disponibilidad de suministro de electricidad en media tensión.

Redundancia

El diseño redundante es un lugar común en las instalaciones eléctricas de alimentación de energía.

La conmutación de líneas de media tensión suele realizarse mediante celdas de media tensión instaladas en centros de seccionamiento o en centros de reparto, que son locales que han de ser cedidos a la compañía eléctrica.

En general, se utilizan celdas de línea para dos bucles, con dos entradas y dos salidas, y una celda de conmutación colocada antes de las de medida de energía. Se realizan con celdas prefabricadas y aislamiento íntegro, en la mayor parte de los casos para una tensión nominal de MT de 25 kV.

2.1.1. Especificaciones para instalaciones en media tensión

Celdas prefabricadas

Para la realización de las instalaciones de media tensión, se utilizan conjuntos prefabricados de apartamento bajo envolvente metálica, construidos según Norma UNE-EN 60298.

Las características eléctricas generales para las celdas y los embarrados serán las siguientes:

- Tensión nominal: 30/36 kV.
- Tensión más elevada para el material: 36 kV.
- Tensión de ensayo a 50 Hz 1 min:
 - Entre fases y entre fases y tierra: 70 kV.
 - A distancia de seccionamiento: 80 kV.
- Tensión de ensayo a onda de choque 1,2/50 ms.
 - Entre fases y entre fases y tierra: 170 kV.
 - A distancia de seccionamiento: 195 kV.

Las **celdas**, tanto de entrada como de salida (centro de conmutación y centros de distribución), estarán compuestas por los elementos siguientes:

- Interruptor trifásico en carga en SF6, 30/36 kV, mando motorizado.
- Seccionador trifásico de puesta a tierra de accionamiento brusco.
- Aisladores testigo de presencia de tensión.
- Contactos auxiliares.
- Enclaves de puerta, de maniobra y de puesta a tierra.
- Cerradura de enclave.
- Enclave del mando por candado.
- Juego de barras Trípoli
- Puesta a tierra.

Las **celdas de protección** general, conmutación y salida, habrán de integrar:

- Seccionador trifásico de apertura en vacío, 30/36 kV, mando manual.
- Interruptor automático en vacío, 30/36 kV.
- Seccionador trifásico de puesta a tierra de accionamiento brusco.
- Aisladores testigo de presencia de tensión.

- Transformadores de intensidad 30/36 kV.
- Contactos auxiliares.
- Enclaves de puerta, de maniobra y de puesta a tierra.
- Cerradura de enclave.
- Enclave del mando por cerradura.
- Juego de barras Trípoli.
- Puesta a tierra.

La **celda de medida** deberá incorporar:

- Transformadores de intensidad 30/36 kV.
- Transformadores de tensión 30/36 kV.
- Espacio para los transformadores de comprobación.
- Enclaves de puerta y de maniobra.
- Juego de barras Trípoli
- Resistencias contra ferorresonancia.
- Puesta a tierra.

La **celda de salida** de centro de distribución/entrada centro de transformación llevará:

- Interruptor trifásico en carga autoneumático, 30/36 kV, mando motorizado.
- Seccionador trifásico de puesta a tierra de accionamiento brusco.
- Aisladores testigo de presencia de tensión.
- Contactos auxiliares.
- Enclaves de puerta, de maniobra y de puesta a tierra.
- Cerradura de enclave.
- Enclave del mando por cerradura.
- Juego de barras Trípoli.
- Sistema de puesta a tierra.

Finalmente, las **celdas de protección de transformador** deberán incorporar:

- Seccionador trifásico de apertura en vacío, 30/36 kV, mando manual.
- Interruptor automático en vacío, 30/36 kV.
- Seccionador trifásico de puesta a tierra de accionamiento brusco.
- Aisladores testigo de presencia de tensión.
- Transformadores de intensidad 30/36 kV.
- Contactos auxiliares.
- Enclaves de puerta, de maniobra y de puesta a tierra.
- Cerradura de enclave.
- Enclave del mando por cerradura.
- Juego de barras Trípoli
- Sistema de puesta a tierra.

Cuadro de transferencia automática de líneas

En el interior del local de la compañía, se situará un cuadro de transferencia automática normalizado según especificaciones de la compañía suministradora. Éste tendrá que alojar:

- Controlador de celdas de potencia para realizar la función de transferencia de líneas.
- Selector "manual-automático".
- Selector "línea preferente-línea de reserva".
- Protecciones de circuitos de control y mando.
- Equipos de baterías y cargador de 48 V DC.
- 2 relés de detección de tensión situados a las líneas de entrada (celdas de protección y conmutación automática).

Contador de energía

El equipo de contadores en media tensión se ajustará a las características señaladas en el informe técnico de la compañía suministradora. Estará compuesto por contadores electrónicos capaces de medir, de forma directa o por integración de magnitudes, la energía eléctrica consumida, un discriminador horario para doble/triple tarifa, y elementos de verificación.

El consumo deberá visualizarse en el punto de medición, y también podrá ser visualizado y contabilizarse en una o varias unidades remotas con capacidad de almacenamiento de datos.

Los contadores estarán ubicados en armarios modulares que cumplirán las condiciones de doble aislamiento, serán precintables y llevarán tapas transparentes.

Líneas de media tensión

Las líneas de enlace entre el centro de medición y protección general, y el centro o centros de transformación, así como las uniones entre celdas de salida o protección y celdas de transformadores, estarán constituidas por conductores unipolares de aluminio de campo radial, aislamiento seco termostable.

Las características eléctricas generales de estos cables serán las siguientes:

- Tensión nominal: 18/30 kV.
- Tensión de prueba a 50 Hz 5 min: 45 kV.
- Tensión de cresta a impulsos: 170 kV.

Centro de transformación. Distribución de cargas

El centro o centros de transformación serán locales pertenecientes al abonado, contarán en su interior con celdas de protección y medida en media tensión, y con los transformadores de tensión.

Esta instalación es el corazón de la infraestructura eléctrica, por lo que la fiabilidad, las posibilidades de ampliación y su capacidad nunca deben proyectarse a mínimos. Al contrario, la reserva de espacios y el diseño holgado permiten prever lo que a medio o largo plazo serían costosas ampliaciones futuras, por lo que justifican un esfuerzo inicial.

A priori, la concentración de la potencia en pocos transformadores parece ser una opción acertada desde el punto de vista del coste y del mantenimiento, pero desde el punto de vista de la fiabilidad y disponibilidad del suministro, el diseño más acertado sería el que incluye la división de potencia en varios transformadores.

Una posible configuración redundante sería $N+N+1R$, con transformadores dimensionados para el 100% de la carga nominal (N), aunque funcione habitualmente al 50%, incluyendo la incorporación de un transformador de reserva (o al menos, un espacio previsto para él).

En función del tamaño del sistema hospitalario, puede ser interesante, también, realizar una implantación de centros de transformación por edificios o usos, mediante una distribución de energía en media tensión desde el centro de medida y reparto del abonado.

En ese sentido, una posible configuración, utilizada actualmente en algunos centros hospitalarios, es la de $2x(2N+1R)$. En esta configuración existen dos centros de transformación trabajando de forma independiente: uno para dar suministro a la climatización y otro, para el resto de cargas. Hay que tener en cuenta que cada uno de ellos debería contar con espacio para un transformador de reserva.

Efectivamente, hay que calcular y prever el máximo número de transformadores que podrán trabajar en paralelo, para evitar superar una intensidad de cortocircuito simétrica superior a los 50 kA. Todas las tensiones de cortocircuito serán aproximadamente del 6% para cumplir la exigencia de la conexión en paralelo y no superar la potencia de cortocircuito establecida.

Los transformadores trifásicos de potencia han de ser del tipo seco, encapsulados en resinas, y contruidos según normas UNE 20178 equivalentes a IEC 726.

Además, han de incorporar, en sus devanados, 6 sondas de temperatura (2 por fase) asociadas a un sistema de control digital que provocará la desconexión automática del interruptor de protección del transformador cuando la temperatura, en cualquiera de las fases, exceda el valor ajustado.

Enclavamientos

El cierre frontal de las celdas de los transformadores de potencia habrá de incorporar los enclavamientos siguientes:

- Un contacto de cierre que, en la apertura del cierre, provoque la desconexión de los correspondientes interruptores de protección en alta y baja tensión.
- Un sistema de anclaje mediante cerraduras, de forma que el acceso al interior de la celda obligue previamente a la desconexión de los interruptores de protección en media y baja tensión. El interruptor de protección de cada transformador en el lado de media tensión ha de disponer de contactos auxiliares, que permitirán la actuación sobre el interruptor de baja tensión correspondiente a este mismo transformador, de forma que no puedan llegar a producirse retornos. Por otra parte, el interruptor de baja tensión no podrá conectarse si antes no se conecta el interruptor de media tensión.

Sistemas de protección

Todas las instalaciones deberán estar debidamente protegidas contra los efectos peligrosos, térmicos y dinámicos, que puedan originar las corrientes de cortocircuito y las de sobrecarga cuando éstas puedan producir averías y daños en dichas instalaciones. Para los interruptores de protección general se utilizarán unidades de control constituidas por un relé electrónico microprocesado y un disparador. Sus funciones serán:

- Protección contra sobrecargas, cortocircuitos y defecto homopolar.
- Curvas a tiempo constante e inverso.
- Señalización de disparo mediante indicador mecánico.
- Unidad de disparo externo.

Para los interruptores de protección de transformador se utilizarán unidades de control constituidas por un relé electrónico y un disparador. Sus funciones serán:

- Protección contra sobrecargas y cortocircuitos.
- Curva a tiempo inverso.
- Unidad de disparo externo.

La protección contra sobrecalentamiento en los transformadores se efectuará mediante la colocación de una sonda termostática con contacto de máxima temperatura que provocará la desconexión automática del interruptor de protección del transformador cuando la temperatura exceda del valor ajustado. Además, se llevará un control y una monitorización a distancia de esta temperatura, con valores de alerta preventiva y predictiva.

2.2. Suministro complementario de emergencia

El suministro complementario se realiza, habitualmente, a través de grupos electrógenos. Los grupos electrógenos que se usan para proyectos hospitalarios como potencia de emergencia superan normalmente los valores como suministro complementario por fuentes propias de energía que exige el Reglamento de Baja Tensión.

En general, la doble acometida da un nivel de fiabilidad razonable, ya que las líneas vienen de dos subestaciones diferentes. Sin embargo, incluso así, un hospital no puede librarse de posibles ceros que afecten el suministro eléctrico de compañía, por lo que las tendencias actuales de diseño apuntan a proyectar una potencia de emergencia con capacidad para aportar un 100% de la demanda eléctrica, mediante fuentes propias.

Ved también

El tema de fuentes propias de energía se desarrollará en extenso en la unidad 3.

2.3. Suministro en red estabilizada

Cuando falla la alimentación de la compañía (las dos acometidas), los grupos generadores de emergencia se ponen en marcha automáticamente. Sin embargo, puede producirse una demora de hasta 15 segundos para restablecer la tensión a los servicios alimentados desde las barras de emergencia del CGBT. En un hospital hay algunos servicios, instalaciones y equipos que no pueden esperar, y que calificamos de críticos o esenciales. En el esquema que sigue hemos previsto un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) para alimentar los consumos preferentes o críticos que más condicionan el funcionamiento del centro, con independencia de la previsión de otros SAI para alimentar equipos de asistencia vital, siguiendo las Instrucciones (y mejorándolas) de la ICT BT 38 del vigente Reglamento de Baja Tensión, que se verán más adelante.

Ved también

Podéis ampliar el tema de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) en la unidad 4.

En un hospital, hay un buen número de servicios que requieren una alimentación continuada y que, en caso de fallo de la alimentación normal, se alimentarán de la red estabilizada de continuidad. Éstos son:

- Los sistemas de comunicaciones y datos, esenciales en situaciones de emergencia.
- Los sistemas de seguridad, que necesitan la continuidad de suministro.
- Algunos equipos de laboratorio, que pueden perder datos importantes.
- Algunos equipos médicos donde se recomienda y especifica la continuidad.

Además, se aplicará un sistema aparte de SAI, independiente y redundante, a otros departamentos y equipos vitales para el hospital o para el paciente, como pueden ser:

- CPD. Centro de procesado de datos.
- Quirófanos y salas de intervención en general (ITC BT 38).
- Áreas de riesgo especial, como UCI y similar.

Ejemplo de alimentación y distribución con doble acometida

Este es un ejemplo esquemático de alimentación y distribución eléctrica con doble acometida de compañía en MT (25 kV) por línea normal y complementaria, las dos de la misma potencia y conmutación automática en media tensión, al cual se han aplicado otras alimentaciones complementarias de emergencia con fuentes propias de energía y de red estabilizada por SAI

- CC. Cuadro de control.
- CP. Cuadro de protección.
- CM. Cuadro de medida.

Se entra por el panel de control, medida en media tensión y protección, a la sala de la compañía, desde donde se alimentan los transformadores de las ET del hospital.

La distribución en baja tensión corresponde al CGBT, que recibe los suministros de energía de la acometida de la compañía, de los grupos electrógenos de emergencia y de continuidad estabilizada del SAI general.

Es interesante que la división contemple la posibilidad de independizar los servicios principales de otros usos, como la climatización. Con esto se consigue la independencia de los sistemas sin que estos se interfieran entre sí (a nivel de cargas, armónicos, etc.) y una mejor y más flexible infraestructura de baja tensión.

El cuadro de distribución principal, o cuadro general de baja tensión CGBT, es el punto de la instalación donde se realizan las conmutaciones entre las líneas de suministro normal procedentes de los centros de transformación y del suministro complementario de los grupos electrógenos.

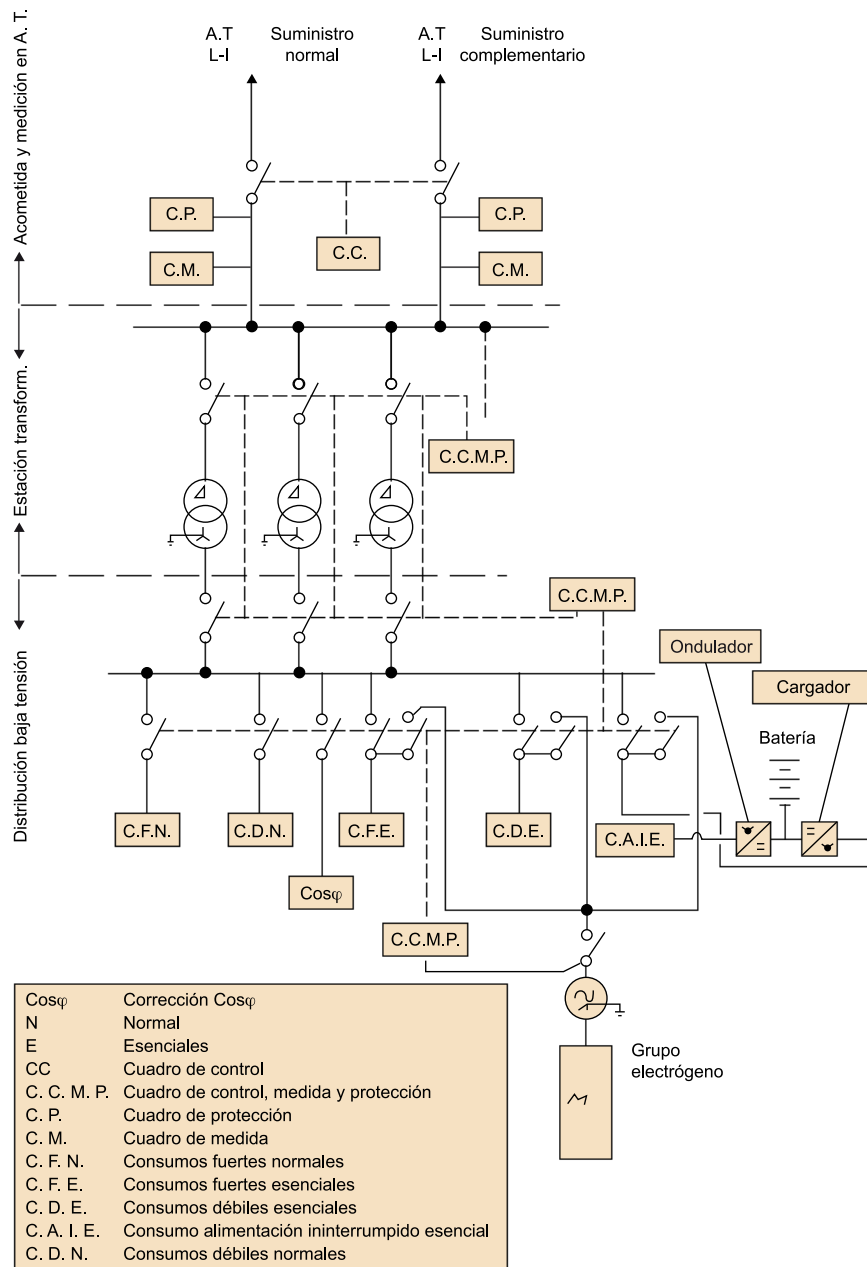
Ved también

Podéis ampliar el tema de la red de distribución y protecciones en la unidad 6.

Ved también

Ver el anexo Esquemas.

Esquema de distribución eléctrica en AT y suministro normal y complementario (duplicado)



3. Las fuentes propias de energía. Los grupos electrógenos

Las fuentes propias de energía tienen una fiabilidad que podemos controlar. Normalmente, la generación de energía eléctrica puede obtenerse de grupos electrógenos de emergencia o también puede diseñarse como una cogeneración permanente de alta eficiencia, en paralelo con la red pública.

3.1. Los grupos electrógenos

Los grupos electrógenos (generadores de emergencia) son los equipos encargados de realizar el suministro eléctrico a los servicios esenciales en menos de 15 segundos desde cuando se produce un fallo en la alimentación eléctrica, ya sea por parte de la red pública de la compañía, ya sea cuando la tensión de alimentación desciende por debajo de 70% de su valor nominal.

Los grupos electrógenos de emergencia están formados por un motor de combustión interna (normalmente alimentado con gasoil) y un alternador que suministra la tensión a las barras de distribución del cuadro general de baja tensión, adaptadas a la potencia de generación diseñada.

Aun considerando que el hospital dispone de una doble acometida de compañía, mediante líneas independientes de dos subestaciones diferenciadas, no podemos garantizar una cobertura al 100% y en cualquier circunstancia. Por eso, las tendencias actuales de diseño de instalaciones eléctricas en hospitales superan ampliamente lo que exige el REBT como suministro complementario por fuentes propias de energía, y se recomienda una instalación autónoma de generación por grupos electrógenos que aporte el 100% de la demanda.

En este sentido, es necesario asegurar el suministro de combustible con un depósito enterrado que dé para tres o cuatro días de consumo, superando también la exigencia del Reglamento.

La insonorización de los grupos es una opción que tendría un cierto valor si se la considerara en situaciones de funcionamiento continuado, pero que, en general, para usos esporádicos o intermitentes, de mantenimiento o de emergencia y de corta duración, se limita a un revestimiento interior contra la reverberación, a la aplicación de aislamiento acústico en las entradas y salidas de ventilación y a la salida de gases de escape por chimenea.

Lectura de referencia

Para más información sobre este punto, podéis consultar la ICT-BT-28.

Para dar la fiabilidad superior que se obtiene con la redundancia de los equipos, los generadores han de ser, como mínimo, dos, cada uno con capacidad para asumir toda la carga que se les ha asignado, y habrán de entrar en funcionamiento, de forma automática y sincrónica, en caso de que se produzca un cero de tensión o cuando ésta baja por debajo del 70% de la tensión nominal. Finalmente, se aconseja añadir un acoplamiento a red, cuando vuelve la corriente, que permita restituir el servicio normal sin tener que pasar nuevamente por un cero de tensión.

3.1.1. Características a tener en cuenta

- El grupo arrancará de forma automática, al detectar que los parámetros del suministro eléctrico exterior están fuera de tolerancias.
- Al restablecerse las condiciones del suministro, el sistema de control del grupo temporizará (2 o 3 min) la transferencia para confirmar que el servicio es permanente.
- La determinación de la capacidad del grupo se calcula para la potencia nominal de la carga conectada, sin tener que aplicar los coeficientes de simultaneidad habituales.
- Hay que tener cuidado con el arranque o servicio, ya que tiene consumos muy importantes con relación a la capacidad del grupo electrógeno, y podrían bloquearlo. Es necesario, entonces, dimensionar adecuadamente un deslastre de cargas y gestionar las mismas a través de un autómata programable.
- El regulador de velocidad del motor debe proporcionar un control de velocidad estable cuando la carga permanezca constante, y tener una rápida recuperación cuando se la suprime o se sobrecarga con un consumo importante.
- Es necesario tener en cuenta la ventilación, pues entre el 6 y el 10% del combustible consumido por el motor diésel es irradiado al ambiente.
- La refrigeración del motor es un punto esencial. Se estima que 1/3 del combustible necesario para el funcionamiento se elimina totalmente en forma de calor y es absorbido por el agua de las camisas. Los sistemas de posible aplicación son:
 - Por radiadores.
 - Por intercambiadores.
 - Por torres de refrigeración.
- En caso de bloqueo del automatismo de un grupo, es indispensable prever un sistema con soluciones alternativas:

- Disponer de un equipo redundante de reserva y/o la posibilidad de conectarse a un grupo exterior.
- Disponer de un sistema de supervisión y maniobra.
- Prever un sistema de actuación manual seguro (en caso de bloqueo de algún automatismo o sistema de maniobra). Asimismo, debe evitarse que el sistema red-grupo, pueda entrar a funcionar en paralelo, y a este fin deberá emplearse el correspondiente enclavamiento.

3.1.2. Especificaciones técnicas

Los grupos electrógenos deberán estar dotados de:

- Cuadro de conmutación separado (mediante interruptores rotativos).
- Depósito nodriza para combustibles líquidos de 1.000 litros de capacidad, construido según Norma UNE, probado a la presión de 1 Kg/cm². Éste ha de incluir sonda de nivel y boca de carga tipo CAMPSA sobre un depósito de acero y una interconexión con el grupo electrógeno.
- Sistema de trasvase automático entre depósito reserva y depósito alimentador, que incluya bombas eléctricas autoaspirantes instaladas en paralelo y de funcionamiento redundante en emergencias.
- Silenciadores de gases de escape de 29 dB.
- Silenciadores de 40 dB, para entrada y salida de aire.
- Tolva de acoplamiento para la salida de aire del grupo electrógeno.

3.1.3. Condiciones de funcionamiento

Cualquier anomalía en el suministro de red (por falta o caída de tensión, fallo de una fase en las líneas o desequilibrio de tensión entre fases) es detectada por un dispositivo o sensor electrónico que transmite la señal para la puesta en marcha automática del grupo o grupos electrógenos diésel. La entrada en funcionamiento de los generadores de urgencia deberá poderse regular con un retraso de 3 a 15 segundos. Además, el grupo electrógeno debe quedar dispuesto para parar automáticamente el generador diésel al reanudar el suministro de red.

3.1.4. Cuadro de mandos

La secuencia de las operaciones de arranque y parada del grupo, así como las correspondientes protecciones y alarmas, estarán controladas por un autómata programable con microprocesador que incorporará, grabados en su memoria, los programas que controlarán las señales de entrada y salida que operan sobre el grupo electrógeno. Deberá ir equipado con los siguientes elementos:

- Compensadores preseleccionados y manual de voltaje.
- Amperímetro y conmutador selector de fase.
- Voltímetro y conmutador selector de fase.

- Pulsadores de arranque y parada.
- Cargador de baterías, amperímetro, unidad reguladora de la carga y alarma de regulador.
- Disparo y alarmas por baja presión del aceite de lubricación y alta temperatura en el motor.
- Tacómetro en rpm.
- Medidor horario.
- Relé de voltaje insuficiente que trabaje al 85% del voltaje nominal.
- Medidor de la temperatura del refrigerante.
- Alarma de sobrevelocidad en el motor.
- Automatismos para la detección y señalización de fallo de arranque del motor diésel, después de efectuar los tres intentos programados.

3.1.5. Protecciones y alarmas

El equipo de arranque y parada automática incluirá las protecciones siguientes:

- Protección por baja presión de aceite en el circuito de engorde del motor diésel, con parada inmediata del grupo.
- Protección por elevada temperatura del agua en el circuito de refrigeración del motor, que desconecta y temporiza la parada del grupo en 3 minutos.
- Protección para sobrevelocidad del motor, que provoca la parada del grupo.
- Protección por tensión fuera de los límites, con parada inmediata del grupo electrógeno.
- Protección por sobreintensidad del alternador, con temporización de 10 segundos y parada del grupo en el caso de que no desaparezca la sobrecarga después de este tiempo.
- Protección por cortocircuito, con parada del grupo, verificación de la persistencia de la falta y reenganche del contactor del grupo, tras unos 4 segundos de desaparecida la misma.
- Protección por fallo del arranque del motor diésel después de los tres intentos programados, con bloqueo del mismo que obligue a realizar manualmente la operación de puesta en marcha.

Además, incluirá las siguientes alarmas preventivas:

- Alarma por avería en el alternador y en el cargador electrónico de baterías.
- Alarma por bajo nivel de gasóleo, con un espacio de temporización de 1 hora para la reposición de combustible que, en caso de no producirse, producirá la desconexión del contactor del grupo y una parada de 3 minutos.
- Alarma por fallo del contactor de red cuando se produce la puesta en servicio del grupo electrógeno sin ausencia de red.

3.2. La cogeneración

Una de las estrategias que recomienda la directiva europea para mejorar la eficiencia energética en la edificación es la **cogeneración de ciclo combinado**, con producción simultánea de electricidad y calor. De hecho, este sistema ya se aplica actualmente en bastantes hospitales, dado que existe una demanda paralela de energía térmica i energía eléctrica que permite aprovechar el calor residual de la generación eléctrica para usos térmicos de calefacción y agua caliente, así como para usos de refrigeración en verano mediante los equipos enfriadores por absorción. Por eso, algunos autores se refieren al sistema como "trigeneración" (electricidad, agua caliente y agua enfriada).

Las ventajas de este sistema de generación de electricidad de alta eficiencia son, fundamentalmente, dos. En primer lugar, existe una evidente la ventaja para el usuario por la diferencia de coste de la energía eléctrica cogenerada respecto a la comprada a la compañía. Además, esta fórmula propicia una cierta autonomía respecto a la red pública, por el suministro redundante, con una fuente energética propia, de parte de la energía eléctrica que se consume.

Por eso, es razonable considerar una central de cogeneración como una fuente complementaria de energía que, en lugar de ponerse en marcha en caso de fallo de la red pública –como es el caso de los grupos electrógenos clásicos para generación de emergencia–, estaría en marcha el máximo número de horas posible, generando energía eléctrica en paralelo a la red pública, importando energía cuando la potencia de la cogeneración es insuficiente o exportando energía (a unos precios subvencionados) cuando la cogeneración es excedentaria.

En caso de incidencia en la red, las protecciones de los equipos generadores de la planta de cogeneración actuarían desconectando el suministro de compañía y permitiendo lo que se denomina "funcionamiento en isla".

En comparación con la generación eléctrica en centrales térmicas, donde la eficiencia de transformación de la energía del combustible no llega al 40 %, en el caso de las centrales de cogeneración con motores alternativos de combustión interna, en que se aprovecha el calor residual de la combustión, puede hablarse de rendimientos superiores al 80 %. El 36% de la energía de combustión se transforma en electricidad en el alternador acoplado y el 44% residual se aprovecha en calderas donde el agua de refrigeración de las camisas del motor y los gases de escape fundamentalmente permiten obtener agua sobrecalentada o vapor. La producción de energía eléctrica *in situ* evita, además, pérdidas en el transporte.

Para que la eficiencia de la central de cogeneración sea óptima, debe proyectarse de manera que siempre pueda usarse el calor residual, por lo que la potencia instalada y el programa de operación de la planta deberán obedecer a la estrategia de generar electricidad por cogeneración en función de la demanda

térmica de calor (invierno) o frío (verano). Normalmente, para tener una demanda plana a lo largo del año, la potencia de cogeneración no acostumbra a superar el 50% de la potencia total de la demanda del hospital.

La descripción del proceso comienza por un motor alternativo diésel, con gas natural como combustible. Son motores diseñados para su funcionamiento en régimen continuado, normalmente a bajas revoluciones (< 1.500 rpm). Este equipo es el encargado de transformar la energía del combustible en electricidad en el alternador. Como resultado de la combustión se genera, además, un calor residual (gases calientes, todavía a unos 400-500 °C, y agua de refrigeración de las camisas del motor) que es deseable recuperar. Habitualmente se opta por producir agua sobrecalentada en calderas, una solución técnicamente más sencilla que el vapor, que actualmente no parece tener una aplicación directa en las demandas más comunes de un hospital. Así, la energía térmica recuperada se distribuye hasta los puntos de consumo en forma de agua caliente y agua fría.

En verano, esta alternativa incorpora el uso de máquinas de absorción de doble efecto de bromuro de litio para la generación de agua enfriada, con condensador refrigerado ya sea por agua, mediante una torre de refrigeración o por aire, mediante aerorrefrigeradores. Estas máquinas de absorción utilizan agua sobrecalentada generada por la recuperación del calor, como hemos explicado más arriba. Y con este calor residual se producirá, asimismo, el agua caliente para abastecer la demanda de agua caliente sanitaria y de calefacción a partir de un conjunto de intercambiadores de calor.

Este diseño también incorpora, desde luego, equipos convencionales de generación de frío y de calor para cubrir las puntas de demanda y las posibles paradas (programadas o no). El apoyo de equipos convencionales para la generación de frío (*back-up*) se puede hacer mediante enfriadoras de ciclo de compresión, accionadas eléctricamente. Para el soporte de los equipos convencionales para la generación de calor, la mejor alternativa es la producción de agua caliente mediante calderas convencionales de condensación de alto rendimiento.

La legislación actual exige un alto rendimiento de generación. El compromiso energético que ha de cumplirse en todas las plantas de cogeneración está legislado actualmente por el Real Decreto 661/2007. Las plantas de cogeneración deben cumplir para acogerse al régimen protegido de autogeneración (llamado régimen especial) unos valores de eficiencia mínimos, que se basan en el cálculo de un índice denominado rendimiento eléctrico equivalente (REE). El REE se calcula actualmente según la siguiente expresión en tanto por uno:

$$\text{REE} = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

Siendo:

- E: energía eléctrica autogenerada anualmente.
- V: energía térmica útil consumida anualmente.
- Q: energía suministrada por el combustible consumido anualmente en el sistema de cogeneración (en PCI).

En las plantas de cogeneración, el REE mínimo es actualmente del 59% en centrales basadas en turbina de gas, mientras que para centrales basadas en motores alternativos de gas natural, es del 55%.

Directiva Europea de Cogeneración 2004/8/EC

La Directiva Europea de Promoción de la Cogeneración, aprobada en febrero del 2004 y con fecha límite de transposición establecida para febrero del 2006, plantea un marco favorable al desarrollo de estos sistemas. Concretamente, la Directiva defiende como cogeneración de alta eficiencia la que ahorra un 10% de energía primaria respecto a la producción por separado de la misma cantidad de electricidad y de calor útil. En esta Directiva, el índice *primary energy savings* (PES), definido en el anexo III de la Directiva y en tanto por uno, es el utilizado para la determinación de este ahorro.

El Real Decreto 616/2007 ha traspuesto este requerimiento a la ordenación española, con la intención de crear un marco para el fomento de la cogeneración de alta eficiencia, basado en la demanda de calor útil y en el ahorro de energía primaria, incrementando su eficiencia energética y mejorando la seguridad del suministro. En este caso, el cálculo del PES, también en tanto por unidad, se realiza con la expresión:

$$PES=1-\frac{1}{\left(\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}}+\frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}\right)}$$

Donde:

- PES es el ahorro de energía primaria (en tanto por unidad) respecto a la que se consumiría en generación por separado de calor y electricidad y/o energía mecánica.
- CHP H: es la eficiencia térmica de la producción con cogeneración definida como la producción anual de calor útil procedente de la cogeneración dividida por la aportación de combustible utilizar para generar la suma de la producción de calor útil y electricidad procedentes de la cogeneración.
- Ref H: es el valor de referencia de la eficiencia para la producción por separado de calor (se considera de 90%).

- CHP E: es la eficiencia eléctrica de la producción con cogeneración definida como la electricidad anual producida con cogeneración dividida por la aportación de combustible utilizar para generar la suma de la producción de calor útil y electricidad procedentes de la cogeneración.
- Ref E: es el valor de referencia de la eficiencia para la producción por separado de electricidad (se considera de 49,6%).

El problema fundamental que presenta una central de cogeneración es su mantenimiento (muy costoso y altamente cualificado) y su impacto ambiental. El anexo II del Decreto 833/75 de 6 de febrero establece un catálogo de actividades industriales potencialmente contaminantes de la atmósfera. Estas actividades se definen como aquellas que "por su propia naturaleza o por los procesos tecnológicos convencionales utilizados constituyen o pueden constituir un foco de contaminación atmosférica". Según su potencial efecto adverso para la atmósfera, la actividad de una central de cogeneración se clasificaría, a efectos administrativos, en:

Grupo B. Centrales térmicas convencionales de potencia eléctrica inferior a 50 MW, generadores de vapor de capacidad superior a veinte toneladas de vapor por hora y generadores de calor de potencia calorífica superior a 2.000 termias por hora.

Anexo II del Decreto 833/75

El Decreto 322/87 de la Generalitat de Cataluña del 23 de septiembre incluye, en su anexo 1, el Catálogo de actividades industriales potencialmente contaminantes de la atmósfera (CAIPCA), similar a la clasificación del Decreto 833/75 antes mencionado. Una planta de cogeneración estaría incluida en la clase 01-B01 (centrales térmicas de potencia total instalada inferior a 50 MW) de este catálogo.

La central de cogeneración está incluida en la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 1993 (CNAE-93) dentro de la categoría 10102 (producción de energía térmica), ya que el proceso productivo consiste en generar energía térmica (mediante la combustión de gas natural) que se utiliza para generar energía eléctrica y producción de vapor a presión.

La actividad de la central puede considerarse incluida en el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (RAMINP), con el número 511-14 (central termoeléctrica a gas natural).

Según estas clasificaciones, sería necesario analizar las distintas emisiones que podría generar el conjunto de la actividad, y demostrar que se puede garantizar que no existirá tal repercusión, adoptando una serie de medidas correctoras y preventivas necesarias para la licencia ambiental preceptiva.

Uno de los efectos adversos que se producen es el de los ruidos y vibraciones, que aconsejan establecer este tipo de centrales en edificios separados al cuerpo del hospital, por lo que al diseñar estos sistemas, hay que tener muy en cuenta su posible ubicación.

Las ordenanzas generales de protección del medio ambiente marcan unos niveles sonoros guía, diferenciados para los distintos tipos de zonas acústicas. En general, para un hospital, lo razonable sería adoptar los valores recomendados para las zonas tipo II "Sectores del territorio con predominio del suelo urbano, urbanizable o no urbanizable, de uso de vivienda residencial, comercial y de servicios".

Los valores guía correspondientes imponen la máxima presión sonora exterior admisible en 65 dBA de 7 a 22 h y de 55 dBA, de 22 a 7 h.

Las principales fuentes de ruido asociadas al funcionamiento de la planta proceden, sobre todo, de los motores generadores y, en menor medida, de otros equipos (máquinas enfriadoras eléctricas, bombas, ventiladores...):

- Ruido desde la sala de motores generadores:
Por un lado, los de origen mecánico y, por otro, los procedentes de la combustión. Se estima que el nivel de ruido en la sala de los motogeneradores será de 127 dBA, lo que hace evidente el uso de auriculares de protección al entrar a la misma. Este ruido pasará al exterior a través del forjado y paredes de la sala. Por eso, deberá contar con un revestimiento y protecciones acústicas que permitan una atenuación de, como mínimo, 72 dBA. En el exterior, el nivel sonoro máximo procedente de la planta deberá ser 55 dBA.
- Ruido procedente de la chimenea de gases de escape:
Se estima que el nivel máximo de ruido es de 131 dBA, y por lo tanto, cada motor deberá ir equipado con un silenciador diseñado para que el nivel no supere los 55 dBA.
- Ruido procedente de las entradas y salidas de aire de ventilación
El ruido procedente de los filtros de entrada y salida de aire será de 55 dBA.

4. Los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

Los SAI son equipos destinados a suministrar energía eléctrica de forma ininterrumpida y dentro de unos parámetros de calidad estabilizados. Estos equipos se usan para evitar los efectos de los cortes, microcortes y perturbaciones de red en los equipos sensibles como los sistemas electrónicos, ordenadores, equipos de asistencia vital, áreas especiales de riesgo del hospital, etc.

Los efectos perniciosos de los fallos de red pueden resumirse en:

- A largo plazo: las perturbaciones y sobretensiones transitorias, aunque no siempre perturben de forma inmediata, pueden provocar una degradación progresiva del sistema, ocasionando puntos frágiles, causa de posibles averías en equipos sensibles.
- Efectos inmediatos: estas perturbaciones pueden ocasionar una interrupción peligrosa de un servicio asistencial o de una intervención crítica, la pérdida de datos, la introducción de datos parásitos en el sistema, etc.

Por estas razones, y para determinados servicios críticos del hospital, es necesario lograr:

- Alimentación estable de tensión y frecuencia, sin microcortes (< 2 ms).
- Autonomía adecuada según criticidad y, como mínimo, según normativa.
- Mejora de la fiabilidad del suministro con SAI redundantes.

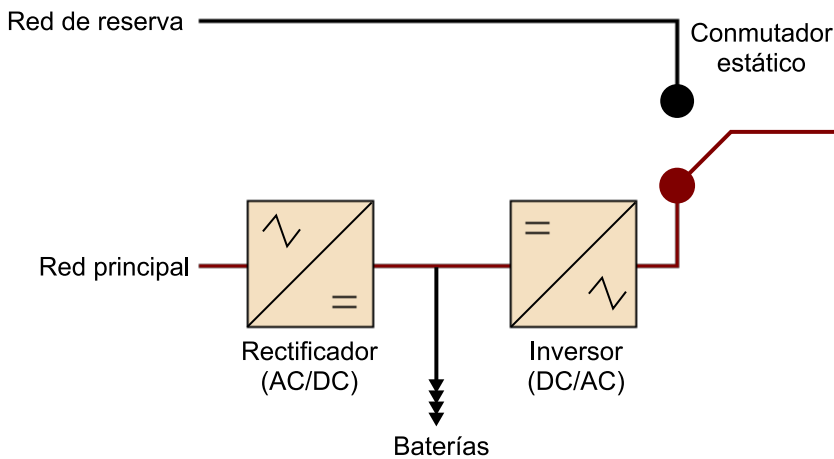
La solución más generalizada es la del SAI estático, con una autonomía ligada a las baterías. Otra solución, aunque menos frecuente, es la del SAI dinámico, basado en la reserva de energía de un volante de inercia acoplado al alternador de un grupo electrógeno.

4.1. Sistemas estáticos de alimentación ininterrumpida

Son un complemento al sistema de suministro eléctrico, con fuentes propias de energía que se obtienen de los grupos electrógenos y que asegura una continuidad sin cortes (la tensión de grupo de emergencia puede tardar hasta 15 segundos en activarse) y una autonomía propia por la reserva acumulada en sus baterías, para determinados servicios asistenciales y equipos de asistencia vital, según prescripción de la ITCBT 38, así como para servicios esenciales de comunicaciones, información y seguridad.

Existen distintas tecnologías de SAI, pero la más extendida es la de doble conversión, que toma su nombre de su funcionamiento: convierte la corriente alterna en corriente continua para, nuevamente, convertirla en corriente alterna y así alimentar la carga.

Su diagrama de bloques es el siguiente:



Descripción de los bloques:

- **Rectificador:** su función es la de rectificar la tensión senoidal de entrada (red principal) para generar una tensión de corriente continua que, por una parte, mantiene a flote o recarga las baterías y, por otra, alimenta el inversor.
- **Inversor:** se alimenta desde el bus de corriente continua y genera una tensión alterna (monofásica o trifásica, según el caso) libre de perturbaciones de la red, para alimentar la carga crítica.
- **Interruptor electrónico de *by-pass*:** este interruptor puede conectar la carga al inversor (situación de funcionamiento normal) o a la red de reserva (ante un fallo o para su mantenimiento).

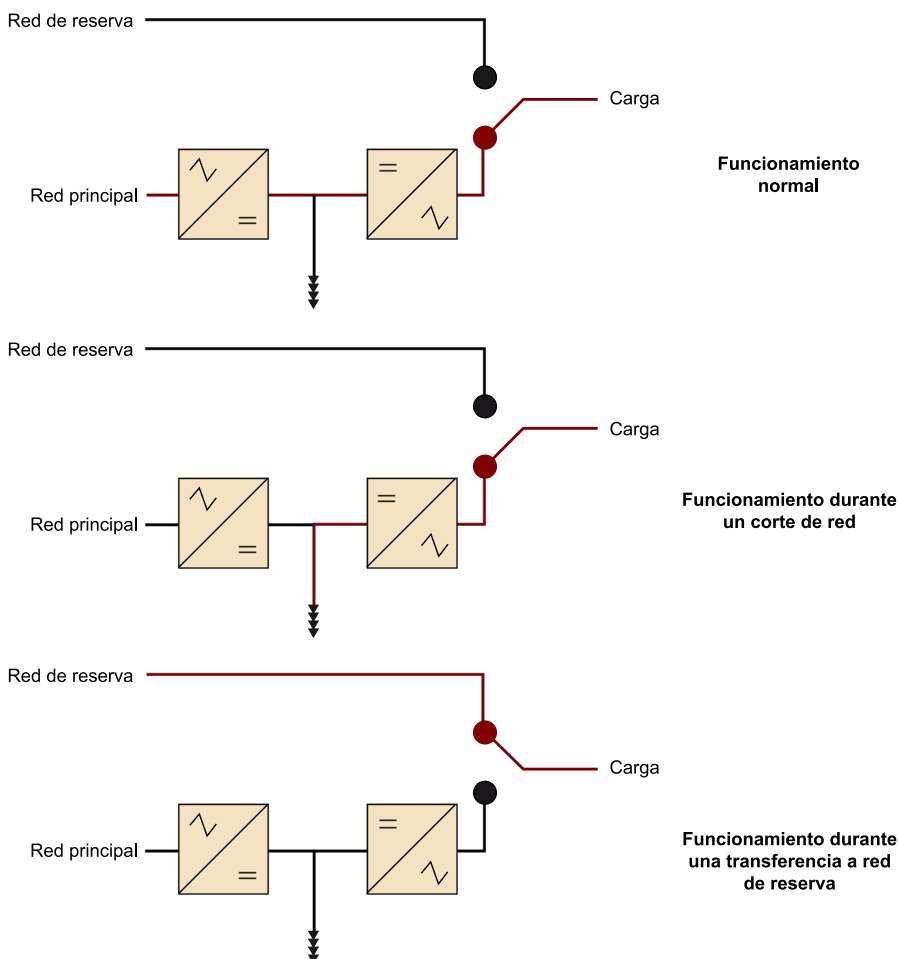
Principio de funcionamiento

La carga es alimentada permanentemente por el inversor a través del interruptor electrónico de *by-pass*. El inversor garantiza una alimentación segura y de calidad, ya que se alimenta del bus de corriente continua que es mantenido por el rectificador (en situación normal) o por las baterías (durante un corte de red). El rectificador, a su vez, se alimenta de la red de entrada generando un valor de corriente continua, apto para cargar las baterías o mantenerlas en flotación, y para alimentar al inversor. El interruptor electrónico de *by-pass* (*by-*

pass estático) está construido por tiristores y, en situación normal, conecta la carga a la salida del inversor. Este *by-pass* transferirá la carga a la red de reserva ante las siguientes situaciones:

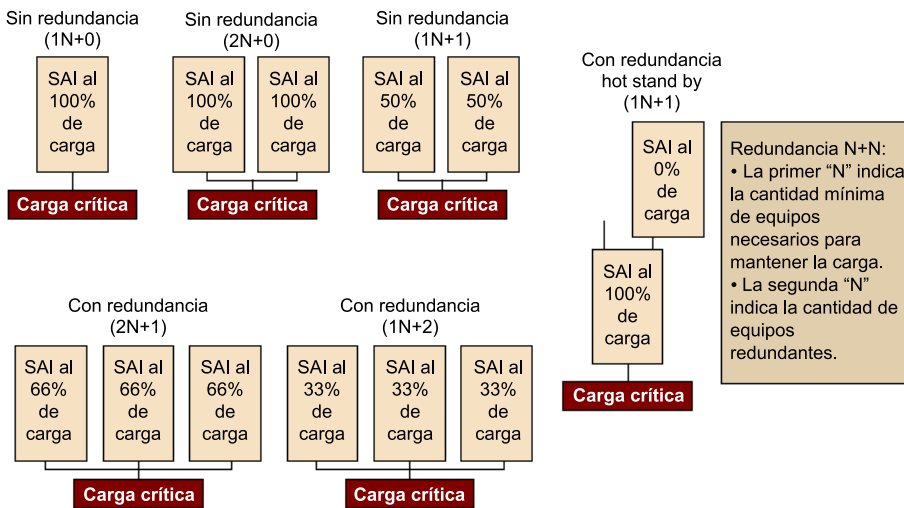
- Mediante una orden desde el panel frontal del SAI para, por ejemplo, poder sacar de servicio al rectificador y al inversor para realizar tareas de mantenimiento.
- Ante una sobrecarga o cortocircuito en la carga que exceda la capacidad del inversor.
- Ante un fallo interno del SAI que, antes de perder la carga, la transfiere a la red de reserva.

Los siguientes esquemas muestran los modos de funcionamiento descritos:



Modos de conexión: es posible conectar varios SAI en paralelo, ya sea para aumentar la potencia disponible en la carga, ya sea para lograr mayor fiabilidad (sistemas redundantes). Así, en función de la carga y de la potencia de los SAI, se logran **sistemas N+N**.

El siguiente esquema muestra las posibilidades de redundancia:



Sistemas con redundancia N+1 de SAI en paralelo: las redundancias N+1 son las más habituales en instalaciones donde se busca dar mayor seguridad a la continuidad del suministro eléctrico. En estos casos, si uno de los SAI tiene un problema, el otro asumirá el 100% de la carga crítica sin que se sufra ninguna interrupción.

Redundancia de SAI en serie *hot stand by*: en estos esquemas, un SAI o grupo de SAI alimenta la carga crítica, y en la línea de *by-pass* se conecta otro equipo (o grupo de ellos) listo para entrar en servicio. Si hay algún problema de funcionamiento en los SAI que alimentan la carga, estos pasarán automáticamente a *by-pass* estático, y los SAI que están en la línea serán los que asumirán la carga. Este tipo de esquemas, aunque muy poco usados, son de especial interés en instalaciones donde se parte de un sistema grande de SAI para una serie de servicios, y otro subsistema con un SAI dedicado, por ejemplo, a un quirófano. Si a este último se conecta la entrada del *by-pass* a la salida del otro sistema, el conjunto quedará en redundancia *hot stand by*.

4.1.1. Configuraciones para hospitales

En el hospital consideramos dos tipos de instalación de SAI:

SAI centralizado. Se trata de una red general, estabilizada y distribuida, que proporciona una alimentación fiable y de calidad para alimentar, entre otros, los sistemas del hospital que hemos calificado como preferentes o críticos, y que demandan una continuidad de alimentación eléctrica.

Los equipos de SAI estarán instalados junto al cuadro general de baja tensión desde cuyas barras se distribuye la alimentación a cuadros secundarios:

- Puestos de trabajo con equipos de informática de la intranet del hospital.
- Áreas de cuidados preferenciales, boxes de urgencias, salas de diálisis.
- Sistemas de seguridad.
- Sistemas de comunicaciones.

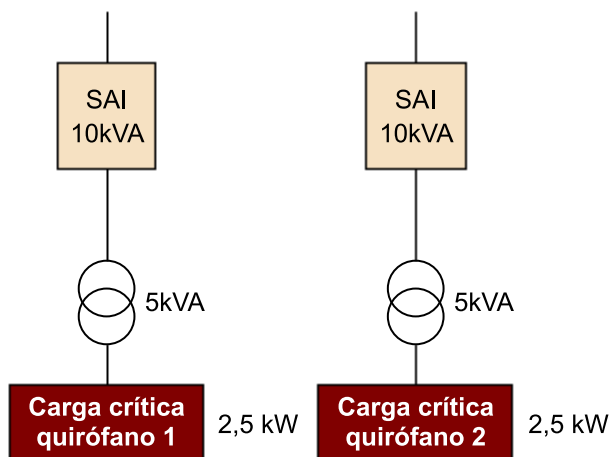
- Equipos de laboratorio que requieren protección especial en su proceso.

SAI localizado. Se trata de equipos específicos en redes localizadas para aplicaciones especiales de mayor exigencia y riesgo:

- Centros de proceso de datos CPD, corazón de las comunicaciones del hospital.
- Área de quirófanos y salas de intervención.
- Cuidados intensivos generales y pediátricos.

Configuraciones para quirófanos

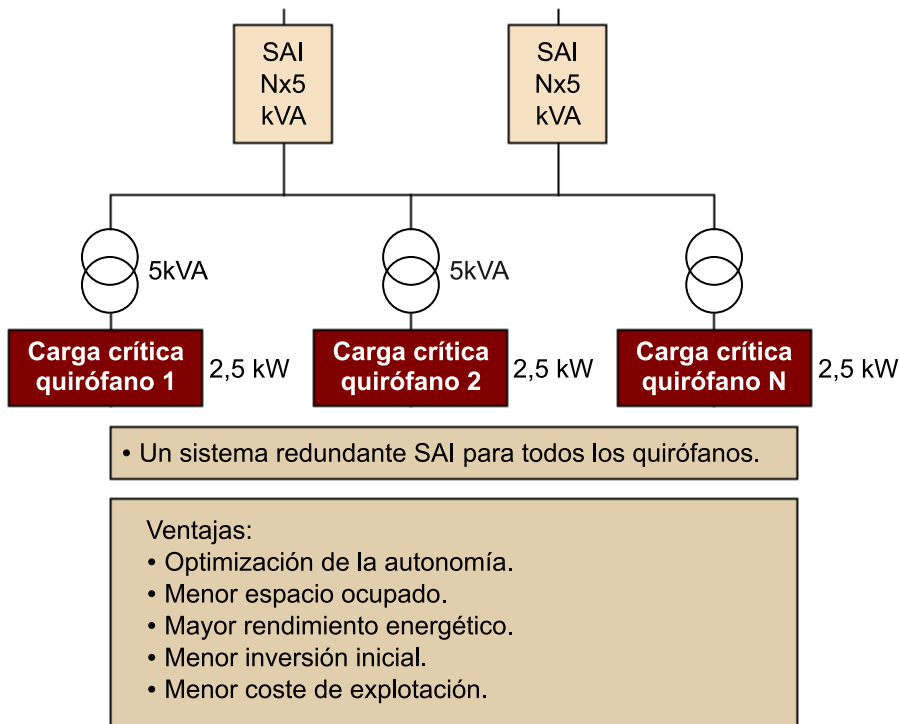
La configuración más simple de SAI para alimentar quirófanos consiste en colocar un equipo para cada uno de ellos:



- Carga típica de un quirófano: 2,5 kW.
- Autonomía: 2h.
- Esquema de neutro: IT.
- Transformador separador: típicamente 5 kVA o 7,5 kVA.

La carga indicada, de 2,5 kW corresponde a la media de potencia activa normalmente registrada en los quirófanos. Esta potencia es importante para el cálculo de autonomía del SAI. Sin embargo, la potencia de los transformadores es típicamente 5 kVA o 7,5 kVA, de modo que puedan soportar los picos de carga que puedan presentarse. Además, del SAI también se cuelga la iluminación sin corte perimetral de la mesa de operaciones. Normalmente estos SAI son de 8 o 10 kVA.

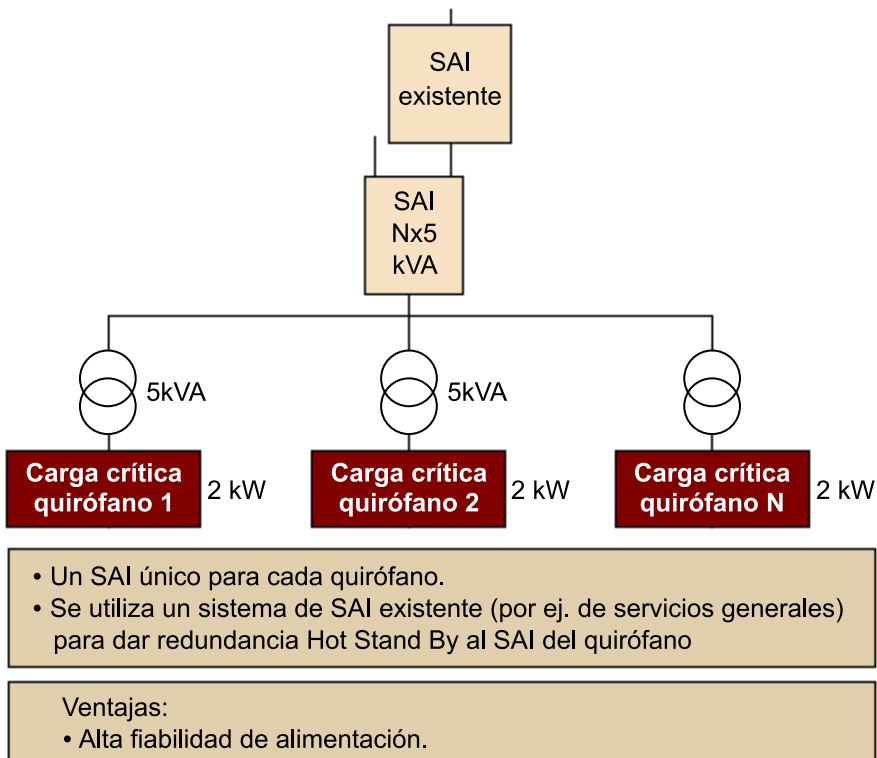
Como alternativa de diseño preferente, también se pueden agrupar quirófanos con el respaldo de algunos SAI con redundancia:



Las ventajas de esta configuración son:

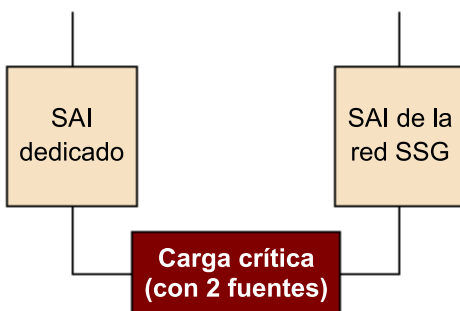
- Optimiza la autonomía de las baterías, ya que no es necesario calcularla para dar 2 h a cada quirófano, sino que se podrá indicar un factor de simultaneidad (de acuerdo a la cantidad de quirófanos a alimentar) que reducirá la necesidad de baterías.
- Requiere una menor inversión inicial y de mantenimiento, ya que se instalan y mantienen menos unidades.
- Mejora de la eficiencia energética, ya que hay menos equipos en funcionamiento.
- Reduce el espacio ocupado.

El siguiente esquema muestra una configuración *hot stand by* para la alimentación de quirófanos. Esta configuración puede ser interesante cuando se parte, como ya se indicó, de un sistema de SAI de usos generales que normalmente dispone de potencia suficiente para que, ante un problema en el SAI de quirófanos, pueda asumir su carga.



Configuraciones para CPD

Las cargas de los centros de proceso de datos tienen la particularidad de contar con bastantes equipos con fuentes dobles de alimentación, de manera que si uno de los alimentadores falla, el otro puede asumir la carga del servidor sin que se produzca la parada del servicio. Es por esto que, en configuraciones para CPD, ha de intentarse alimentar por separado ambas fuentes, en lo posible, desde dos sistemas de SAI distintos:



Si ya se dispone de un SAI de usos generales, uno de los sistemas mostrados puede suplirse con un alimentador desde aquel sistema, de modo que sólo sea necesario un SAI dedicado al CPD. La autonomía típica para el CPD suele definirse en torno a 10 o 15 minutos aproximadamente.

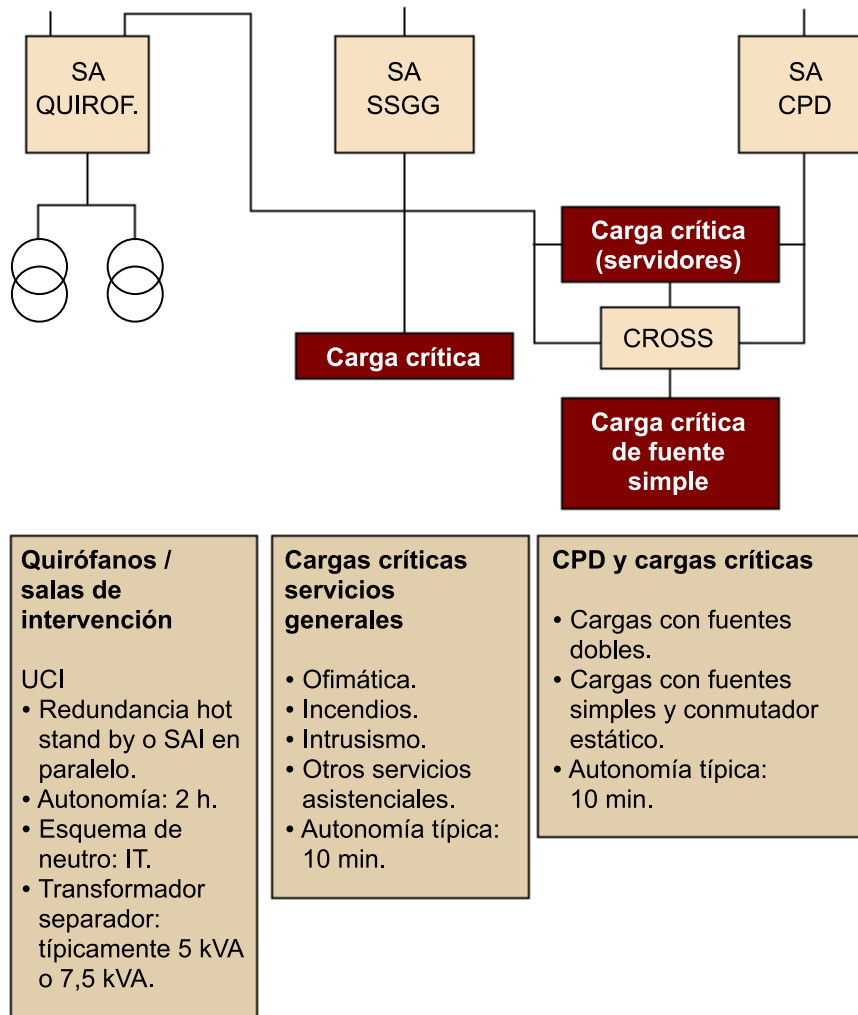
Configuraciones para servicios generales

Para el resto de cargas que deban ser mantenidas por SAI, se dispone de un sistema centralizado, normalmente redundante y de gran potencia. De este sistema cuelga la ofimática, las alarmas, los laboratorios y otros servicios esen-

ciales asistenciales. Este SAI se dispone normalmente junto al CGBT, desde donde se dispondrán salidas a los cuadros de zona. La autonomía típica de estos sistemas suele ser de 10 o 15 minutos.

Una idea de esquema general para hospitales

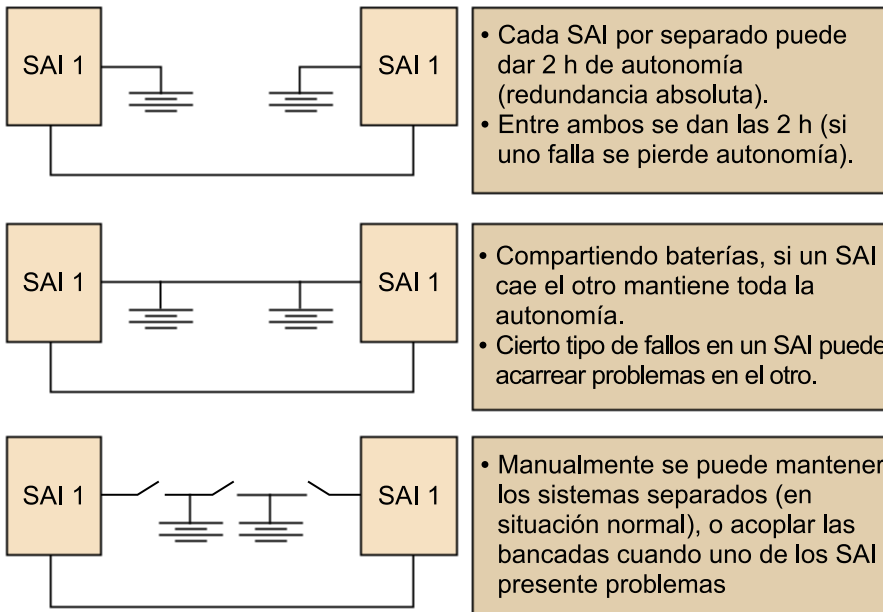
Teniendo en cuenta las particularidades de cada subsistema dentro de un hospital, el siguiente esquema muestra una de las configuraciones que puede satisfacer todas las necesidades racionalizando espacios, costes y autonomías:



El conmutador estático garantiza alimentación a cargas muy críticas, con fuentes únicas de alimentación. Este conmutador estático alimenta la carga desde uno de los sistemas de SAI y, cuando esta alimentación falle, transfiere la carga sin ningún corte al otro sistema.

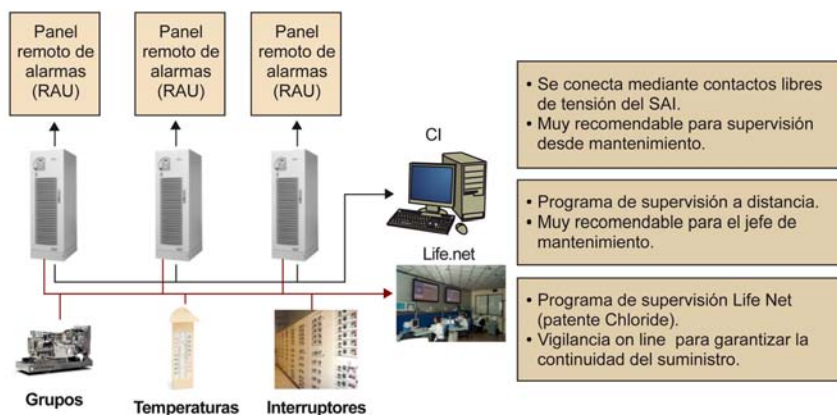
Baterías compartidas

Cuando se instalan SAI redundantes, cada uno de ellos dispone de su conjunto de baterías que garantizan una autonomía determinada. En caso de que uno de ellos falle, el otro asumirá toda la carga, pero se perderá la autonomía del SAI averiado. Para evitar este desenlace, pueden compartirse las baterías del siguiente modo:



Conectividad

Tomar los datos del estado y las alarmas de los SAI garantiza una correcta vigilancia de los sistemas. En el caso de los hospitales, pueden diferenciarse 3 niveles de vigilancia:



El primer nivel se cubre por los contactos libres de tensión proporcionados por los SAI que dan información del estado de cada unidad (fallo de red, sistema en baterías, fin inminente de la autonomía, alarmas graves, etc.). Este tipo de señales han de enviarse al taller de mantenimiento y señalizarse mediante alarmas luminosas y/o sonoras.

En el segundo nivel, se conectan los SAI mediante una red informática al sistema central de gestión técnica. Así, son permanentemente vigilados por el jefe de mantenimiento. Con esta conexión se obtienen una serie de datos del estado del sistema, tanto estadísticos como históricos, para un correcto seguimiento del mismo.

El tercer nivel de conexión consiste en una vigilancia remota por parte del fabricante de los SAI, de modo que, ante cualquier alarma de funcionamiento en cualquier equipo, puedan tomarse las medidas necesarias para una rápida y eficaz acción correctiva, además de garantizar información relevante para evaluar el comportamiento del sistema y poder prevenir situaciones de riesgo.

Adecuación de las salas de SAI y baterías

Los SAI pueden trabajar, generalmente, a temperaturas de hasta 40 °C, mientras que las baterías deben mantenerse entre 20 °C y 25 °C para prolongar su vida útil. Además, debe tenerse en cuenta que los SAI disipan bastante calor (entre un 5% y un 10% de la potencia activa de la carga), mientras que las baterías en flotación apenas lo hacen. Por esta razón, será una buena práctica instalar los equipos de baterías en salas separadas. Con una buena ventilación en la sala de equipos, se garantiza su correcto funcionamiento. Y en la sala de baterías, una pequeña aportación de frío mantendrá su temperatura en los valores indicados. Por último, si bien en general las baterías usadas en sistemas de SAI son herméticas, pueden desprender una pequeña cantidad de gases nocivos, por lo que la sala debe ventilarse (con una frecuencia de 3 o 4 renovaciones a la hora).

Dimensionado de un SAI

El SAI relaciona las características inherentes de la red con las características específicas que precisa la carga. El dimensionado de un SAI dependerá del tipo de consumo, es decir, dependerá de factores tales como:

- Asimetría de la carga (entre las fases).
- Tipo de carga (procesadores, instrumentación...).
- Potencia nominal (suma total de la potencia aparente en régimen estático de los diferentes elementos que constituyen la carga).
- Potencia de sobrecarga (potencia máxima de salida a tensión nominal que un SAI puede suministrar durante un corto período de tiempo, expresada en el valor porcentual de la potencia nominal para un período de tiempo) y tiempo de la misma. La corriente absorbida por los equipos informáticos presenta un factor de cresta elevado (k = relación entre el valor de cresta de la corriente o tensión, y el valor eficaz). Un SAI únicamente dimensionado teniendo en cuenta el valor de la corriente eficaz puede no ser capaz de alimentar los picos de corriente requeridos y sobrecargarse.
- Autonomía.
- $\cos \varphi$ de la carga.
- Tipo de batería. La vida de una batería disminuye considerablemente si la temperatura ambiente supera los 25-30 °C.
- Tipos de fuentes propias de energía adicionales (grupo electrógeno u otras).

- Generación de armónicos, que se evitan mediante filtros activos.

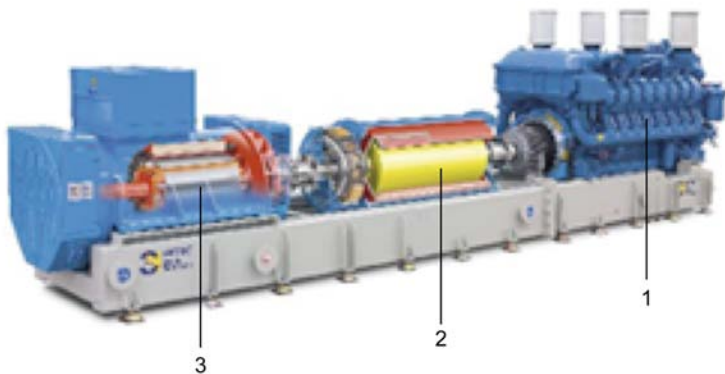
4.2. Sistemas dinámicos de alimentación ininterrumpida

Un SAI dinámico combina el servicio de fuente propia de energía del grupo electrógeno con un elemento de inercia, intercalado entre el alternador y el motor diésel, que le proporciona una continuidad sin corte en el momento de conectarse por fallo de la red. El elemento de inercia que almacena energía cinética puede ser un volante de inercia acoplado al eje de la generación de electricidad o un rotor acoplado inductivamente, como veremos en los esquemas que siguen.

La alimentación al sistema de distribución en baja tensión se puede independizar de la red (fuera de línea) mediante un sistema de SAI dinámico compuesto de motor eléctrico- alternador, acoplado al volante de inercia, que suministra energía controlada y estabilizada al hospital, siempre a través del alternador del sistema. Cuando falla el suministro de red, el grupo electrógeno se pone en marcha y se conecta al eje del alternador-volante. Durante los segundos que tarda el motor diésel en alcanzar la tensión estable, el volante de inercia se encarga de mantener la tensión de utilización en continuidad.

En el sistema que se describe a continuación (en línea), la alimentación se realiza a través de la energía de red que usa una bobina de choque para estabilizar la tensión, manteniendo la inercia del rotor inducido a 3.000 rpm, por medio de un motor eléctrico que se convertirá en alternador en su modo de funcionamiento con el grupo electrógeno.

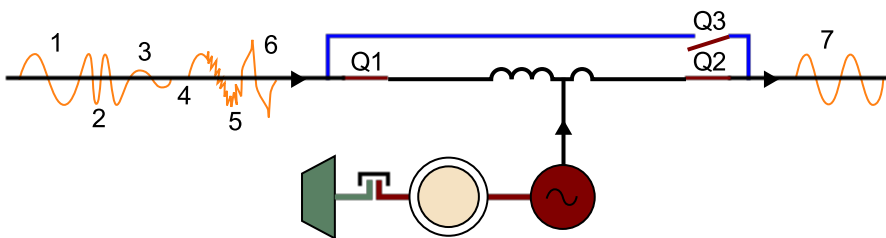
Éstos son sistemas que normalmente se aplican a grandes potencias, por encima de uno o dos MW, y tienen un coste de instalación muy elevado y un coste de mantenimiento significativo, por lo que en hospitales, el SAI estático sigue siendo la opción más extendida.



Un módulo de potencia SAI Dinámico diésel está compuesto de (1) motor diésel, (2) acople inductivo de inercia y (3) alternador.

En modo normal de suministro por red pública, el sistema actúa como un acondicionador de red y filtro activo en combinación con un reactor (bobina de choque), eliminando breves interrupciones, picos, defectos y huecos de la red. En caso de fallo de red, el sistema suministra inmediatamente la potencia necesaria, sin interrupción o perturbación. Puede suministrar potencia alternativa durante el tiempo que disponga de combustible. A continuación, detallamos sus partes con sus respectivas funciones:

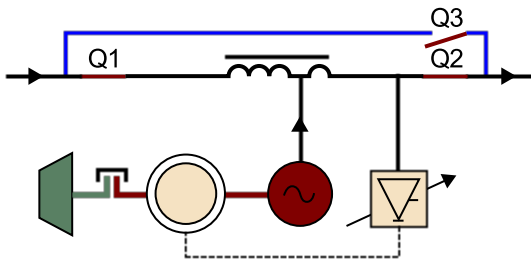
	Función
Alternador	Regula la tensión de salida y genera potencia limpia y continua a la carga.
Acople inductivo	Almacena la energía cinética necesaria para soportar la carga entre el fallo de red y el arranque del motor diésel. También permite mantener la frecuencia dentro de sus especificaciones durante el funcionamiento diésel.
Motor diésel	Arranca automáticamente cuando el SAI detecta un fallo en el suministro de red. Gracias al acople inductivo, el motor diésel puede alimentar sin corte los servicios conectados.
Embrague de giro libre	Conecta de forma automática el motor diésel y el acople inductivo de inercia una vez que el motor diésel alcanza la velocidad adecuada.
Reactor (bobina de choque)	Actúa en combinación con el alternador como filtro de red y evita que perturbaciones en la red alcancen la carga.



- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1 Picos de tensión | 5 Interferencias |
| 2 Variaciones de frecuencia | 6 Distorsión armónica |
| 3 Huecos de tensión | 7 Potencia de calidad continua |
| 4 Apagones | |

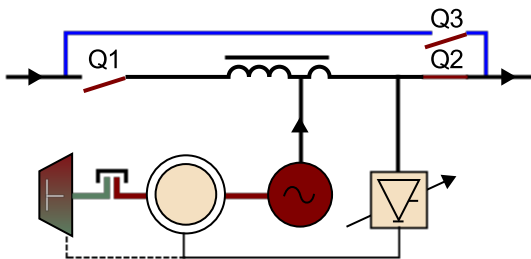
4.2.1. Modos de funcionamiento

Modo de red



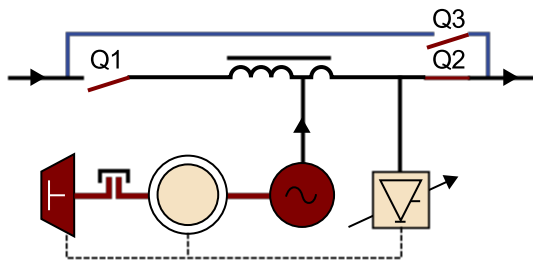
	Función
Reactor y alternador	Actúa como filtro activo para eliminar perturbaciones de red.
Alternador	Actúa como motor, girando el rotor exterior a 1.500 rpm (50 Hz).
Devanado del rotor exterior	Transferencia a modo diésel.
Embrague de giro libre	Aísla el rotor exterior del acople inductivo del motor diésel en <i>standby</i> .

Transferencia a modo diésel



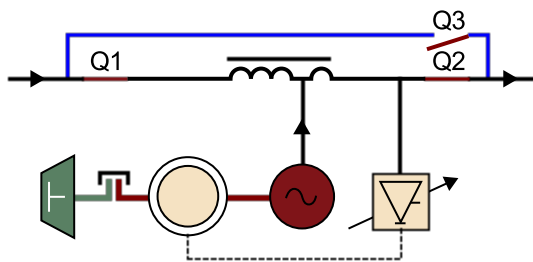
	Función	Tiempo
Interruptor (Q1)	Se abre en caso de cualquier fallo de red.	
Acople inductivo	La energía cinética almacenada se transfiere del rotor interior al exterior, que mueve el alternador para suministrar potencia ininterrumpida a la carga.	0-3 s
Alternador	Se mantiene a velocidad constante (1.500 rpm).	
Motor diésel	Arranca y acelera hasta 1.500 rpm.	0-2 s
Embrague de giro libre	Embraga automáticamente cuando el motor diésel alcanza velocidad nominal.	
Motor diésel + acople inductivo	Suministra potencia continua a la carga, dentro de la ventana especificada de tensión y frecuencia. El acople inductivo ayuda al motor diésel durante segundos.	5-10 s

Modo diésel



	Función
Motor diésel	Mueve el alternador para suministrar potencia continua a la carga. El motor diésel es constantemente monitorizado y controlado digitalmente para asegurar una frecuencia de salida constante.
Acople inductivo	Se recarga a 3.000/3.600 rpm para estar preparado ante cualquier incidencia y para apoyar el motor diésel para mantener el sistema dentro de los límites de la frecuencia y tensión especificada.
Frecuencia de salida	Se mantiene dentro de la tolerancia, incluso si el sistema tiene que soportar grandes variaciones de carga.

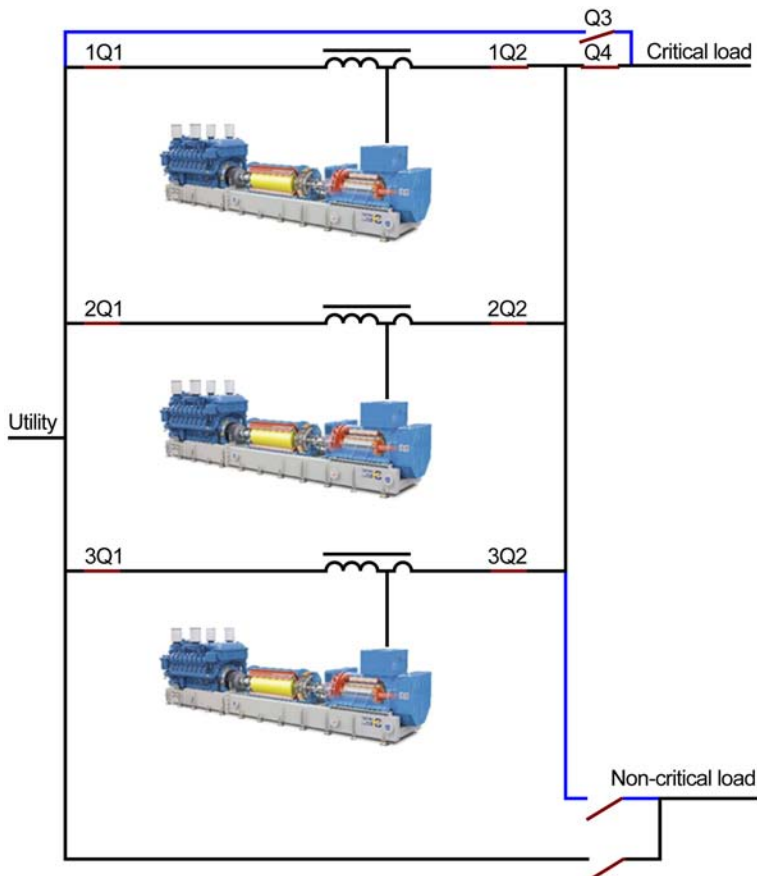
Retorno a modo de red



	Función
Sistema SAI	Detecta si la red ha vuelto dentro de especificaciones y sincroniza el sistema con la frecuencia de red para una transferencia suave.
Interruptor Q1	Se cierra.
Embrague de giro libre	Desembraga.
Motor diésel	Desacelera a 1.450/1.750 rpm.
Alternador	Vuelve a funcionar como motor para mantener la velocidad del rotor exterior a 1.500 rpm.
Motor diésel	Continúa funcionando sin carga durante un tiempo, para enfriar. A continuación se apaga y vuelve al modo en <i>standby</i> .

Configuraciones en paralelo (redundantes)

La configuración en paralelo ofrece redundancia (N+1, el más común). Las unidades que suministran la potencia necesaria son respaldadas por una unidad adicional, para más seguridad. La cantidad total de unidades en paralelo está limitada por la relación entre la corriente de salida total y la potencia de cortocircuito.



5. Esquemas de conexionado

Para definir las medidas de protección contra contactos directos o indirectos, y sobreintensidades, así como poder determinar las especificaciones de la aparatamenta encargada de tales funciones, es preciso tener en cuenta el esquema de conexiones con tierra aplicado en cada caso.

Existen **tres tipos básicos de esquemas**, que se distinguen por unos códigos de letras:

- 1.^a letra (fuente de alimentación en relación a tierra)
 - T: conexión directa de un punto de la alimentación a tierra.
 - I: aislamiento de tierra de la alimentación o conexión a través de una impedancia.
- 2.^a letra (masas en relación a tierra)
 - T: conexión directa a tierra de las masas.
 - N: masas conectadas directamente al punto de alimentación puesto a tierra (el neutro en corriente alterna).
- 3.^a letra (situación relativa del conductor de protección y el neutro)
 - S: los conductores neutro (N) y de protección (PE) están separados.
 - C: la función del conductor neutro y de protección se combinan en un solo conductor (PEN).

Para la protección contra contactos indirectos en los diferentes sistemas TT, TN o IT, el Reglamento de BT (RBT) (RD 842/2002) remite a la Norma UNE 20.460-4-41.

Las ITC se refieren tanto a la aplicación de la normativa UNE, como otras reconocidas internacionalmente.

Lectura de referencia

Para más información, podéis consultar la ITC-BT-08, RBT.

Lectura de referencia

ITC-BT-08: Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica
ITC-BT-24: Instalaciones interiores o receptoras. Protección contra los contactos directos e indirectos.

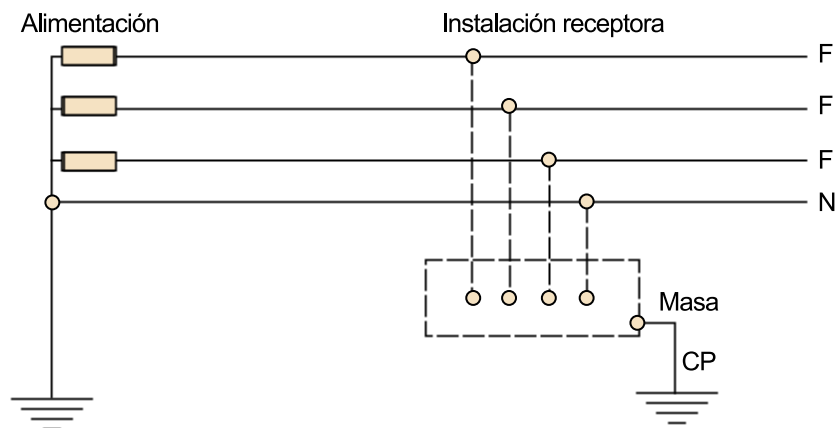
5.1. Diferencias entre las redes TT y las redes TN-S según el REBT

Lectura de referencia

Para más información, ver los puntos 4.1.2 de ITC-BT-24 y 1.2 de ITC-BT-08.

5.1.1. Esquema TT

El esquema TT tiene un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra, y las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación.



En este esquema, las intensidades de defecto fase-masa o fase-tierra pueden tener valores inferiores a los de cortocircuito, pero pueden ser suficientes para provocar la aparición de tensiones peligrosas.

En general, el bucle de defecto incluye resistencia de paso a tierra en alguna parte del circuito de defecto, lo que no excluye la posibilidad de conexiones eléctricas voluntarias o no, entre la zona de la toma de tierra de las masas de la instalación y la de la alimentación. Aunque ambas tomas de tierra no sean independientes, el esquema sigue siendo un esquema TT si no se cumplen todas las condiciones del esquema TN. Dicho de otro modo: no se tienen en cuenta las posibles conexiones entre ambas zonas de toma de tierra para la determinación de las condiciones de protección.

Todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección deben ser interconectadas y unidas por un conductor de protección a una misma toma de tierra. Si varios dispositivos de protección van montados en serie, esta prescripción se aplica por separado a las masas protegidas por cada dispositivo.

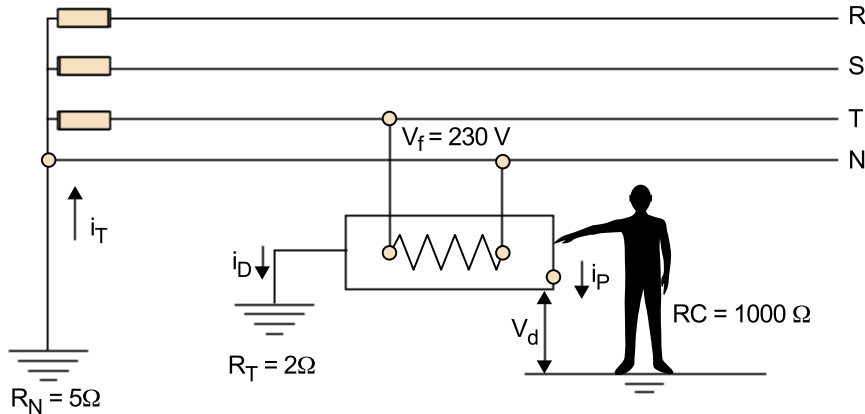
En el esquema TT, se utilizan los dispositivos de protección siguientes:

- Dispositivos de protección de corriente diferencial-residual.
- Dispositivos de protección de máxima corriente, tales como fusibles o interruptores automáticos. Estos dispositivos solamente son aplicables cuan-

do la resistencia (la suma de las resistencias de la toma de tierra y de los conductores de protección de masas) tiene un valor muy bajo.

Ejemplo de aplicación del conductor de protección para derivar a tierra un eventual defecto de aislamiento respecto a masa en contacto con una persona

La corriente eléctrica derivará por el conductor de protección en proporción inversa a las respectivas resistencias:



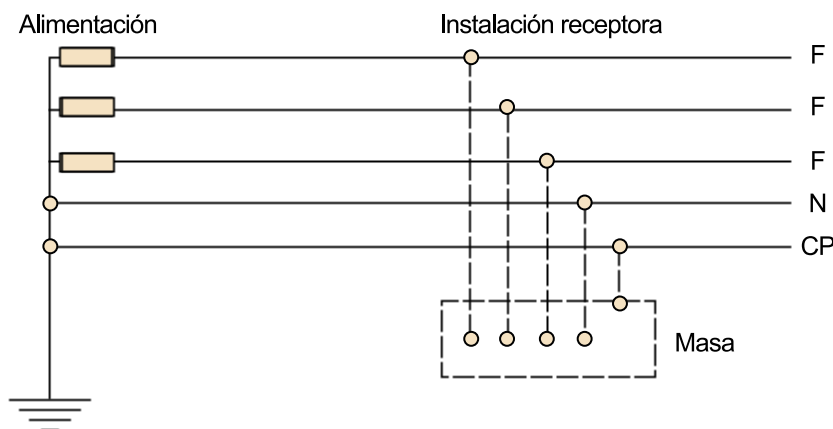
R_N = Resistencia de puesta a tierra del neutro del transformador de alimentación.
 R_T = Resistencia del tierra general.
 R_C = Resistencia del cuerpo de la persona.
 i_P = Intensidad que circula por la persona.
 i_D = Intensidad que circula en conductor de protección.
 V_d = Tensión de contacto.
 V_f = Tensión del posible defecto (hasta 230 V).

5.1.2. Esquema TN-S

Los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra, y las masas de la instalación receptora, conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. En los esquemas TN-S, el conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema.

Lectura de referencia

Para más información, ver los puntos 4.1.1 de ITC-BT-24 y 1.1 de ITC-BT-08.



En los esquemas TN cualquier intensidad de defecto franco fase-masa es una intensidad de cortocircuito. El bucle de defecto está constituido exclusivamente por elementos conductores metálicos.

En el esquema TN pueden utilizarse los dispositivos de protección siguientes:

- Dispositivos de protección de máxima corriente, tales como fusibles o interruptores automáticos.
- Dispositivos de protección de corriente diferencial-residual.

Condiciones de la instalación

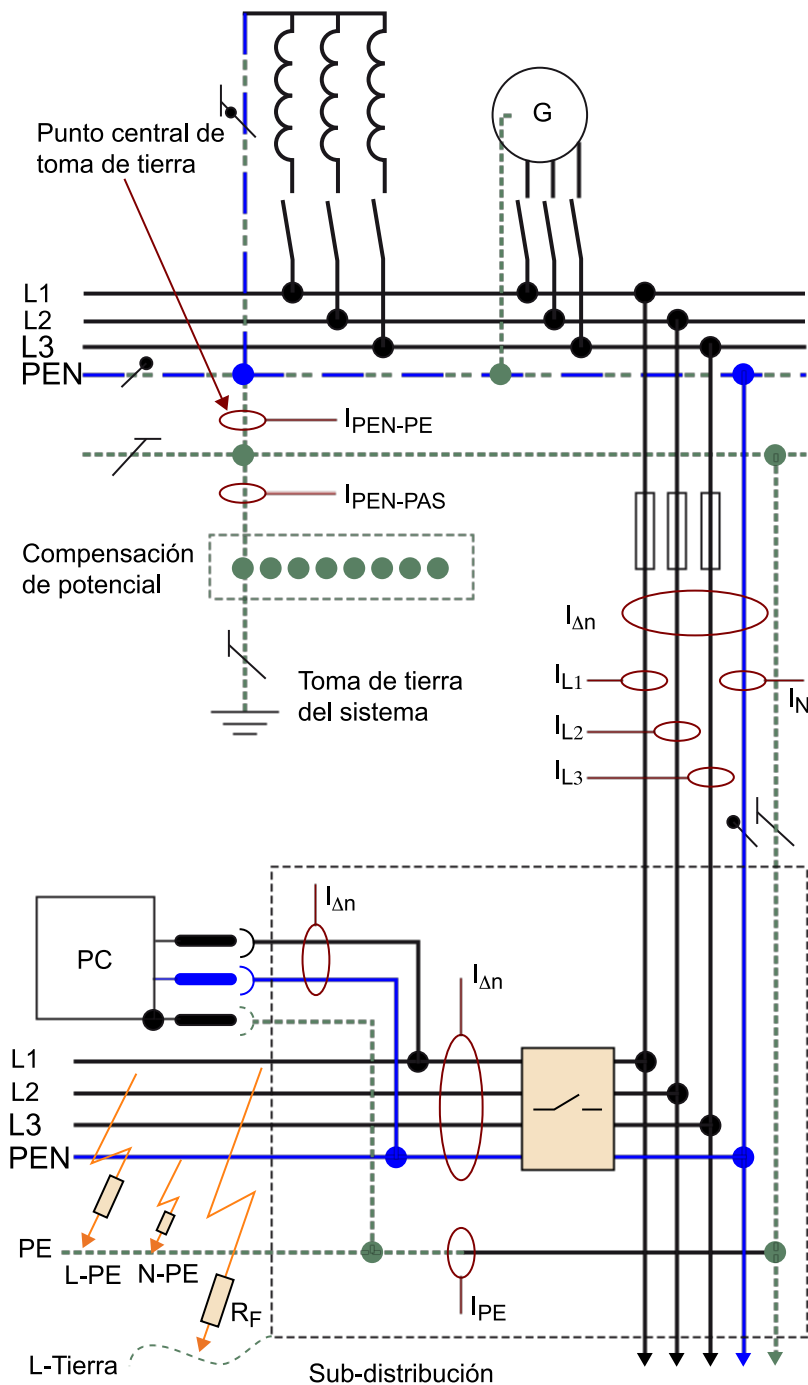
- La instalación eléctrica tiene que realizarse como un sistema TN-S compatible con compensación de potencial (equipotencial), desde el punto de entrada de la alimentación (transformador).
La idea fundamental es que las corrientes del conductor de retorno (N), que proceden de los numerosos consumidores monofásicos, puedan fluir de forma definida y controlada hacia la fuente de alimentación, y no tengan que retornar "vagabundeando" a través de uniones a tomas de tierra, como si de un *by-pass* se tratara, hasta el punto de estrella del transformador.
- La instalación TN-S exige que el neutro (N, punto de estrella del transformador) solamente pueda unirse con el conductor de protección (PE) y la barra de compensación de potencial (PA) en un punto único. Esta conexión ha de realizarse en la distribución principal de baja tensión, ya que ésta suele ser más fácilmente accesible que el recinto del transformador.
La conexión debe estar equipada con un monitor de corriente diferencial RCM, que controle permanentemente la unión, que normalmente no debe indicar ninguna presencia de corriente de compensación o de fuga, o en muy escasa medida, y que al producirse un fallo (corriente de error, corriente de fuga, humedades o incendio) provoque el disparo de una alarma.
- La tensión de control para el regulador de las instalaciones de compensación de reactiva deberá proceder del neutro (N) y de una fase, y no del conductor de protección (PE), o mejor aún, de un transformador de control propio.
- Los conductores de fase y el neutro (N,) entre la distribución principal de baja tensión hacia las subdistribuciones, tienen que tener todos la misma sección (sin reducir las secciones).
- En los cuadros de distribución, debe colocarse un aviso de que es un sistema TN-S, y que tiene que ser tratado como tal en toda su extensión.
- Debe evitarse cualquier puente accidental entre neutro (N) y el conductor de protección (PE), que no sea el de cabecera de la instalación.

- En los cuadros de distribución más importantes, hay que instalar un monitor de corriente diferencial RCM, que vigile la presencia de una corriente diferencial (igual que en un interruptor diferencial RCD) entre los conductores activos L1, L2, L3, neutro (N) y tierra.
- Debe instalarse un monitor de corriente diferencial RCM para vigilar el conductor de protección (PE) en cada uno de los cuadros de distribuciones, para controlar la aparición de corrientes de defecto en los distintos subsistemas. Con ello también se vigila la instalación indebida de puentes entre el neutro y el conductor de protección.
- La alimentación de corriente a consumidores monofásicos unidos por un cable de datos (por ejemplo, sistemas informáticos) tiene que estar diseñada de manera que todos ellos estén conectados a la misma subdistribución. En caso contrario, es recomendable utilizar equipos de desacoplo galvánico para los cables de datos. Con ello se evita la propagación de corrientes parásitas y de error a través del apantallamiento de los cables de datos, que pueden producir errores indefinidos en el hardware y en la propia integridad de los datos transmitidos.

La instalación de un sistema eléctrico TN-S, con una monitorización permanente de todas las corrientes (AC/DC) y el análisis de los armónicos, suponen un avance imprescindible en esta dirección.

A diferencia de las tradicionales instalaciones en configuración TT, las redes TN-S presentan la ventaja de "obligar" una circulación ordenada de las corrientes, tanto de carga como de defecto o de compensación de potencial. Con ello se evita la circulación de corrientes parásitas o de carga por la estructura del edificio, por las conducciones metálicas (con el consiguiente riesgo de corrosión) o por los apantallamientos de los circuitos de datos que unen los múltiples equipos electrónicos de un hospital.

Esquema ejemplo de una conexión por sistema TN-S con vigilancia preventiva de defectos:



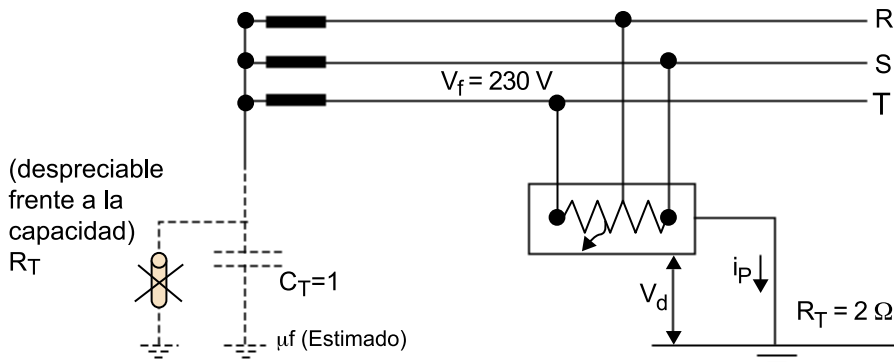
En este esquema se permite a su vez una monitorización clara de todas las corrientes que circulan por la instalación, pudiendo disponer de avisos anticipados a posibles disparos por sobrecarga, corrientes de defecto, instalaciones añadidas de forma incorrecta, etc.

Las protecciones en estos sistemas exigen:

- Conectar regularmente a tierra el conductor PE de protección (impedancia ≤ 2 ohmios), para asegurar que, en caso de fuga por fallo de aislamiento, el conductor de protección mantenga su potencial próximo al de tierra.
- Desconexión al primer defecto de aislamiento.

5.1.3. Esquemas de distribución IT

Este esquema tiene las tres líneas activas aisladas de tierra por el transformador de aislamiento, con las tres fases de la corriente sin otra referencia a tierra que los defectos de aislamiento que eventualmente puedan ocurrir. Estos se monitorizan en el cuadro de alimentación a quirófanos, salas de intervención y áreas de riesgo en general, donde una desconexión por relé diferencial que actúe contra un primer defecto podría ser perjudicial.



Los dispositivos de protección se basan en:

- Controladores permanentes de aislamiento (en transformadores de aislamiento).
- Interruptores de máxima corriente.

Este sistema no exige el corte automático de la alimentación cuando aparece el llamado "primer defecto", pues la fuente de alimentación está aislada de tierra.

Las medidas de protección en este sistema exigen:

- Instalación de un controlador permanente de aislamiento que debe señalar el "primer defecto".
- Señalización del primer defecto, para tratar de solucionarlo.
- Vigilancia de temperatura del transformador.
- Desconexión del suministro si se produce la aparición de un nuevo defecto, llamado "segundo defecto".
- Verificación de las condiciones de desconexión de los dispositivos de actuación contra sobrecargas; y si no actúan, introducción de medidas adicionales.
- Instalación, si procede, en la cabecera de la alimentación, de un dispositivo de limitación de sobretensiones.

Lectura de referencia

Para más información sobre este tema, ver los puntos 4.1.1 de ITC-BT-24 y 1.3 de ITC-BT-08)

Ved también

De las áreas especiales se hablará más adelante, en la unidad correspondiente a la Instrucción técnica ITC BT 38.

- Limitación de la extensión de la instalación para evitar la pérdida de impedancia, debido al efecto capacitivo de los cables respecto a tierra.

Ved también

Podéis encontrar más información sobre el diseño para lugares de riesgo especial en la unidad 8.

6. Red de distribución y protecciones

En esta unidad abordaremos el diseño de la red de distribución eléctrica por medio de cuadros secundarios alimentados desde el cuadro general de baja tensión, que incorporará las protecciones necesarias de seguridad, definidas en el REBT, acordes con el sistema aplicado de conexiones de líneas activas y tierra.

6.1. Cuadro general de baja tensión

Con las barras correspondientes, desde el cuadro general de baja tensión se puede dar servicio de distribución eléctrica a los cuadros secundarios de un hospital desde varias categorías de barras.

- **CFN: consumos corrientes fuertes normales.** Compresores de clima y otros equipos de cierta potencia no esencial.
- **CFE: consumos corrientes fuertes esenciales.** Servicios médicos y servicios generales preferentes.
- **CDN: consumos corrientes débiles normales.**
- **CDE: consumos corrientes débiles esenciales (SAI).** Comunicaciones y seguridad.
- **CAIE: consumos críticos (SAI).** Salas de intervención y equipos de asistencia vital.

Es importante que el diseño de este esquema de baja tensión aporte flexibilidad a la instalación eléctrica, de forma que cualquier maniobra de mantenimiento, reposición o ampliación que pueda afectar a parte de las instalaciones, no comprometa el funcionamiento normal del resto de los servicios del centro hospitalario.

En ese sentido, el diseño que realiza más de una conmutación entre los diferentes suministros de energía eléctrica para cada uso ya ha sido probado ampliamente y ofrece mucha flexibilidad para la explotación de las instalaciones.

Este sistema de distribución y asignación de cargas entre los centros de transformación (energía de red) o los grupos electrógenos (fuentes propias) requiere un control sobre las maniobras de deslastre y entrada selectiva de cargas. Esto se puede realizar mediante unos autómatas programables de los sistemas de gestión, preferiblemente exclusivos para la instalación eléctrica.

El sistema de control recibirá información sobre el estado de los suministros y de las cargas eléctricas, a través de los analizadores de redes distribuidos en diferentes puntos de la instalación, y actuará sobre los interruptores motorizados o sobre las conmutaciones a fin de prevenir interrupciones o sobrecargas, y así optimizar el funcionamiento fiable de la instalación

En el esquema unifilar general de una instalación hospitalaria, podemos examinar la acometida desde la compañía al centro de transformación que alimenta, en baja tensión trifásica de 400 v, las distintas categorías de barras desde donde tenemos las salidas a los cuadros secundarios de planta. Los grupos electrógenos alimentarán también estas barras en función de su potencia disponible, cuidando de que, en cualquier caso, la barra de servicios críticos reciba una alimentación complementaria procedente de las fuentes propias de energía. Asimismo, desde la barra de críticos, también se alimentan los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) que sirven a la red general estabilizada para los servicios generales, los laboratorios, la ofimática, etc., y también a los SAI de los quirófanos y las salas de intervención, así como al centro de proceso de datos.

6.1.1. Construcción del CGBT en instalaciones hospitalarias

En caso de avería o sustitución de algún elemento de los interruptores automáticos de protección de líneas, las instalaciones hospitalarias exigen actuaciones rápidas. Asimismo, en este tipo de instalaciones son frecuentes las actuaciones por ampliación o cambio de uso de ciertos espacios, por lo que los cuadros eléctricos deben poseer una gran flexibilidad que, además, no implique el corte del suministro eléctrico a otros servicios, que pueden ser críticos o vitales.

La fabricación de un cuadro general de baja tensión en instalaciones hospitalarias se adapta a la Norma UNE-EN 60439-1 y su ejecución interior obedece a la estructura de disposición Forma 4a o bien Forma 4b que describe la Norma.

El criterio fundamental para la estructura interna advierte que es necesaria una separación de los juegos de barras de las unidades funcionales, así como una separación de todas las unidades funcionales entre sí, incluyendo los bornes para los conductores externos que son parte integrante de la unidad funcional. Estos bornes para los conductores externos, además, no están en el mismo compartimento que la unidad funcional a la cual están asociados, sino que tienen compartimentos o espacios protegidos individuales, separados entre ellos y cerrados.

Ved también

Para ver el esquema unifilar general de una instalación hospitalaria, ver anexo de cuadros.

Ved también

Para más información sobre SAI, ver unidad 4.

Un ejemplo de configuración interna de un cuadro general de baja tensión compartimentado y extraíble podría ser el de una estructura de doble armario, es decir: con parte frontal y parte trasera. Además, ambos armarios han de ser registrables para poder actuar de forma independiente bien en el embarrado general, bien en la parte frontal de los interruptores.

Parte delantera del cuadro

Sobre el bastidor frontal del armario se ubican los interruptores extraíbles, montados sobre unas bases fijas. Así, en cualquier actuación que implique un cambio o sustitución de uno de ellos por otro diferente o de mayor intensidad, únicamente tendremos que desconectar los terminales de salida, extraer el interruptor y sustituirlo por el nuevo.

Pasillo lateral de parte frontal de cuadro

Las salidas de los conductores de circuitos hacia los receptores de potencia (subcuadros eléctricos distribuidos) se conectan a los bornes del interruptor y salen a través de un módulo de pasillo lateral.

Parte trasera del cuadro

Aquí encontramos los embarrados generales y las barras de distribución, que van a buscar las bases fijas de los interruptores frontales. Estas platinas se suelen fabricar para resistir un amperaje tal, que permita cambios en los interruptores de la parte frontal por otros de mayor intensidad. Así, en principio, la parte trasera del cuadro no ha de manipularse en una ampliación, cambio o sustitución de interruptores.

Ved también

Podéis ver en el anexo de cuadros el esquema unifilar completo y la simbología de cuadros.

Cuadros secundarios de distribución

Son elementos de protección y control, distribuidos en distintas zonas del hospital, con las características que les corresponda según la zona: interior, exterior, lugares húmedos o con polvo, etc. Para cada cuadro, debemos calcular (y en algunos casos, estimar) la potencia de cada circuito que se alimenta. Esto nos permitirá situarlo estratégicamente como centro de gravedad de cargas. Cada cuadro secundario se situará fuera del alcance del público, en recintos cerrados y específicos para su ubicación.

A cada cuadro secundario o subcuadro le llega la energía desde la barra correspondiente del CGBT (3P + N) más el conductor de protección a tierra.

A la entrada de cada subcuadro, se prevé un interruptor-seccionador en carga de seccionamiento visible, que tiene como misión asegurar el corte de corriente en su interior.

Cada circuito ha de llevar los elementos de control y maniobra adecuadamente protegidos contra sobrecargas y cortocircuito, así como contra corrientes de defecto. Habrá una selectividad total entre la cadena de protecciones desde su origen en el cuadro general hasta los elementos terminales. Cada subcuadro ha de estar calculado por la intensidad de cortocircuito (I_{cc}), que ha de poder soportar en el lugar donde está situado.

Todos los interruptores diferenciales llevarán un contacto auxiliar de actuación y todos los elementos que se accionen a distancia indicarán, mediante el correspondiente contacto auxiliar, su posición. Esta posición también quedará indicada en el caso del interruptor-seccionador general del subcuadro.

Los circuitos de fuerza y alumbrado se distribuirán desde los subcuadros, equilibrando las potencias de carga sobre cada una de las líneas trifásicas RST. Las líneas hasta la caja de derivación irán sobre bandeja con cable manguera de 1kV de distintas secciones, calculadas por la caída de tensión y por la densidad de corriente admisible.

Desde las cajas de derivación en bandeja, la distribución a los puntos de consumo y mecanismos se hará con cable unifilar de 0,6 kV de aislamiento I, bajo tubo corrugado, y los cables y los tubos serán libres de halógenos.

La caída de tensión máxima será de 3% en alumbrado y 5% en fuerza, a contar desde el cuadro general de baja tensión

Cuadro de quirófanos

El subcuadro de quirófanos y salas de intervención, UCI, etc., que tiene una alimentación por sistema IT a través de un transformador de aislamiento, es alimentado también desde una red de SAI con alimentación ininterrumpida.

Lo más usual es especificar la potencia del transformador de aislamiento para 7,5 kVA, si bien los registros de potencia media demandada por los equipos médicos no supera los 2,5 kW.

El esquema tipo (que puede verse en anexo) respeta la ITC BT 38 del Reglamento, alimentando la lámpara central con su trafo a 24 v y las distintas tomas del quirófano para servicio de equipos de asistencia vital.

A través de SAI también se alimentará el alumbrado de reemplazamiento de la luz perimetral, según ya hemos justificado anteriormente por la prescripción del Reglamento.

Anexo

Podéis ver en el anexo de cuadros el esquema de cuadro secundario.

Los consumos fuertes, como los de rayos X, tienen una alimentación separada del sistema IT del transformador y, naturalmente, la toma es también diferente.

Ved también

Podéis ver en el anexo de cuadros el esquema de cuadro de quirófanos y el esquema de alimentación desde SAI.

6.2. Potencias y consumos

Las estadísticas sobre potencias y consumos eléctricos en un hospital presentan diferencias entre uno u otro establecimiento, dependientes, naturalmente, de su estructura de servicios y de su tamaño. Nos parece coherente, en cualquier caso, comparar índices de potencia relacionados con la superficie del edificio.

En ese contexto consideraremos, en primer lugar, la potencia de los cuadros secundarios, calculada a partir de la potencia servida por cada uno de sus circuitos que, en algunos, es una potencia real conocida y en otros, es una potencia virtual estimada. A estas potencias aplicaremos un coeficiente de simultaneidad del 80% para dimensionar la potencia del cuadro.

La suma de potencias de todos los cuadros secundarios es servida por la barra del cuadro general de B. T. que le corresponda (servicios normales, esenciales y críticos), cuya potencia podemos estimar aplicando a esta suma otro coeficiente de simultaneidad entre el 75% y el 80%, en función del número. Con ello dimensionamos las barras del CGBT y la potencia a contratar con la compañía suministradora. Esta potencia está, normalmente, en el orden de los 100 w/m^2 para hospitales modernos con aire acondicionado. La mitad de la potencia corresponde a servicios esenciales y críticos, según antes hemos descrito, y la otra mitad corresponde a servicios normales. Recordemos que las barras de esenciales y críticos deben recibir, en cualquier circunstancia, la alimentación de uno de los grupos electrógenos.

Finalmente, el consumo real dependerá de muchos otros factores, algunos independientes del diseño, y veremos que la potencia demandada punta, que se alcanza en las horas centrales del día en los meses de gran demanda de aire acondicionado, está en el orden del 80% de la potencia contratada. Por su parte, el perfil de 24 horas presenta una demanda nocturna equivalente al 50% de la demanda punta en las horas diurnas de máxima actividad, aunque todas estas cifras son meramente indicativas.

6.3. Protecciones

En los cuadros eléctricos descritos de un hospital, es fundamental cuidar especialmente los objetivos de seguridad, mediante:

- La puesta a tierra y el correspondiente conductor de protección (PE).
- La protección contra contactos indirectos mediante relés diferenciales.

- La protección contra sobreintensidades y cortocircuitos mediante interruptores magnetotérmicos.

6.3.1. Protección por puesta a tierra

El primer paso que hay que dar en el diseño de la seguridad eléctrica en los esquemas TT y TN-S es asegurar la menor resistencia a tierra posible (entre 2 y 5 ohmios) y la continuidad de los conductores de protección, con total independencia del neutro.

Los objetivos en este tipo de instalaciones de puesta a tierra son, principalmente:

- Limitar la tensión que, con respecto a tierra, puedan presentar en un momento dado las masas metálicas.
- Asegurar la actuación de las protecciones.
- Eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados (ITC-BT-18).

Tierra

Por tierra se entiende un punto de la instalación en que el potencial eléctrico se toma, convencionalmente, igual a cero.

La puesta o conexión a tierra es la unión eléctrica directa a una toma de tierra formada por un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo. Con la puesta a tierra se pretende que en las instalaciones no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y, al mismo tiempo, se permita el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico.

La disposición de puestas a tierra puede ser única para toda la instalación o realizarse de forma independiente, por razones de protección o funcionales, según sean las prescripciones de la instalación. La elección e instalación de los materiales que aseguren la puesta a tierra deben ser tales que:

- El valor de la resistencia de la puesta a tierra debe ser conforme a las normas de protección y funcionamiento de la instalación y mantenido a lo largo del tiempo, según los requisitos generales de la ITC-BT-24 y los requisitos particulares de las ITC aplicables a cada instalación.
- Las corrientes de defecto y de fuga deben poder circular sin peligro, tanto desde el punto de vista de las solicitaciones térmicas, como mecánicas y eléctricas.

- La solidez o la protección mecánica debe quedar asegurada con independencia de las influencias externas.
- Es necesario prever los posibles riesgos debidos a la electrólisis que pudieran afectar a otras partes mecánicas.

Diez puntos para ejecutar correctamente las tomas de tierra:

1) Consideraciones sobre la ejecución de las tomas de tierra:

a) Irán enterradas a una profundidad mínima de 50 cm, a condición de que las condiciones ambientales, como hielo, humedad, etc., no aumenten la resistencia por encima del valor previsto.

b) Por razones de seguridad, las canalizaciones metálicas de otros servicios como agua, gas, etc. no deben ser utilizadas como toma de tierra.

2) Conductores de tierra. La sección mínima de los conductores, protegidos contra la corrosión, será de 16 mm^2 en caso de ser de cobre o acero galvanizado. Si no tienen protección contra la corrosión, su grosor, en caso de ser de cobre, será de 25 mm^2 , y si es hierro, de 50 mm^2 . En todo caso, los conductores siempre deben ser capaces de drenar la máxima corriente que pueda circular, sin quedar perjudicados en sus características.

3) Bornes de puesta a tierra. En toda instalación, debe preverse un borne principal de tierra, al que se unirán: los conductores de tierra, los conductores de protección, los conductores de unión equipotenciales principales y los conductores de puesta a tierra funcionales, si son necesarios. Hay que prever, también, sobre los conductores de tierra y en lugar accesible, un dispositivo que permita medir la resistencia de la toma de tierra correspondiente.

4) Conductores de protección. Son conductores que unen las diversas masas de una instalación con el borne de puesta a tierra, con la finalidad de asegurar la protección contra contactos indirectos. Hasta 16 mm^2 , los conductores de protección tendrán la misma sección que los de fase, entre $16\text{-}35 \text{ mm}^2$ de fase, el de protección será, al menos, también de 16 mm^2 , y a partir de ahí, su sección será la mitad de los conductores de fase. Estos valores sólo son válidos para conductores de materiales equivalentes. En el caso de un conductor de protección común a varios circuitos, estará dimensionado para la fase de mayor sección.

5) Puesta a tierra por razones de protección. La incorporación de los conductores de protección en la misma canalización que los conductores activos es preceptiva.

6) Puesta a tierra por razones funcionales. Es necesario asegurar el correcto funcionamiento del equipo y, al mismo tiempo, que la instalación tenga un funcionamiento correcto y fiable. En caso de que la puesta a tierra sea necesaria a la vez por razones funcionales y de protección, siempre prevalecerán las prescripciones de las medidas de protección.

7) Conductores de equipotencialidad. El conductor principal de equipotencialidad debe tener una sección no inferior a la mitad de la del conductor de protección de sección mayor de la instalación, con un mínimo de 6 mm^2 , aunque puede ser reducida a $2,5 \text{ mm}^2$ si es de cobre. Si el conductor suplementario de equipotencialidad uniera una masa a un elemento conductor, su sección no puede ser inferior a la mitad de la del conductor de protección unido a esta masa.

8) Resistencia de las tomas de tierra. El valor de la resistencia de la toma de tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V en emplazamientos conductivos, y a 50 V en los demás casos.

9) Tomas de tierra independientes. Dos tomas de tierra se consideran independientes cuando una de ellas no alcanza una tensión superior a 50 V respecto a un punto de potencial cero, y por la otra circula la máxima corriente de defecto prevista.

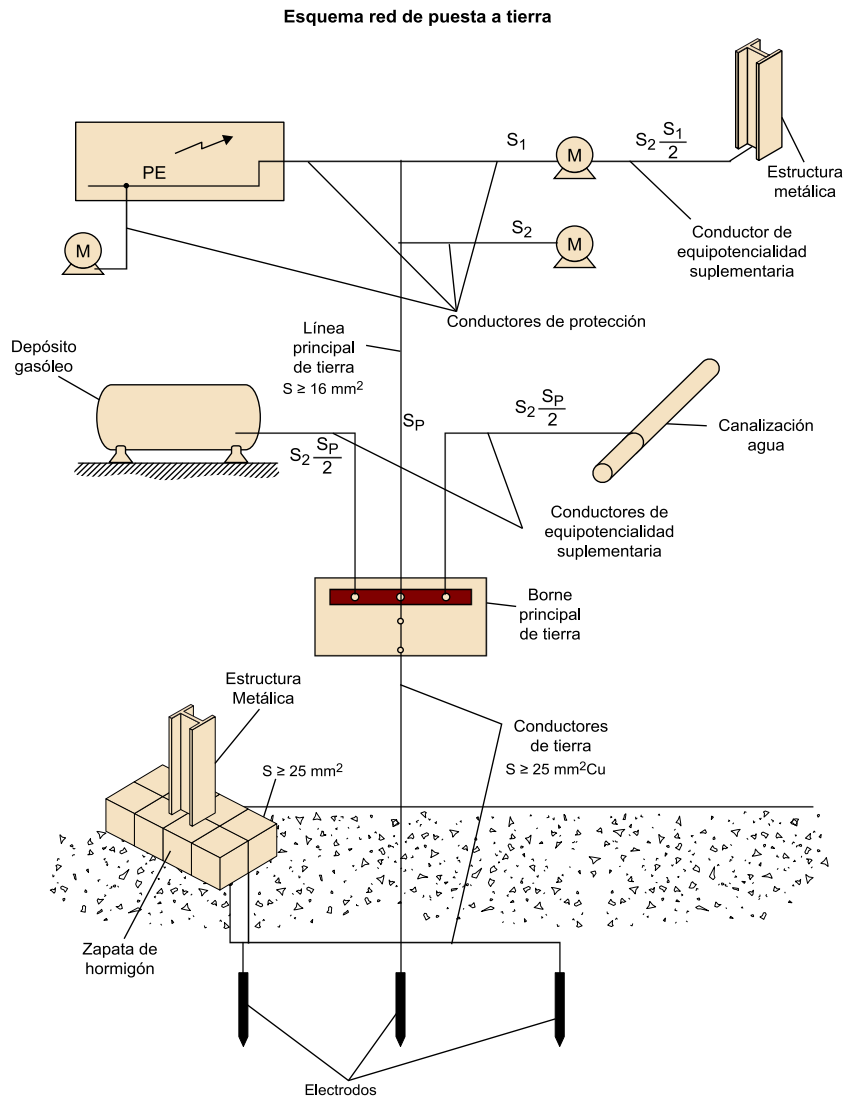
10) Revisión de las tomas de tierra. Se realizará al menos una revisión anual, en la época en que el terreno esté más seco. En caso de terrenos agresivos para la conservación de los electrodos, tanto éstos como los cables de enlace se descubrirán cada 5 años.

El edificio tendrá un circuito de protección general de puesta a tierra, donde se conectarán todas las masas de los diferentes aparatos. En este sistema se unirá la estructura del edificio en general y con una resistencia de tierra total no superior a 2Ω .

La puesta a tierra de todos los elementos que constituyen la instalación eléctrica partirá del colector barra de puesta a tierra, situada en el QGBT, que irá unido a la red principal de puesta a tierra de la que habrá que dotar al edificio.

Lectura de referencia

Para este último punto, consultar ITC. BT-18 p. 12.



Sección mínima conductores de protección	
S_F (mm^2)	S_{PE} (mm^2)
$S_F \geq 16$	$S_{PE} = S_F$
$16 \leq S_F \leq 35$	$S_{PE} = 16$
$S_F > 35$	$S_{PE} = \frac{S_F}{2}$

6.3.2. Protección contra sobrecargas

Todo circuito ha de estar protegido contra los efectos de las sobrecargas que puedan presentarse en el mismo. Para ello, estará dimensionado para las sobrecargas previsibles y su interrupción del mismo habrá de realizarse en un tiempo conveniente.

Las sobrecargas pueden estar motivadas por:

- Sobrecargas debidas a los aparatos conectados o defectos de aislamiento de gran impedancia.
- Cortocircuitos.

- Descargas eléctricas atmosféricas.

Protección contra sobrecargas. El límite de intensidad de corriente admisible en un conductor ha de quedar garantizado por el dispositivo de protección utilizado en cualquier circunstancia. Y este dispositivo podrá estar constituido por un interruptor automático de corte omnipolar con curva térmica de corte, o por cortocircuitos (fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas).

6.3.3. Protección contra cortocircuitos

En el origen de todo circuito hay que establecer un dispositivo de protección contra cortocircuitos, cuya capacidad de corte esté de acuerdo con la intensidad que se prevea que puedan tener éstos en el punto de su conexión. Se admite, no obstante, que cuando se trate de circuitos derivados de uno principal, cada uno de estos circuitos derivados disponga de protección contra sobrecargas, mientras que un sólo dispositivo general pueda asegurar la protección contra cortocircuitos de todos los circuitos derivados.

Se admiten, como dispositivos de protección contra cortocircuitos, los fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas y los interruptores automáticos con sistema de corte omnipolar.

El cálculo de la corriente de cortocircuito está basado en la ley de Ohm y en el supuesto de que es un sistema trifásico equilibrado, cuyas impedancias y tensión permanezcan constantes. Tiene dos variantes:

- Método de los valores óhmicos: se deben reducir todas las impedancias a una tensión común.
- Método de los valores porcentuales (o tanto por uno = p.u.): se deben reducir todas las impedancias a una base común (por ejemplo, P_B), o lo que es lo mismo, a una intensidad base.

No es objeto de este curso profundizar en los métodos de cálculo, pero sí llamar la atención, en este caso, sobre la importancia de efectuar el cálculo de las corrientes de cortocircuito que puedan producirse en cada punto de la protección. De esta manera, se podrán dimensionar correctamente los fusibles o los interruptores magnetotérmicos de cada circuito con el poder de corte adecuado y, así, se evitarán riesgos de accidente por un corte inoperativo que implicaría sobrecalentamientos con riesgo de incendio o efectos mecánicos perniciosos.

Lectura de referencia

La Norma UNE 20.460 -4-43 recoge en su articulado todos los aspectos requeridos para esto.

6.3.4. Protección contra contactos directos

Esta protección consiste en tomar medidas destinadas a proteger a las personas contra los peligros que pueden derivarse de un contacto con las partes activas de los materiales eléctricos. Salvo indicación contraria, los medios a utilizar vienen expuestos y definidos en la Norma UNE 20.460 -4-41, y habitualmente son:

- Protección por aislamiento de las partes activas.
- Protección por medio de barreras o envolventes.
- Protección por medio de obstáculos.
- Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento.
- **Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual.**
- **Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual.** Esta medida de protección está destinada solamente a complementar otras medidas de protección contra los contactos directos.

El empleo de dispositivos de corriente diferencial-residual, cuyo valor de corriente diferencial asignada de funcionamiento sea inferior o igual a 30 mA, se considera una medida de protección complementaria, tanto en caso de fallo de otra medida física de protección contra los contactos directos como en caso de imprudencia de los usuarios. Cuando se prevea que las corrientes diferenciales pueden ser no senoidales (como, por ejemplo, en salas de radiología intervencionista), los dispositivos de corriente diferencial-residual utilizados serán de clase A, ya que estos aseguran la desconexión tanto para corrientes alternas senoidales como para corrientes continuas pulsantes. Sin embargo, la utilización de tales dispositivos no constituye por sí misma una medida de protección completa y requiere del empleo de una de las medidas de protección enunciadas para evitar contactos directos.

6.3.5. Protección contra los contactos indirectos

Protección por corte automático de la alimentación

Los contactos indirectos ocurren cuando partes no activas de una instalación o equipo reciben tensión a través de un fallo del aislamiento que define su condición normal.

El corte automático de la alimentación tras de la aparición de un fallo, está destinado a impedir que una tensión de contacto de valor suficiente se mantenga durante un tiempo tal que pueda resultar un riesgo.

Lectura de referencia

Para este apartado, se utilizará como referencia lo indicado en Norma UNE 20.572 -1.

En condiciones normales, la tensión límite convencional se establece en 50 V, que es un valor eficaz en corriente alterna. Sin embargo, en ciertas condiciones pueden especificarse valores límite menos elevados, (como por ejemplo, 24 V) para las instalaciones de alumbrado público contempladas en la ITC-BT-09, apartado 10.

Debe existir una adecuada coordinación entre el esquema de conexiones a tierra de la instalación (utilizando los descritos en la ITC-BT-08) y las características de los dispositivos de protección. Debe, asimismo, preverse una temporización graduada en el disparo de los relés, para cortar el problema en el lugar donde se produce sin perjudicar, con disparos accidentales otros servicios que no deben verse afectados.

Con todo, los disparos y desconexiones intempestivas por relé diferencial ocurren, a veces, por causas que no son fáciles de localizar:

- **Corrientes de fuga de alta frecuencia.** Según la normativa Europea CEM, los equipos electrónicos deben eliminar los parásitos o armónicos de AF que generan, para lo cual se emplean filtros. Éstos originan una corriente de alta frecuencia, que se descarga a la red de tierra, es proporcional a los armónicos que se eliminan de la red y se superpone a la corriente de fuga normal de 50 Hz, aumentando su nivel, por lo que se anticipa el disparo del diferencial. Es el caso de los balastos electrónicos, reguladores de luminosidad, etc.
- **Corrientes de fuga permanentes.** Ocasionadas por los filtros antiparásitos (50 Hz) de los receptores electrónicos, compuestos básicamente por un rectificador y el condensador de puesta a tierra del filtro. En un circuito monofásico, estas fugas se suman. Por eso **es preciso conocer la fuga permanente que genera cada equipo y limitar el número de equipos a la capacidad del diferencial.**
- **Corrientes provocadas por sobretensiones transitorias.** Producidas por la maniobra de un equipo de cierta capacidad o el disparo de un elemento de protección, cualquier arco eléctrico, etc. **La fuga a tierra transitoria se genera al producirse un cambio brusco de tensión, a través de todas las capacidades existentes en la red** (como las de los filtros antiparásitos y las de los propios cables). Un ejemplo típico es el disparo por "simpatía".
- **Sobretensiones de origen atmosférico, como el rayo.**

En otras ocasiones, puede producirse un bloqueo o riesgo de no actuación:

- **Corrientes de fuga de alta frecuencia.** El funcionamiento del relé de disparo del diferencial depende de la frecuencia de la corriente de fuga detectada por el toroidal.

- **Corrientes de fuga con componente continua (pulsante).** Una señal de componente continua no posee componente negativa, por lo que el ciclo de histéresis del toroidal no es completo.
- **Bajas temperaturas.** Las bajas temperaturas alteran las propiedades magnéticas de los toroidales y es posible que el diferencial no dispare.

Por todo ello, es evidente que la protección no es suficiente si no va acompañada de una vigilancia preventiva.

Ved también

La vigilancia preventiva se desarrolla en extenso en la unidad 10.

Sistemas de protección según esquemas de conexión

A continuación, se reiteran aquellos aspectos más significativos que deben reunir los sistemas de protección, en función de los distintos esquemas de conexión de la instalación, según la ITC-BT-08, y que la Norma UNE 20.460 -4-41 define en cada caso.

Esquema TN-S

Para asegurarse de que el potencial del conductor de protección se mantiene, en caso de fallo, lo más próximo posible al de tierra, en estos esquemas puede ser necesaria una puesta a tierra múltiple, en puntos repartidos con regularidad. Por la misma razón, se recomienda conectar el conductor de protección a tierra en el punto de entrada de cada edificio.

Dado que el potencial de tierra es el mismo para el neutro y para el conductor de protección, las características de los dispositivos de protección y las secciones de los conductores han de tener en cuenta que, si se produce un fallo en cualquier lugar, la impedancia entre un conductor de fase y el conductor de protección o una masa, es despreciable.

Esquema TT

Todas las masas de los equipos eléctricos protegidos por un mismo dispositivo de protección, deben ser interconectadas y unidas por un conductor de protección a una misma toma de tierra. Si varios dispositivos de protección van montados en serie, esta prescripción se aplica por separado a las masas protegidas por cada dispositivo. El punto neutro de cada generador o transformador, debe ponerse a tierra.

Esquema IT

En el esquema IT, la instalación debe estar aislada de tierra. Esta conexión se efectúa bien sea en el punto neutro de la instalación, si está montada en estrella, o en un punto neutro artificial. Ningún conductor activo debe poderse conectar a tierra en la instalación. Las masas deben conectarse a tierra, bien sea individualmente o por grupos.

7. Diseño para locales de pública concurrencia

En esta unidad examinaremos las instrucciones específicas para las instalaciones eléctricas en hospitales, considerados como edificios de pública concurrencia, básicamente centradas en asegurar el alumbrado de emergencia y los servicios de comunicaciones para la seguridad en general de sus ocupantes.

Un hospital es un "edificio de pública concurrencia" por excelencia. Por eso, muchos artículos de la ITC 28 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión se refieren a casos hospitalarios. En este sentido, el objetivo del REBT es garantizar, de la mejor manera posible y con la máxima fiabilidad, la seguridad de las personas, pacientes, visitantes y personal en general. Así, para un edificio complejo como un hospital, en el que se pueden crear situaciones de emergencia si falla el suministro normal de electricidad, prevé que hay que disponer de medios alternativos, en especial para alumbrar ambientes asistenciales de trabajo críticos, para identificar rutas de evacuación, para alimentar servicios esenciales de seguridad y comunicaciones, etc. y, además, determina cuál debe ser la iluminación mínima y el tiempo de autonomía de las fuentes propias alternativas.

A todo esto, cabe añadir que, a diferencia de la anterior versión del REBT, en la vigente se separa la instrucción específica para quirófanos y salas de intervención, que cuenta ahora con un articulado especial en la ITC BT 38, y que trataremos más adelante.

Como resumen de lo que aparece en el REBT, diremos que:

Los servicios de emergencia y preferentes, en caso de fallo del suministro normal, serán alimentados por conmutación automática al suministro complementario duplicado de las acometidas de la compañía. En caso de doble fallo, serán alimentados por los generadores de emergencia u otras fuentes propias de energía. En la ITC BT se prescribe la fiabilidad del alumbrado de emergencia en las distintas acepciones y utilizaciones.

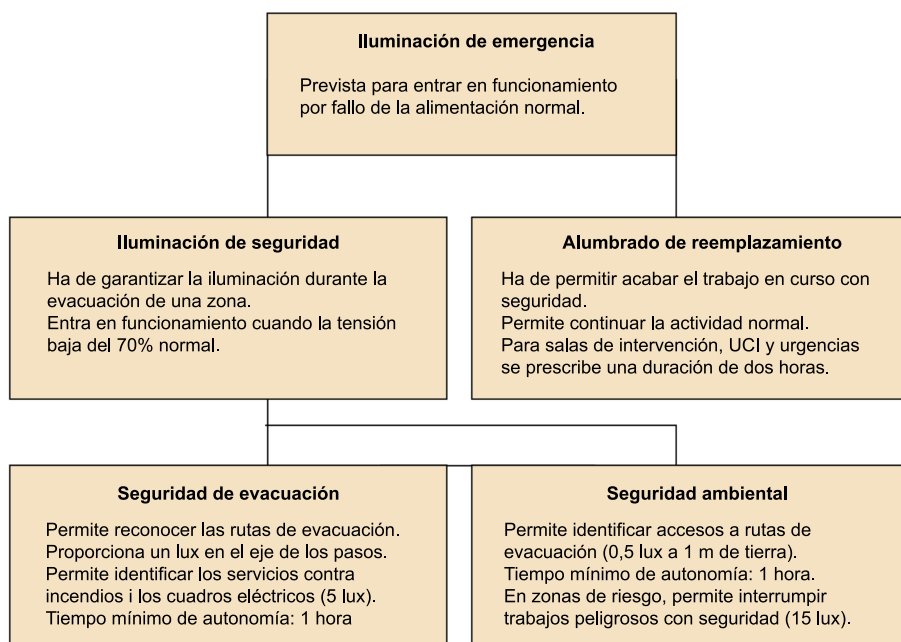
Las señalizaciones de rutas de evacuación, así como el alumbrado ambiente de seguridad, y según el apartado 3 de la ITC 28, estarán servidas por luminarias autónomas con baterías como solución más generalizada.

El **aluminado de reemplazamiento**, alimentado por fuentes propias de energía, será obligatorio en salas de intervención, UCI, urgencias y, en general, donde se practique alguna actividad médica que precise luz de ambiente para realizarse con seguridad, sin riesgo para las personas. El suministro debe de hacerse desde la red de SAI.

Los **servicios de seguridad y de comunicaciones** de voz y datos tendrán una alimentación de red estabilizada por SAI, con nivel de corte cero.

Los **sistemas aislados de tierra IT**, sin riesgo de corte inoportuno por interruptor diferencial, serán previstos específicamente según la ITC BT 38, para quirófanos, salas de intervención y equipos de asistencia vital.

A continuación podemos ver un resumen esquemático de los diferentes casos de alumbrado de emergencia para resumir brevemente los conceptos y prescripciones de la Instrucción ITC BT 28 que, en cualquier caso, hay que leer entera para cada uno de los detalles y normas asociadas.



Esquema-diagrama-resumen de las prescripciones de fiabilidad y autonomía en alumbrado de emergencia.

Fragmentos seleccionados pertenecientes a la ITC BT 28

Los fragmentos seleccionados a continuación pertenecen a la ITC BT 28.

La **negrita** es nuestra.

ITC BT 28

1. Campo de aplicación

La presente Instrucción se aplica a locales de pública concurrencia:

- Cualquiera que sea su capacidad de ocupación, como por ejemplo, cines, teatros, auditorios, estadios, pabellones (.../...).

Locales de reunión, trabajo y **usos sanitarios**:

- Cualquiera que sea su ocupación, los siguientes: (.../...) **hospitales, ambulatorios y sanatorios** (.../...).

Para las instalaciones en quirófanos y salas de intervención se establecen requisitos particulares en la ITC-BT-38.

Esta Instrucción tiene por objeto garantizar la correcta instalación y funcionamiento de las instalaciones-servicios de seguridad, en especial aquellas dedicadas a alumbrado que faciliten la evacuación segura de las personas o la iluminación de puntos vitales de los edificios.

2. Alimentación de los servicios de seguridad

En el presente apartado se definen las características de la alimentación de los servicios de seguridad tales como alumbrados de emergencia, sistemas contra incendios, ascensores u otros servicios urgentes indispensables que están fijados por las reglamentaciones específicas de las diferentes autoridades competentes en materia de seguridad.

La alimentación para los servicios de seguridad, en función de lo que establezcan las reglamentaciones específicas, puede ser automática o no automática.

En una alimentación automática la puesta en servicio de la alimentación no depende de la intervención de un operador.

Una alimentación automática se clasifica, según la duración de conmutación, en las siguientes categorías:

- **Sin corte:** alimentación automática que puede estar asegurada de forma continua en las condiciones especificadas durante el periodo de transición, por ejemplo, en lo que se refiere a las variaciones de tensión y frecuencia.
- **Con corte muy breve:** alimentación automática disponible en 0,15 segundos como máximo.
- **Con corte breve:** alimentación automática disponible en 0,5 segundos como máximo.
- **Con corte mediano:** alimentación automática disponible en 15 segundos como máximo.
- **Con corte largo:** alimentación automática disponible en más de 15 segundos.

2.1 Generalidades y fuentes de alimentación

Para los servicios de seguridad, la fuente de energía debe ser elegida de forma que la alimentación esté asegurada durante un tiempo apropiado.

Para que los servicios de seguridad funcionen en caso de incendio, los equipos y materiales utilizados deben presentar, por construcción o por instalación, una resistencia al fuego de duración apropiada.

Se elegirán preferentemente medidas de protección contra los contactos indirectos sin corte automático al primer defecto. En el esquema IT debe preverse un controlador permanente de aislamiento que al primer defecto emita una señal acústica o visual.

Los equipos y materiales deberán disponerse de forma que se facilite su verificación periódica, ensayos y mantenimiento.

Se pueden utilizar las siguientes fuentes de alimentación:

- Baterías de acumuladores. Generalmente, las baterías de arranque de los vehículos no satisfacen las prescripciones de alimentación para los servicios de seguridad.
- Generadores independientes.
- Derivaciones separadas de la red de distribución, efectivamente independientes de la alimentación normal.

Las fuentes propias de energía para servicios complementarios o de seguridad deben estar instaladas en lugar fijo y de forma que no puedan ser afectadas por el fallo de la fuente

- Se instalarán en emplazamiento apropiado, accesible solamente a las personas cualificadas o expertas.
- El emplazamiento estará convenientemente ventilado, de forma que los gases y los humos que produzcan no puedan propagarse en los locales accesibles a las personas.
- No se admiten derivaciones separadas, independientes y alimentadas por una red de distribución pública, salvo si se asegura que las dos derivaciones no puedan fallar simultáneamente.
- Cuando exista una sola fuente para los servicios de seguridad, ésta no debe ser utilizada para otros usos. Sin embargo, cuando se dispone de varias fuentes, pueden utilizarse igualmente como fuentes de reemplazamiento, con la condición, de que en caso

de fallo de una de ellas, la potencia todavía disponible sea suficiente para garantizar la puesta en funcionamiento de todos los servicios de seguridad, siendo necesario generalmente, el corte automático de los equipos no concernientes a la seguridad.

2.2 Fuentes propias de energía

Fuente propia de energía es la que está constituida por baterías de acumuladores, aparatos autónomos o grupos electrógenos.

La puesta en funcionamiento se realizará al producirse la falta de tensión en los circuitos alimentados por los diferentes suministros procedentes de la Empresa o Empresas distribuidoras de energía eléctrica, o cuando aquella tensión descienda por debajo del 70% de su valor nominal.

La capacidad mínima de una fuente propia de energía será, como norma general, la precisa para proveer al alumbrado de seguridad en las condiciones señaladas en el apartado 3.1 de esta Instrucción.

2.3 Suministros complementarios o de seguridad

Todos los locales de pública concurrencia deberán disponer de alumbrado de emergencia.

Deberán disponer de suministro de socorro los locales de espectáculos y actividades recreativas, cualquiera que sea su ocupación, y los locales de reunión, trabajo y usos sanitarios con una ocupación prevista de más de 300 personas.

Deberán disponer de suministro de reserva:

- **Hospitales, clínicas, sanatorios, ambulatorios y centros de salud.**
- Estaciones de viajeros y aeropuertos.
- Estacionamientos subterráneos para más de 100 vehículos.

Cuando un local se pueda considerar tanto en el grupo de locales que requieren suministro de socorro como en el grupo que requieren suministro de reserva, se instalará suministro de reserva

En aquellos locales singulares, tales como los establecimientos sanitarios, grandes hoteles de más de 300 habitaciones, locales de espectáculos con capacidad para más de 1.000 espectadores, estaciones de viajeros, estacionamientos subterráneos con más de 100 plazas, aeropuertos y establecimientos comerciales o agrupaciones de éstos en centros comerciales de más de 2.000 m² de superficie, las fuentes propias de energía deberán poder suministrar, con independencia de los alumbrados especiales, la potencia necesaria para atender servicios urgentes indispensables cuando sean requeridos por la autoridad competente.

3. Alumbrado de emergencia

Las instalaciones destinadas a alumbrado de emergencia tienen por objeto asegurar, en caso de fallo de la alimentación al alumbrado normal, la iluminación en los locales y accesos hasta las salidas, para una eventual evacuación del público o iluminar otros puntos que se señalen.

La alimentación del alumbrado de emergencia será automática con corte breve.

Se incluyen dentro de este alumbrado el alumbrado de seguridad y el alumbrado de reemplazamiento.

3.1 Alumbrado de seguridad

Es el alumbrado de emergencia previsto para garantizar la seguridad de las personas que evacuen una zona o que tienen que terminar un trabajo potencialmente peligroso antes de abandonar la zona.

El alumbrado de seguridad estará previsto para entrar en funcionamiento automáticamente cuando se produce el fallo del alumbrado general o cuando la tensión de éste baje a menos del 70% de su valor nominal.

La instalación de este alumbrado será fija y estará provista de fuentes propias de energía. Sólo se podrá utilizar el suministro exterior para proceder a su carga, cuando la fuente propia de energía esté constituida por baterías de acumuladores o aparatos autónomos automáticos.

3.1.1 Alumbrado de evacuación

Es la parte del alumbrado de seguridad previsto para garantizar el reconocimiento y la utilización de los medios o rutas de evacuación

En rutas de evacuación, el alumbrado de evacuación debe proporcionar, a nivel del suelo y en el eje de los pasos principales, una iluminancia horizontal mínima de 1 lux.

En los puntos en los que estén situados los equipos de las instalaciones de protección contra incendios que exijan utilización manual y en los cuadros de distribución del alumbrado, la iluminancia mínima será de 5 lux.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en el eje de los pasos principales será menor de 40.

El alumbrado de evacuación deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante una hora, proporcionando la iluminancia prevista.

3.1.2 Alumbrado ambiente o anti-pánico

Es la parte del alumbrado de seguridad previsto para evitar todo riesgo de pánico y proporcionar una iluminación ambiente adecuada que permita a los ocupantes identificar y acceder a las rutas de evacuación e identificar obstáculos.

El alumbrado ambiente o anti-pánico debe proporcionar una iluminancia horizontal mínima de 0,5 lux en todo el espacio considerado, desde el suelo hasta una altura de 1 m.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en todo el espacio considerado será menor de 40.

El alumbrado ambiente o anti-pánico deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante una hora, proporcionando la iluminancia prevista.

3.1.3 Alumbrado de zonas de alto riesgo

Es la parte del alumbrado de seguridad previsto para garantizar la seguridad de las personas ocupadas en actividades potencialmente peligrosas o que trabajan en un entorno peligroso. Permite la interrupción de los trabajos con seguridad para el operador y para los otros ocupantes del local.

El alumbrado de las zonas de alto riesgo debe proporcionar una iluminancia mínima de 15 lux o el 10% de la iluminancia normal, tomando siempre el mayor de los valores.

La relación entre la iluminancia máxima y la mínima en todo el espacio considerado será menor de 10.

El alumbrado de las zonas de alto riesgo deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo el tiempo necesario para abandonar la zona.

3.2 Alumbrado de reemplazamiento

Parte del alumbrado de emergencia que permite la continuidad de las actividades normales.

Cuando el alumbrado de reemplazamiento proporcione una iluminancia inferior al alumbrado normal, se usará únicamente para terminar el trabajo con seguridad.

3.3 Lugares en que deberán instalarse alumbrado de emergencia

3.3.1 Con alumbrado de seguridad

Es obligatorio situar el alumbrado de seguridad en las siguientes zonas de los locales de pública concurrencia:

a) en todos los recintos cuya ocupación sea mayor de 100 personas.

- b) los recorridos generales de evacuación de zonas destinadas a usos residencial u hospitalario y los de zonas destinadas a cualquier otro uso que estén previstos para la evacuación de más de 100 personas.
- c) en los aseos generales de planta en edificios de acceso público.
- d) en los estacionamientos cerrados y cubiertos para más de 5 vehículos, incluidos los pasillos y las escaleras que conduzcan desde aquellos hasta el exterior o hasta las zonas generales del edificio.
- e) en los locales que alberguen equipos generales de las instalaciones de protección.
- f) en las salidas de emergencia y en las señales de seguridad reglamentarias.
- g) en todo cambio de dirección de la ruta de evacuación.
- h) en toda intersección de pasillos con las rutas de evacuación.
- i) en el exterior del edificio, en la vecindad inmediata a la salida
- j) cerca de las escaleras, de manera que cada tramo de escaleras reciba una iluminación directa.
- k) cerca de cada cambio de nivel.
- l) cerca de cada puesto de primeros auxilios.
- m) cerca de cada equipo manual destinado a la prevención y extinción de incendios.
- n) en los cuadros de distribución de la instalación de alumbrado de las zonas indicadas anteriormente

En las zonas incluidas en los apartados m) y n), el alumbrado de seguridad proporcionará una iluminancia mínima de 5 lux al nivel de operación.

Solo se instalará alumbrado de seguridad para zonas de alto riesgo en las zonas que así lo requieran, según lo establecido en 3.1.3.

También será necesario instalar alumbrado de evacuación, aunque no sea un local de pública concurrencia, en todas las escaleras de incendios, en particular toda escalera de evacuación de edificios para uso de viviendas excepto las unifamiliares; así como toda zona clasificada como de riesgo especial.

3.3.2 Con alumbrado de reemplazamiento

En las zonas de hospitalización, la instalación de alumbrado de emergencia proporcionará una iluminancia no inferior de 5 lux y durante 2 horas como mínimo. Las salas de intervención, las destinadas a tratamiento intensivo, las salas de curas, parturitorios, urgencias dispondrán de un alumbrado de reemplazamiento que proporcionará un nivel de iluminancia igual al del alumbrado normal durante 2 horas como mínimo.

3.4 Prescripciones de los aparatos para alumbrado de emergencia

3.4.1 Aparatos autónomos para alumbrado de emergencia

Luminaria que proporciona alumbrado de emergencia de tipo permanente o no permanente en la que todos los elementos, tales como la batería, la lámpara, el conjunto de mando y los dispositivos de verificación y control, si existen, están contenidos dentro de la luminaria o a una distancia inferior a 1 m de ella.

Los aparatos autónomos destinados a alumbrado de emergencia deberán cumplir las Normas UNE-EN 60.598 – 2-22 y la Norma UNE 20.392 o UNE 20.062, según sea la luminaria para lámparas fluorescentes o incandescentes, respectivamente.

3.4.2 Luminaria alimentada por fuente central

Luminaria que proporciona alumbrado de emergencia de tipo permanente o no permanente y que está alimentada a partir de un sistema de alimentación de emergencia central, es decir, no incorporado en la luminaria.

Las luminarias que actúan como aparatos de emergencia alimentados por fuente central deberán cumplir lo expuesto en la Norma UNE-EN 60.598 -2-22.

Los distintos aparatos de control, mando y protección generales para las instalaciones del alumbrado de emergencia por fuente central entre los que figurará un voltímetro de clase 2,5 por lo menos, se dispondrán en un cuadro único, situado fuera de la posible intervención del público.

Las líneas que alimentan directamente los circuitos individuales de los alumbrados de emergencia alimentados por fuente central, estarán protegidas por interruptores automáticos con una intensidad nominal de 10 A como máximo. Una misma línea no podrá alimentar más de 12 puntos de luz o, si en la dependencia o local considerado existiesen varios puntos de luz para alumbrado de emergencia, éstos deberán ser repartidos, al menos, entre dos líneas diferentes, aunque su número sea inferior a doce.

Las canalizaciones que alimenten los alumbrados de emergencia alimentados por fuente central se dispondrán, cuando se instalen sobre paredes o empotradas en ellas, a 5 cm como mínimo, de otras canalizaciones eléctricas y, cuando se instalen en huecos de la construcción estarán separadas de éstas por tabiques incombustibles.

4. Prescripciones de carácter general

Las instalaciones en los locales de pública concurrencia cumplirán las condiciones de carácter general que a continuación se señalan:

a) Especificación para cables de distribución eléctrica en locales de pública concurrencia (Es una instrucción de la nueva edición del REBT, que tiene por objetivo mejorar las condiciones de seguridad ante incendios).

Los cables y sistemas de conducción de cables deben instalarse de manera que no se reduzcan las características de la estructura del edificio en la seguridad contra incendios. Los cables eléctricos a utilizar en las instalaciones de tipo general y en el conexionado interior de cuadros eléctricos en este tipo de locales, serán no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida. Los cables con características equivalentes a las de la Norma UNE 21.123 parte 4 ó 5; o a la Norma UNE 21.1002 (según la tensión asignada del cable), cumplen con esta prescripción. Los elementos de conducción de cables con características equivalentes a los clasificados como "no propagadores de la llama" de acuerdo con las normas UNE-EN 50.085-1 y UNE-EN 50.086-1, cumplen con esta prescripción. Los cables eléctricos destinados a circuitos de servicios de seguridad no autónomos o a circuitos de servicios con fuentes autónomas centralizadas, deben mantener el servicio durante y después del incendio, siendo conformes a las especificaciones de la Norma UNE-EN 50.200 y tendrán emisión de humos y opacidad reducida. Los cables con características equivalentes a la Norma UNE 21.123 partes 4 ó 5, apartado 3.4.6, cumplen con la prescripción de emisión de humos y opacidad reducida.

b) Las fuentes propias de energía de corriente alterna a 50 Hz no podrán dar tensión de retorno a la acometida o acometidas de la red de baja tensión pública que alimenten al local de pública concurrencia.

8. Diseño para locales de riesgo especial

En esta unidad abordaremos la definición de las áreas especiales de riesgo en un hospital y las medidas de protección, en seguridad y en fiabilidad, establecidas en la Instrucción técnica ITC BT 38 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y la Norma UNE 20460-7-710.

8.1. Consideraciones previas. Áreas de riesgo especial

En un hospital, existen áreas o zonas con diverso grado de criticidad o de riesgo. No obstante, y de hecho, todas sus áreas deberían recibir una consideración especial, sea por su condición de **edificio de pública concurrencia** (es decir, frecuentado por un número significativo de personas), sea por su condición de edificio para la **atención sanitaria** de diagnóstico, tratamiento y hospitalización.

En todo caso, lo que sí es cierto es que dentro de un hospital algunas zonas revisten un grado más alto de criticidad que otras y éstas se califican como **áreas de riesgo especial**. Así, de un modo estricto, podemos definir las áreas de riesgo como aquellas en las que un paciente, por su condición de enfermo, está más expuesto a peligros añadidos. Estos peligros pueden deberse a unas condiciones ambientales no adecuadas a su situación de bajo nivel de defensas (riesgo desde el punto de vista ambiental), o a defectos de varios tipos en la instalación eléctrica que alimenta a los equipos de electromedicina con los que se diagnostica y trata al paciente (riesgos desde el punto de vista eléctrico y funcional).

Las instalaciones eléctricas tienen cada vez más importancia en los centros sanitarios, debido al constante aumento de equipos médicos alimentados eléctricamente (equipos de electromedicina), que han permitido mejorar enormemente las técnicas de diagnóstico (con sofisticados sistemas de diagnóstico por imagen, por ejemplo), tratamiento (hemodiálisis, radioterapias) e intervención (operaciones de cirugía invasiva y no invasiva).

Por todas esas razones, en estas áreas es esencial tomar todas las medidas de protección posibles para minimizar y controlar los riesgos asociados a la instalación eléctrica.

Podemos distinguir entre varios posibles tipos de riesgos eléctricos:

- Fallos que ponen en peligro los equipos o su funcionalidad, cuando de ello depende la seguridad del paciente o del personal implicado en su cura.

- Fallos en la utilización de receptores invasivos.
- Riesgos de incendio o explosión (sobre todo si se usan agentes anestésicos gaseosos o desinfectantes inflamables).
- El riesgo derivado de la falta momentánea o prolongada del propio suministro eléctrico.

Entendemos por receptor invasivo aquel aparato eléctrico que penetra parcial o completamente en el interior del cuerpo, bien por un orificio o través de la superficie corporal. O bien, aquel equipo que, por su utilización endocavitaria, pudiera presentar riesgo de microdescarga sobre el paciente.

Por ello, en estos casos se prevén sistemas de red equipotencial, puesta a tierra, transformadores de aislamiento, separación de líneas activas, etc. con las debidas protecciones genéricas contra sobreintensidades y contra contactos indirectos.

Por eso mismo, también, son muy importantes la monitorización y los sistemas de alarma de los parámetros fundamentales de la seguridad eléctrica, tal como expondremos más adelante.

Ved también

La monitorización se trata con más detalle en la unidad 9.

Respecto al riesgo de incendio o explosión, es necesario que las áreas que los revistan estén acondicionadas con suelos antielectrostáticos y que se aseguren una ventilación de >15 renovaciones/hora. Esto garantizará que el ambiente no sea considerado explosivo (a pesar de que actualmente ya no se suelen emplear anestésicos explosivos, cosa que podemos constatar en la ficha de seguridad del producto anestésico).

Finalmente, y por lo que respecta al riesgo de corte de suministro, en un hospital (como hemos visto) se diseñarán los sistemas eléctricos, con la **adecuada redundancia** en:

- **Equipos de media tensión** (acometidas, transformadores).
- Equipo de baja tensión (grupos electrógenos, sistemas de alimentación ininterrumpida).

8.2. Definición normativa de las áreas de riesgo

La Norma UNE 20460-7-710 establece los criterios de riesgo para determinar los sistemas de protección en salas hospitalarias.

Esta Norma UNE es la equivalencia de la Norma IEC 364-7-710. Sin embargo, y como pertenece al REBT, ésta tiene un valor reglamentario superior. El Reglamento se inspira en los conceptos normalizados por la UNE 20460, pero aquí sólo consideraremos los aspectos de esta norma que complementen al Reglamento, el cual tiene, en cualquier caso, rango superior de obligado cumplimiento.

La Norma define las clases de salas de riesgo y las clasifica en:

- **Salas clase 0:** son aquellas en las que no se utilizan equipos de electromedicina aplicados al paciente, o se utilizan equipos de tipo portátil (que pudieran ser usados, por tanto, fuera del recinto sanitario).
- **Salas clase 1:** son aquellas en las que se utilizan equipos de electromedicina aplicados a partes exteriores o fluidos corporales del paciente.
- **Salas clase 2:** son aquellas en las que se utilizan equipos electromédicos que pueden aplicarse al corazón y en general, por extensión, los que aplican técnicas invasivas (se entiende que directa o indirectamente).

Existe una tendencia a considerar salas de tipo 2 a aquellas que, estrictamente, la Norma consideraría como clase 1 (hemodiálisis, hospital de día quirúrgico, endoscopias, broncoscopias, salas de partos).

Un planteamiento de este tipo, más exigente, hace que la instalación eléctrica sea más compleja, pero permite también una mayor flexibilidad en la utilización de los locales de riesgo.

Los quirófanos y salas de intervención son el prototipo de la clase 2. Allí se requieren condiciones especiales de seguridad del suministro eléctrico, por lo que se utilizan circuitos con líneas de alimentación sin referencia a tierra, mediante transformadores de aislamiento. Éstos proporcionan protección contra los contactos indirectos, sin interrumpir la alimentación al primer defecto a tierra y, por tanto, son adecuados en aquellas instalaciones en las que una interrupción imprevista de servicio podría ocasionar graves problemas durante una intervención. Estas salas son, seguramente, las de mayores riesgos y en ellas se basa la Instrucción ITC BT 38 del Reglamento. Sin embargo, conviene tener presentes otras salas, donde se desarrollan actividades que merecen también consideración de críticas por uno u otro motivo, y que la ITG BT 38 califica como "salas de intervención".



A continuación, ofrecemos un resumen esquemático de otras áreas críticas del hospital y las recomendaciones de instalación eléctrica para su óptima seguridad y fiabilidad.

El Reglamento no determina una clasificación de los locales de uso médico, por lo que su interpretación es delicada. En ese sentido, la UNE 20460 tampoco se compromete demasiado, ya que se limita a una determinada orientación como sugerencia en su anexo B. En cualquier caso, la clasificación ha de realizarse de acuerdo con el cuerpo médico del hospital, con el Departamento de Sanidad y, aunque la Norma no lo dice, se entiende que en esta clasificación han de participar los especialistas en electromedicina que guardan una estrecha relación con el cuerpo médico. Sea como sea, a la hora de confeccionarla es recomendable consultar con el Departamento de Industria de la comunidad autónoma correspondiente y elevar las consultas a este órgano competente para que se pronuncie oficialmente.

Como propuesta básica de interpretación podemos listar y agrupar los locales en:

Recintos considerados como salas de intervención

- Quirófanos. Se usan procedimientos quirúrgicos invasivos.
- Antequirófanos. Se prepara al paciente para la realización de procedimientos quirúrgicos y se pueden aplicar anestésicos.
- Salas de parto. Proceso de parto en el que se puede llegar a practicar una cesárea, por tanto, donde potencialmente se usan procedimientos quirúrgicos invasivos.

- Salas de reanimación quirúrgica. En el despertar post-anestesia se emplean procedimientos de recuperación del paciente tras un proceso quirúrgico y podrían emplearse desfibriladores con presencia de anestésico.
- UCI, UVI y UCI pediátricas. Procedimientos de cuidados y de vigilancia intensiva, de monitorización, diagnóstico y terapia, tanto adulta como pediátrica, donde se pueden emplear procedimientos invasivos.
- Salas con procedimientos cardiológicos especiales como ecografía transesofágica, marcapasos, hemodinámica, electrofisiología etc. Por tanto, con procedimientos invasivos. La sala de hemodinámica intervencionista tiene las características de un quirófano.
- Hemodiálisis. Es un proceso terapéutico extracorpóreo de depuración sanguínea extra-renal y se lo considera procedimiento invasivo.
- Salas de radiodiagnóstico no convencional: angiógrafo, TAC, resonancia magnética, etc. Son procesos de diagnóstico por imagen mediante radiaciones ionizantes o campos magnéticos, donde se pueden utilizar procedimientos terapéuticos como sedación, anestesia, desfibrilador, etc.
- Salas de radioterapia: acelerador de electrones. Son procesos terapéuticos por radiaciones ionizantes. Pueden utilizar procedimientos terapéuticos invasivos.
- Salas de endoscopias. Procesos de diagnóstico por imagen de cavidades internas, habitualmente, por vía natural. También se aplican procesos terapéuticos por electro cirugía, por tanto, invasivos.
- Algunos boxes definidos como de cuidados críticos y reanimación de urgencias.

Recintos no considerados como salas de intervención

- Salas de parto y dilatación.
- Salas de radiodiagnóstico convencional: salas de RX convencionales, telemando, mamógrafo, etc. Son procesos de diagnóstico por imagen mediante radiaciones ionizantes, sin otros procedimientos.
- Rehabilitación por hidroterapia. Son procesos hidroterapéuticos, con agua, vapor, arcilla, arena, etc.
- Ecografía convencional. Diagnóstico por imagen ultrasónica, mediante sondas no invasivas o mínimamente invasivas.

- Hospitalización.
- Salas de ECG (electrocardiografía), EEG (electroencefalografía) EMG (electromiografía), EHG (electrohisterografía). No se consideran.

8.3. La Instrucción ITC BT 38 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

La exposición ordenada de las condiciones de diseño de las áreas de riesgo en el hospital están contenidas en la Instrucción complementaria ITC BT 38 del vigente Reglamento REBT. Su aportación fundamental respecto a la versión anterior reside en la obligación de alimentar, con continuidad de dos horas, no solamente la lámpara central sino también los equipos de asistencia vital. Además, amplía el concepto de quirófano a las llamadas salas de intervención.

Adolece, sin embargo, de falta precisión al definir las áreas de riesgo (que define mejor la Norma UNE 20460) y tampoco describe los equipos de asistencia vital, manteniendo conceptos de la versión anterior (de 1973) ya superados ampliamente por las circunstancias y por la tecnología. Por ejemplo: en el uso de baterías para asegurar la continuidad de suministro eléctrico, cuando los equipos SAI de alimentación ininterrumpida pueden mejorar esas prestaciones, en un corte breve de 0,5 segundos con el que se conformaría el Reglamento, según su redactado. En ese sentido, otro punto discutible es el de la autonomía de esta alimentación ininterrumpida, ya que si además se dispone de fuentes propias de energía (grupos electrógenos, de alimentación con "corte medio" de 15 segundos) podría reducirse la autonomía de la alimentación ininterrumpida a una hora (tiempo prudencial) como, de hecho, contempla la Norma 20460-7-710/562.2.1.

Críticas aparte, es importante considerar la ITC BT 38 como base legislativa y acogerse a lo dispuesto en los objetivos del REBT, en los que no hay que olvidar que se admiten las soluciones equivalentes que mejoren las prescripciones reglamentarias, si bien estas mejoras deben justificarse adecuadamente ante la autoridad competente. Comentamos, a continuación, las prescripciones de la Instrucción ITC BT 38.

Medidas de protección

2.1.1 Puesta a tierra de protección

La instalación eléctrica de los edificios con locales para la práctica médica y en concreto para quirófanos o salas de intervención, deberán disponer de un suministro trifásico con neutro y conductor de protección. Tanto el neutro como el conductor de protección serán conductores de cobre, tipo aislado, a lo largo de toda la instalación. La impedancia entre el embarrado común de puesta a tierra de cada quirófano o sala de intervención y las conexiones a masa, o los contactos de tierra de las bases de toma de corriente, no deberá exceder de 0,2 ohmios.

Aunque la alimentación del quirófano se haga a través de un transformador de aislamiento con un esquema IT, no significa que las masas metálicas de los quirófanos y salas de intervención no deban estar conectadas a tierra (con resistencia inferior a 0,2 ohmios) en una red que se une a la equipotencial y que recoge el cuadro eléctrico de la sala.

2.1.2 Conexión de equipotencialidad

Todas las partes metálicas accesibles han de estar unidas al embarrado de equipotencialidad, mediante conductores de cobre aislados e independientes. La impedancia entre estas partes y el embarrado (EE) no deberá exceder de 0,1 ohmios.

Se deberá emplear la identificación verde-amarillo para los conductores de equipotencialidad y para los de protección.

El embarrado de equipotencialidad (EE) estará unido al de puesta a tierra de protección por un conductor aislado con la identificación verdeamarillo, y de sección no inferior a 16 mm² de cobre.

La diferencia de potencial entre las partes metálicas accesibles y el embarrado de equipotencialidad (EE) no deberá exceder de 10 mV eficaces en condiciones normales.

ITC BT 38

La red equipotencial, con resistencia inferior a 0,1 ohmios en este caso, conecta todas las masas metálicas accesibles. Su objetivo es que no aparezca ni la más mínima tensión entre ellas (< 10 mV) que pudiera provocar una minidescarga.

2.1.3 Suministro a través de un transformador de aislamiento

Es obligatorio el empleo de transformadores de aislamiento o de separación de circuitos, como mínimo uno por cada quirófano o sala de intervención, para aumentar la fiabilidad de la alimentación eléctrica a aquellos equipos en los que una interrupción del suministro puede poner en peligro, directa o indirectamente, al paciente o al personal implicado y para limitar las corrientes de fuga que pudieran producirse

Se realizará una adecuada protección contra sobreintensidades del propio transformador y de los circuitos por él alimentados. Se concede importancia muy especial a la coordinación de las protecciones contra sobreintensidades de todos los circuitos y equipos alimentados a través de un transformador de aislamiento, con objeto de evitar que una falta en uno de los circuitos pueda dejar fuera de servicio la totalidad de los sistemas alimentados a través del citado transformador.

El transformador de aislamiento y el dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento, cumplirán la Norma UNE 20.615.

Se dispondrá de un cuadro de mando y protección por quirófano o sala de intervención, situado fuera del mismo, fácilmente accesible y en sus inmediaciones.

Éste deberá incluir la protección contra sobreintensidades, el transformador de aislamiento y el dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento. Es muy importante que en el cuadro de mando y panel indicador del estado del aislamiento, todos los mandos queden perfectamente identificados y sean de fácil acceso. El cuadro de alarma del dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento deberá estar en el interior del quirófano o sala de intervención y ser fácilmente visible y accesible, con posibilidad de sustitución fácil de sus elementos.

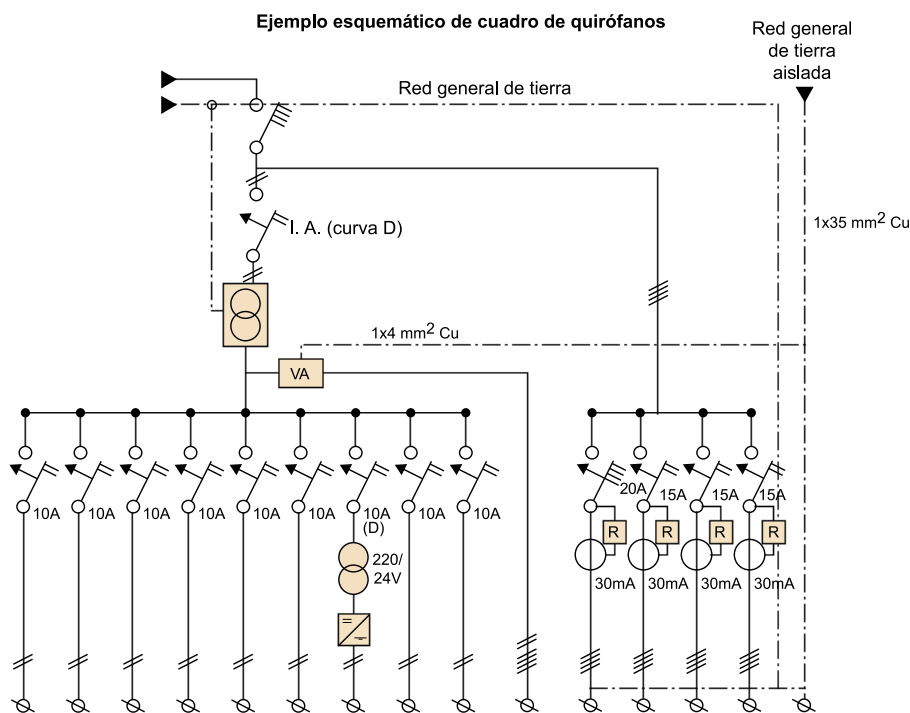
ITC BT 38

Cada sala de intervención dispondrá de un cuadro eléctrico propio, normalmente de entre 5 y 7,5 kVA de potencia (excepto en quirófanos de cirugía cardíaca que integren como equipamiento la circulación extracorpórea, en cuyo caso la potencia sería de 10 kVA) con el transformador de aislamiento sin refe-

rencia a tierra para alimentar el sistema IT de la sala, y con un monitor del aislamiento que detecte y dé alarma del primer defecto, pero que no desconecte. No todos los equipos de la sala se alimentan a través del transformador, ya que algunos, como los de RX, tienen su toma de corriente independiente.

Todas las salidas de cuadro tendrán una protección contra sobrecorriente, y también habrá que monitorizar este parámetro, para evitar riesgos de corte por esta causa. Es recomendable, asimismo, vigilar la sobrecarga del transformador de aislamiento por medio de su temperatura.

La barra de tierras para conectar los conductores de protección y los de equipotencialidad estará en el cuadro y éste habrá de colocarse en un espacio técnico accesible, pero cuya instalación incluya una repetición de la monitorización y de las alarmas dentro de la sala.



2.1.4 Protección diferencial y contra sobrecorrientes

Se emplearán dispositivos de protección diferencial de alta sensibilidad ($\leq 30 \text{ mA}$) y de clase A, para la protección individual de aquellos equipos que no estén alimentados a través de un transformador de aislamiento, aunque el empleo de los mismos no exime de la necesidad de puesta a tierra y equipotencialidad.

Se dispondrán las correspondientes protecciones contra sobrecorrientes.

Los dispositivos alimentados a través de un transformador de aislamiento no deben protegerse con diferenciales en el primario ni en el secundario del transformador.

ITC BT 38

La Instrucción prevé que en la sala pueda haber equipos de asistencia no vital o, como en el caso de los RX antes mencionado, que no estén alimentados por el sistema IT. En este caso, debe preverse una protección diferencial, pe-

ro es necesario señalar que los que estén alimentados por transformador de aislamiento no pueden verse afectados por un corte debido a un interruptor diferencial

2.1.5 Empleo de muy baja tensión de seguridad

Las instalaciones con Muy Baja Tensión de Seguridad (MBTS) tendrán una tensión asignada no superior a 24 V en corriente alterna y 50 V en corriente continua y cumplirá lo establecido en la ITC-BT-36.

ITC BT 38

Se refiere a la alimentación de la lámpara central del quirófano, tradicionalmente alimentada también por baterías. Más adelante, cuando se prescribe el suministro complementario, se especifica que la salida de corriente para la lámpara sea parte del sistema IT del cuadro de quirófano.

2.2 Suministros complementarios

Además del suministro complementario de reserva requerido en la ITC-BT 28 será obligatorio disponer de un suministro especial complementario, por ejemplo con baterías, para hacer frente a las necesidades de la lámpara de quirófano o sala de intervención y equipos de asistencia vital, debiendo entrar en servicio automáticamente en menos de 0,5 segundos (corte breve) y con una autonomía no inferior a 2 horas. La lámpara de quirófano o sala de intervención siempre estará alimentada a través de un transformador de aislamiento).

Todo el sistema de protección deberá funcionar con idéntica fiabilidad tanto si la alimentación es realizada por el suministro normal como por el complementario.

Tanto la Norma 20468 como el REBT ITC BT 28 consideran y tipifican una clasificación de los locales en relación al corte de corriente que pueden admitir.

Una alimentación automática se clasifica, según la duración de conmutación, en las siguientes categorías:

- Sin corte: alimentación automática que puede estar asegurada de forma continua en las condiciones especificadas durante el periodo de transición, por ejemplo, en lo que se refiere a las variaciones de tensión y frecuencia.
- Con corte muy breve: alimentación automática disponible en 0,15 segundos como máximo.
- Con corte breve: alimentación automática disponible en 0,5 segundos como máximo.
- Con corte mediano: alimentación automática disponible en 15 segundos como máximo.
- Con corte largo: alimentación automática o manual disponible en más de 15 segundos.

ITC BT 38

Todas las salas de atención sanitaria de un hospital deberán ser alimentadas por las barras de emergencia del CGBT, que están conectadas a la fuente propia de energía que constituye el generador de emergencia (redundante) y que, automáticamente, va a restablecer la tensión en caso de fallo del suministro de la compañía, en menos de 15 segundos (clase 15). Su autonomía mínima ha de ser de 24 h.

Pero esto no es suficiente para determinadas actividades y funciones hospitalarias, que requieren una continuidad sin corte de la alimentación eléctrica. Hasta ahora, el Reglamento ha descrito la continuidad de suministro eléctrico con corte breve como la que puede proporcionar un equipo de baterías (tradi-

cionalmente, a la lámpara central del quirófano). Y la ITC sigue mencionando este equipo como una solución para los equipos de asistencia vital, que incluye dentro de la clase de servicios con corte breve.

Sin embargo, llegados a este punto, cabe señalar que un corte de 0,5 segundos puede ser una medida suficiente para los equipos de electromedicina normales, pero la tecnología moderna aplica cada vez más microprocesadores a equipos médicos más sofisticados, en cuyo caso lo recomendable y necesario es disponer de una continuidad sin corte.

Por eso, en lugar de baterías, la alimentación de continuidad de las salas de intervención se basará en sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI). La fiabilidad de este servicio como fuente propia de energía, en el caso de quirófanos y salas de intervención, se incrementa por dos vías. Por una parte, independizando el sistema de alimentación ininterrumpida de estas salas del SAI general, que alimenta la línea preferente distribuida por el hospital a diversos servicios esenciales. Y por otra parte, obteniendo una fiabilidad por redundancia, mediante un esquema en que la línea de alimentación de estas salas está servida por dos SAI redundantes de potencia adecuada para los equipos de asistencia vital, para la lámpara central y para el alumbrado de reemplazamiento.

La autonomía de estas fuentes propias de energía debe ser de 2 horas, lo cual podría ser discutible, según hemos apuntado antes en base a la UNE 20460.

Según sea la distancia a que se encuentren los equipos SAI, será recomendable vigilar las corrientes eventuales de defecto de las líneas de alimentación a cada cuadro de quirófano mediante un RCM, un monitor de simple aviso de corriente diferencial, sin desconexión.

2.3 Medidas contra el riesgo de incendio o explosión

Para los quirófanos o salas de intervención en los que se empleen mezclas anestésicas gaseosas o agentes desinfectantes inflamables, la figura 2 muestra las zonas G y M, que deberán ser consideradas como zonas de la clase I; zona 1 y clase I; zona 2, respectivamente, conforme a lo establecido en la ITC-BT-29.

La zona M, situada debajo de la mesa de operaciones (ver figura 2), podrá considerarse como zona sin riesgo de incendio o explosión cuando se asegure una ventilación de 15 renovaciones de aire/hora.

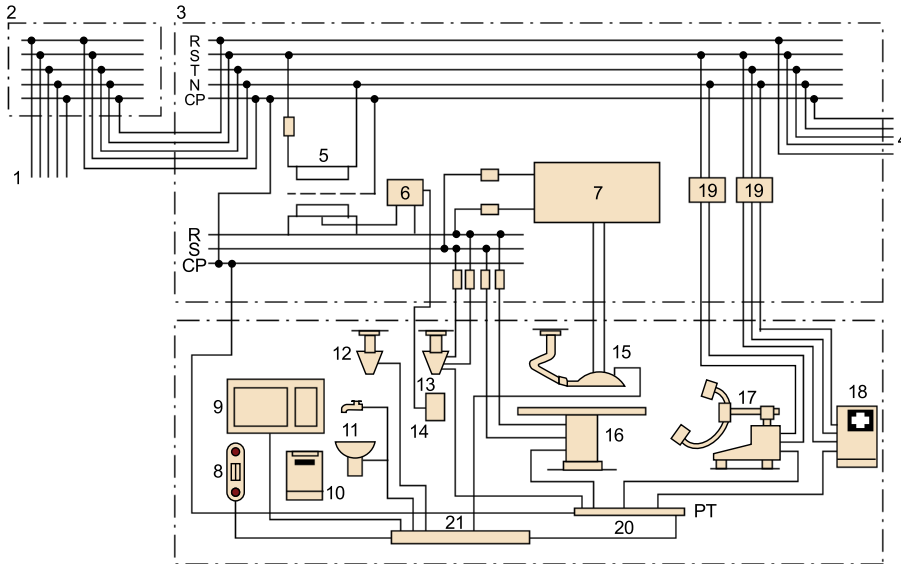
Los suelos de los quirófanos o salas de intervención serán del tipo antielectrostático y su resistencia de aislamiento no deberá exceder de 1 mohm, salvo que se asegure que un valor superior, pero siempre inferior a 100 mohm, no favorezca la acumulación de cargas electrostáticas peligrosas.

En general, se prescribe un sistema de ventilación adecuado que evite las concentraciones de los gases empleados para la anestesia y desinfección.

ITC BT 38

Se trata de una medida de protección que deriva de la National Fire Protection Association de EE. UU., a raíz de un accidente grave en un quirófano por una chispa electrostática que se produjo en un ambiente que tenía una concentración peligrosa de gases anestésicos. Actualmente ya no se aplican gases anesté-

sicos inflamables, pero se siguen manteniendo las prescripciones de los suelos semiconductores para descargar a tierra eventuales cargas electrostáticas, así como las conexiones de equipotencialidad, para evitar mínimas diferencias de tensión. Lo esencial, sin embargo, es la renovación de aire, que está especificada en más de 15 veces por hora, y la recomendación de la extracción de gases anestésicos por un sistema propio.



- 1 Alimentación general o línea general de alimentación.
- 2 Distribución en la planta o derivación individual.
- 3 Cuadro de distribución en la sala de operaciones.
- 4 Suministro complementario.
- 5 Transformador de aislamiento tipo médico.
- 6 Dispositivo de vigilancia de aislamiento o monitor de detección de fugas.
- 7 Suministro normal y especial complementario para alumbrado de lámpara de quirófano.
- 8 Radiadores de calefacción central.
- 9 Marco metálico de ventanas.
- 10 Armario metálico para instrumentos.
- 11 Partes metálicas de lavabos y suministro de agua.
- 12 Torreta aérea de tomas de suministro de gas.
- 13 Torreta aérea de tomas de corriente (con terminales para conexión equipotencial envolvente conectada al embarrado conductor de protección).
- 14 Cuadro de alarmas del dispositivo de vigilancia de aislamiento.
- 15 Mesa de operaciones (de mando eléctrico).
- 16 Lámpara de quirófano.
- 17 Equipos de rayos X.
- 18 Esterilizador.
- 19 Interruptor de protección diferencial.
- 20 Embarrado de puesta a tierra.
- 21 Embarrado de equipotencialidad.

2.4 Control y mantenimiento

2.4.1 Antes de la puesta en servicio de la instalación

La empresa instaladora autorizada deberá proporcionar un informe escrito sobre los resultados de los controles realizados al término de la ejecución de la instalación, que comprenderá, al menos:

- el funcionamiento de las medidas de protección.
- la continuidad de los conductores activos y de los conductores de protección y puesta a tierra.
- la resistencia de las conexiones de los conductores de protección y de las conexiones de equipotencialidad.
- la resistencia de aislamiento entre conductores activos y tierra en cada circuito.
- la resistencia de puesta a tierra.
- la resistencia de aislamiento de suelos antielectrostáticos, y
- el funcionamiento de todos los suministros complementarios.

ITC BT 38

Cuadro resumen de salas y prescripciones recomendadas

Área o sala	Transformador de aislamiento	Alimentación por SAI
Quirófanos	X	X
Antequirófono/Preanestesia	X	
Salas de intervención/Hemodinámica	X	X
Recuperación/Reanimación postoperatoria	X	
Partos	X	X
Urgencias, Box críticos, Reanimación	X	X
Cuidados Intensivos	X	X
Hospital de día quirúrgico	X	X
Endoscopias	X	
Diálisis	X	X
Neonatos	X	X

9. Diseño para el mantenimiento

En esta unidad resaltaremos la importancia que debemos conceder al mantenimiento en el diseño de un sistema o instalación y, además, lo fundamental que resulta la previsión de los elementos de asistencia al servicio de mantenimiento, ya que son los que permitirán garantizar las características de proyecto y las condiciones de seguridad y fiabilidad a lo largo de su vida útil. Por esa razón, proponemos diseñar sistemas de vigilancia predictiva que permitan identificar y anticiparse a cualquier problema en los sistemas eléctricos.

El mantenimiento de un suministro eléctrico seguro y fiable en los centros sanitarios es de vital importancia, tanto para el funcionamiento de los equipos electromédicos, quirúrgicos y de soporte vital como de los sistemas informáticos, de comunicación y de seguridad, o los equipos eléctricos de los servicios generales, como ascensores, climatización, alumbrado, etc.

Una instalación eléctrica puede estar correctamente diseñada siguiendo las prescripciones de reglamento y normas, pero no está exenta de riesgos durante su vida útil, sea por causas debidas a defectos de ejecución o por accidentes, envejecimiento o sobreutilización de las instalaciones.

Por encima de las exigencias de normas y reglamentos, que establecen el mínimo a cumplir en el diseño y servicio de una instalación eléctrica en hospitales y clínicas, el actual abanico de equipos eléctricos y electrónicos sensibles instalados, no solamente exige un buen diseño del sistema eléctrico, sino también un estricto mantenimiento preventivo y predictivo que asegure el servicio seguro y fiable de una instalación, la hospitalaria, que, actualmente, podemos definir como altamente compleja.

9.1. Mantenimiento de la disponibilidad de las fuentes de energía

En anteriores unidades hemos examinado las distintas fuentes de energía de las que depende todo el funcionamiento de un hospital. Y en todas las fuentes de energía estudiadas hemos subrayado la necesidad de dotar a los sistemas de una adecuada redundancia. Sin embargo, es necesario, también, que vigilemos la disponibilidad de esta redundancia. Así, en la instalación eléctrica de un hospital es fundamental comprobar la disponibilidad de la conmutación

automática de la alimentación de reserva en media tensión, controlando el estado de las baterías de las que depende esta maniobra. La señal de alarma de este equipo será transmitida al centro de control del sistema de gestión técnica.

Por su parte, la vigilancia predictiva de problemas en los transformadores es otra estrategia necesaria para asegurar su correcta operatividad. Y es de vital importancia controlar la temperatura, es un parámetro que hay que cuidar para que permanezca dentro de sus límites.

El arranque del grupo electrógeno es una operación que los servicios de mantenimiento regularmente comprueban, pero no está de más prever la transmisión al centro de control de cualquier alarma de disponibilidad del equipo de arranque.

Asimismo, y finalmente, es muy aconsejable mantener una vigilancia estricta del estado de los SAI, de las baterías que aseguran su autonomía y de otros parámetros de calidad de la corriente suministrada, enviando las señales y alarmas al centro de control.

Ved también

Podéis ver los SAI con más detalle en la unidad 4.

9.2. Mantenimiento de la seguridad

La seguridad eléctrica es una exigencia muy destacada en el Reglamento, y las protecciones contra sobreintensidad y contra contactos directos o indirectos se encargan de la desconexión del sistema en los casos en que los valores superan los límites de seguridad.

Pero ello no basta para los objetivos que nos hemos marcado, en los que la vigilancia predictiva de problemas es la estrategia que ha de permitir identificarlos a tiempo.

Los equipos consumidores que hoy nos encontramos conectados a los sistemas eléctricos, como son los equipos electrónicos con fuentes conmutadas (por ejemplo PC, impresoras, equipos electromédicos, etc.) así como accionamientos regulados de motores (por ejemplo, ascensores o aire acondicionado) o los sistemas electrónicos de encendido de la iluminación, generan corrientes de error que ya no tienen nada que ver con la teórica corriente senoidal a la que estamos acostumbrados. Hoy encontramos en la instalación eléctrica un amplio espectro con componentes de corriente continua y de armónicos superiores con las más diversas formas de onda, que debemos vigilar y, llegado el caso, corregir sus efectos nocivos.

La instalación eléctrica de un hospital es compleja. El "anticipo en la información" con una vigilancia centralizada, es un elemento esencial de ayuda para el mantenimiento preventivo y predictivo, y para evitar problemas que eventualmente puedan producirse por:

- **Sobrecarga en la red**, motivada por el permanente aumento de equipos consumidores, por la conexión de grandes cargas o la interconexión de distintas partes de la instalación. Esto puede llevar a la sobrecarga de conductores, la activación inoportuna de los dispositivos de protección y, en algunos casos en que no estén bien calibrados o fallen, a peligro de incendio o destrucción de partes de la instalación, etc.
- **Minima corriente** producida por rotura de cables o disparo de equipos de protección. Como consecuencia de esto se pueden producir paradas de parte de la instalación, sobrecalentamiento del conductor neutro, fallos funcionales, activación de contactores, peligro de incendio, etc.
- **Interrupción del conductor de protección**, producida por rotura de cables o por una instalación defectuosa. Consecuencia de ello es la posible aparición de corrientes peligrosas para las personas y la función errónea de los dispositivos de protección.
- **Armónicos superiores** producidos por consumidores no lineales y consumidores electrónicos. Estos armónicos producen calentamiento de cables, motores o condensadores, con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción. Además, también producen el desplazamiento de la tensión y alternación de funciones en otros consumidores.
- **Corrientes de defecto** producidas por fallos de aislamiento en la distribución o en los equipos consumidores. Esto produce peligro para las personas, riesgo de incendio, etc.
- **Corrientes vagabundas o parásitas** producidas por puentes entre el neutro y el conductor de protección. Éstas producen averías informáticas, corrosión, parpadeo de las pantallas, alteraciones inexplicables, etc.

Recordemos, ahora, los tres objetivos básicos de una instalación eléctrica en los hospitales:

- Alta seguridad de las personas.
- Fiabilidad del suministro eléctrico.
- Seguridad física de la instalación.

Por eso, y según nuestra propuesta, con una cuidadosa selección de protecciones y un sistema de monitorización, tanto para los esquemas de conexión IT en quirófanos y salas de intervención como para la instalación general con esquemas TT o TN-S se logra:

- Una completa protección de las personas y de la instalación contra corrientes de defecto.

- Una indicación a tiempo de condiciones de riesgo, minimizando interrupciones y accidentes.

Estamos habituados a los monitores de aislamiento de sistemas IT, los IMD, de las líneas activas respecto a tierra, que se diseñan rutinariamente para los cuadros eléctricos de los quirófanos y de las salas de intervención con sistemas aislados IT.

Los modernos monitores, sin embargo, añaden, a la vigilancia del aislamiento de las líneas, la vigilancia de la temperatura del transformador de aislamiento, ya que en algunos casos la sobrecarga en quirófanos puede llegar a provocar problemas de capacidad.

Pero no es tan habitual prever una vigilancia sistemática de otros parámetros en sistemas TT o TN-S, en los que eventualmente pueden ocasionarse problemas que con una adecuada vigilancia y monitorización se evitarían.

Dos ejemplos de avería por monitorización insuficiente

Un fallo de aislamiento en sistemas de conexión TN-S o TT.

Con una falla en algún punto de la instalación cuyas partes expuestas conductivas están conectadas a tierra por el conductor de protección, una corriente de defecto fluye a tierra con intensidad dependiente de la resistencia a tierra y de la gravedad del defecto. Si la protección por interruptor automático no reacciona y no corta la corriente –por no llegar la fuga de corriente a los valores que se han establecido en este punto para sobreintensidades y para cortocircuitos–, se producirá un calentamiento que progresivamente deteriorará el aislamiento.

La sobrecarga en el neutro.

Puede ser debida a armónicos causados por fuentes de alimentación de ordenadores, control electrónico de luminarias, *dimmers*, etc. En particular, la suma de los armónicos a 150 Hz puede provocar problemas de sobreintensidad en el neutro, cuya corriente puede superar la de los conductores activos y ser causa incluso de incendio en los bornes de los cuadros eléctricos de distribución, interrumpiendo el neutro y provocando ulteriores problemas de tensión.

En ambos casos, es claro que son aconsejables medidas adicionales de protección por vigilancia y monitorización automática de estos defectos.

Recordemos que en un sistema TN-S el conductor de protección está desenergizado, al tener una referencia a tierra al mismo potencial (cero) que el neutro de la instalación.

Se puede conseguir un sistema seguro con vigilancia predictiva por:

- Monitorización de las corrientes de defecto.
- Monitorización del conductor de protección contra sobrecarga o falta de continuidad.
- Monitorización de la conexión entre neutro y conductor de protección.
- Monitorización del conductor neutro, vigilando la continuidad y eventuales sobrecargas.
- Monitorización de sobreintensidad en líneas activas.

En principio, es aconsejable prever la conexión de un monitor RCM, según la Norma IEC 60755, a la salida de las líneas que, desde las barras del cuadro general de baja tensión, alimentan los cuadros secundarios distribuidos por el hospital. Y en estos cuadros secundarios, determinar los circuitos que alimentan cargas preferentes cuya fiabilidad deseamos reforzar para aplicarles, también, un RCM regulado que detecte los fallos con anticipación.

Con la vigilancia y monitorización permanente de los circuitos eléctricos de mayor relevancia, se dispone de la necesaria información anticipada, sobre los valores críticos que pudieran suponer riesgos para las personas, riesgos de incendio y/o fallos en la compatibilidad electromagnética, y se contribuye, así, a evitar interrupciones de servicio, alteraciones en los sistemas informáticos o costosas intervenciones de urgencia de los equipos de mantenimiento y servicios de asistencia técnica.

En ese sentido, las señales deberán conducirse por la red IP de comunicaciones hasta el centro de control, en algunos casos a través de una interfase. Los RCM estarán codificados para señalar su posición (que es lo mismo que señalar a mantenimiento) si, llegado el caso, hay algún parámetro que ha dado señal de alarma por desvío sobre los valores tolerables. Además, dará datos de utilidad sobre el registro histórico de incidencias/alarmas, para disponer de toda información sobre la evolución de la red de distribución eléctrica en el hospital.

10. La luz en los hospitales

En esta unidad examinaremos algunos espacios hospitalarios para resaltar la importancia de una correcta iluminación en su diseño ambiental.

La luz natural y la visión del exterior son condiciones de confort y bienestar que las modernas tendencias de diseño aceptan como fundamentales. Pero un hospital es un edificio que funciona 24 horas, todos los días de la semana. Por eso, es evidente que la luz artificial es necesaria, ya sea como alternativa o como complemento, en muchos locales y en muchas áreas del mismo. Las instalaciones de alumbrado tienen la gran responsabilidad de cubrir dignamente las necesidades de luz en cada uno de los espacios funcionales del hospital, teniendo en cuenta los siguientes objetivos básicos:

- **Confort.** Es necesario crear un ambiente confortable que contribuya al proceso de curación de los pacientes. Los pacientes que han de permanecer en un hospital acostumbran a padecer ansiedad en diversos grados. Y una de las causas es estar fuera de casa y de su entorno habitual. Por eso, una estrategia que consiste en dejar al paciente personalizar su ambiente, le permite sentirse mejor. La luz puede y debe crear un ambiente atractivo y relajante. La personalización ambiental por medio de la luz tiene grandes posibilidades que conviene tener en cuenta en el diseño. En áreas como las de diagnóstico, salas de espera, habitaciones de internación, etc. cabe diseñar la iluminación con soluciones imaginativas que nos permiten las nuevas fuentes de luz.



- **Bienestar y rendimiento.** Una correcta iluminación no solamente nos permite ver mejor. Afecta a cómo nos sentimos. El ritmo circadiano de alternancia de luz y oscuridad se sincroniza con nuestro reloj biológico. Una iluminación que proporcione una sensación de bienestar ayuda, sin duda, a los profesionales del equipo sanitario a desempeñar su labor con más calidad y eficiencia. En ese sentido, Philips desarrolló una estrategia de iluminación dinámica que, según el horario, va cambiando la intensidad y la

temperatura de color en áreas de trabajo nocturnas, como pueden ser las estaciones de enfermería. Un ejemplo de esto es el Área de Neonatología del hospital Jeroen Bosch, en Holanda, donde el turno de noche se inicia con una intensidad elevada, para ir decreciendo según avanza la noche, hasta llegar a la mitad al final del turno, con cambios de la tonalidad de la luz muy estudiados a lo largo de la noche. Según fuentes del hospital, esto ha elevado los niveles de concentración del personal, disminuye sensiblemente los errores y hace que las enfermeras duerman mejor después del trabajo.



- **Sostenibilidad.** Otro objetivo de las instalaciones de alumbrado es la sostenibilidad, y para ello se emplean materiales que no incidan negativamente en el medio ambiente, con soluciones de alta eficiencia y ahorro en los consumos energéticos. La eficiencia de las nuevas fuentes de luz, como los led, abren grandes posibilidades, y el perfeccionamiento de las luminarias aumenta el rendimiento global. Ajustar la luz a las necesidades reales de cada espacio es una responsabilidad del diseño global de la instalación de alumbrado, y controlar el tiempo de utilización de la iluminación, ajustado a la ocupación, reducirá significativamente los consumos. Aprovechar la luz diurna de la mejor manera posible para disminuir el consumo eléctrico de la luz artificial es otra estrategia que no debe olvidar el diseño. Tanto las luminarias, como los equipos y los controles han desarrollado tecnologías para ello.
- **Funcionalidad.** Muchos de los espacios que podemos encontrar en un hospital serán comunes a otros edificios de pública concurrencia, pero en el él tendrán particularidades específicas de su uso sanitario o del tipo de personas que frecuentan este edificio singular. Por descontado, hay áreas específicas exclusivas de los ambientes sanitarios con soluciones también exclusivas y funcionales relacionadas con su actividad asistencial.

A continuación detallamos algunas áreas especiales del hospital con una palabra clave que define la función de la luz y algunas propuestas opcionales que el diseño debe desarrollar.

Ved también

En la unidad 11 damos cuenta de los niveles de iluminancia recomendados y otros parámetros de calidad funcional de la luz, como la temperatura de color, el índice de deslumbramiento y el índice de reproducción cromática.

10.1. Áreas especiales

10.1.1. Áreas de acceso, hall y atrio principal: acogimiento y orientación

Una luz atractiva y armoniosa puede dar la bienvenida e inspirar confianza. Una buena iluminación de acento y señalización es, también, importante para que el paciente o el visitante hallen fácilmente su camino y se sientan cómodos en un hospital.

El **hall de acceso** y comunicación es un amplio espacio, casi siempre conectado a la cafetería y a las tiendas, desde donde se podrá acceder a la mayoría de áreas públicas del hospital. Las prioridades de diseño de la iluminación, aquí, serán las que dentro de una luz ambiente acogedora, con gran participación de luz natural, guíen a las personas y las orienten hacia su destino.

Esta ha de considerarse, además, como una zona de adaptación y paso desde un ambiente externo brillante (si es de día) o bien oscuro (si el acceso se hace de noche) al interior del edificio, por lo que una instalación de alumbrado dinámica, que proporcione unos niveles de iluminación automáticamente variables, será lo más recomendable.

El **mostrador de recepción** ha de destacarse en el espacio mediante la iluminación para que el ojo del recién llegado se dirija directamente hacia este sitio y, además, ha de contar con una iluminación muy funcional por las actividades que se desarrollan en él lectura, escritura, proceso de datos, etc.– pero, sobre todo, pensando en la comunicación personal.

10.1.2. Pasillos y áreas de circulación: orientación y guía

La función de los pasillos es la de relacionar los diferentes departamentos del hospital. El nivel de alumbrado de estas áreas debe coordinarse con el de las áreas adyacentes para evitar diferencias excesivas de iluminación cuando se pasa de una zona a otra. Además, ha de tenerse muy en cuenta que por determinados pasillos circulan camillas o sillas de ruedas que transportan pacientes en posición horizontal, por lo que las luminarias del techo deberían colocarse de forma asimétrica y con proyección de luz en paredes. El nivel de iluminación no debe ser excesivamente brillante pero tampoco es recomendable un nivel demasiado bajo, que puede provocar inseguridad. El alumbrado de pasillos y de áreas de comunicación debe estar, fundamentalmente, basado en la función de orientación y guía.

10.1.3. Salas de espera: relax

La zona del hospital en que la luz ambiente debe ser más cuidada es en las salas de espera. Aquí, tanto pacientes como visitantes pasan bastante tiempo y es donde reciben la primera impresión genérica del centro. El objetivo, así, es un alumbrado cálido, tranquilizante, que además refuerce la impresión de limpieza y orden. También es recomendable reproducir un ambiente doméstico relajante, con bastante luz indirecta. Cuando se pueden conectar estas áreas con el exterior, a través de ventanas, la combinación de luz natural y artificial resulta perfecta para mantener unos niveles uniformes de iluminancia de forma automática. Es interesante, además, proponer acentos de color por medio de fuentes de luz de led, para lograr un ambiente más alegre, y es muy agradable contar con una iluminación dinámica, con cambios de temperatura de color de la luz.

10.1.4. Salas de exploración y diagnóstico: ambientación

En estas salas, generalmente el paciente se siente desvalido, sin el apoyo de sus familiares y, en muchas ocasiones, sin contacto con el equipo sanitario. Una ambientación con iluminación de colores puede ayudar a distraer al paciente y a tranquilizarlo. En todo caso, en salas donde el paciente está sobre una camilla o sobre una mesa de exploración por rayos X o scanner, deben evitarse los deslumbramientos por luminarias de techo, las cuales, si se han previsto, deberán servir solamente para alumbrado de servicio.

10.1.5. Quirófanos y cuidados intensivos: funcionalidad

En quirófanos y salas de partos, donde la lámpara central puede dar una iluminancia de hasta 10.000 lux, es necesario subrayar que la iluminación general de la sala a través de luminarias de techo debe aportar una iluminancia de casi 2.000 lux alrededor de la mesa de operaciones y 1.000 lux en el resto de la sala. De esta manera se evitarán deslumbramientos y problemas de adaptación del ojo humano a estos niveles de luminancia tan contrapuestos.

En cuidados intensivos es recomendable proyectar tres niveles de iluminancia: luz indirecta, luz directa para examen y tratamiento, y otro nivel superior para emergencia. En casos de monitorización de pacientes a través de ventanas de observación, el nivel de la sala de observación debe ser inferior al de la sala donde está el paciente para evitar reflejos. Para ello es aconsejable el uso de reguladores o *dimmers*.

Habitaciones de paciente: confort

Actualmente, el objetivo en el diseño de las habitaciones de los pacientes es el de recrear un ambiente doméstico acogedor, que permita, al mismo tiempo, la introducción de tecnología, procurando el confort del paciente y visitantes. De igual modo, también ha de favorecer el trabajo del personal sanitario

en la cabecera de la cama del paciente hospitalizado. Por eso, la iluminación indirecta hacia el techo es siempre un acierto, ya que crea una sensación de confort visual de descanso, y también lo es la de lectura directa sobre la cama, integrada junto a otros servicios (gases, comunicaciones, etc.) en las conocidas luminarias de cabecera. A todo esto, cabe añadir, además, una iluminación de examen focalizada. El control del alumbrado ha de ser personalizado y estar en manos del paciente, lo cual da una sensación superior de confort, y la regulación a través de *dimmers* es más que recomendable para aumentar, la sensación relax.

11. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

En esta unidad analizamos los requerimientos que impone el Código Técnico de la Edificación para la eficiencia energética de las instalaciones de alumbrado, dentro de unas calidades de luz que optimicen el confort del usuario.

Las tres normas que afectan a este tipo de instalaciones hospitalarias y, en general, a cualquier instalación en edificios de pública concurrencia son:

- Iluminación de interiores en lugares de trabajo. UNE EN 12464-12003.
- Reglamento Electrotécnico de Baja tensión. ITC BT 28 para locales de pública concurrencia.
- Código Técnico de la Edificación CTE DB HE 3. Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.

En las tres normativas encontramos los mismos principios básicos a tener en cuenta a la hora de diseñar una instalación de alumbrado. Estos son:

- **Iluminancia.** Nivel o intensidad media de una zona, iluminación medida en lux (lumens/m²).
- **Eficiencia energética.** VEEI en vatios/m² y 100 lux. El objetivo es aplicar la mínima energía para la máxima utilidad.
- **Confortabilidad visual.** UGR, nivel adecuado de iluminación con ausencia de brillos molestos.
- **Calidad de la luz.** Temperatura de color. Reproducción cromática.
- **Mantenimiento.** Condiciones de conservación de los equipos para mantener su rendimiento en el tiempo.

En este documento analizamos las prescripciones del Código Técnico CTE que, en su documento básico DB HE 3, se refiere no solamente a la eficiencia energética, sino también a la calidad de la luz definida por el índice de deslumbramiento UGR, la temperatura de color y el IRC (índice de reproducción cromática). Sin embargo, antes de entrar en las prescripciones del CTE, y para entender estos conceptos, procedemos a una revisión general de los parámetros que condicionan el diseño de los sistemas de alumbrado.

11.1. Cálculo de alumbrado de interiores

Se realiza en función de la iluminación media (E_m) en el plano de trabajo. Siendo éste un plano imaginario, podemos proponer, por ejemplo, 0,75 m sobre el nivel del suelo en el caso de trabajar sentado. Así, la E_m se calcula:

$$E_m = \frac{\Phi_{\text{total}}}{S} \cdot \eta \cdot f_m$$

E_m = iluminancia media en lux.
 Φ_{total} = flujo total en lm necesarios para obtener E_m
 η = factor de utilización para el plano de trabajo
 f_m = F_m = factor de mantenimiento
 S = superficie del local en m²

Un método sencillo es el propuesto en la ficha de cálculo que vemos a continuación (basado en los datos de los equipos de alumbrado y fuentes de luz facilitados por los fabricantes), donde:

K es el coeficiente del local, función de las dimensiones del mismo y del plano útil del trabajo.

$\rho_1 \rho_2 \rho_3$ son los coeficientes de reflexión del techo, paredes y suelo.

E_m es el nivel medio en lux; necesario en la estancia en cuestión.

E_{100} es el nivel medio en lux teniendo en cuenta el ensuciamiento, condiciones de funcionamiento, etc. (normalmente 1,25).

N_{100} nos indica el número de aparatos necesarios para 100 m² habiendo tenido en cuenta el factor de utilización.

N.º aparatos a instalar. A partir de N_{100} , debe hacerse una proporción a la superficie en cuestión.

Tener en cuenta la distribución uniforme de luz, sin zonas oscuras. Otros aspectos importantes son las luminancias y contrastes.

Cálculo de instalaciones de alumbrado

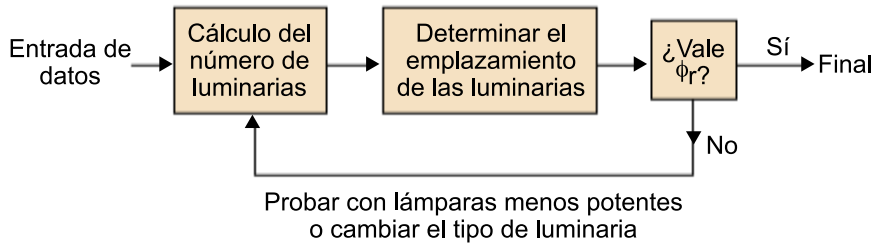
El cálculo de los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores es bastante sencillo. A menudo nos bastará con obtener el valor medio del alumbrado general usando el **método de los lúmenes**. Para los casos en que requiramos una mayor precisión o necesitemos conocer los valores de las iluminancias en algunos puntos concretos, como pasa en el alumbrado general localizado o el alumbrado localizado, recurriremos al **método del punto por punto**.

Método de los lúmenes

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se

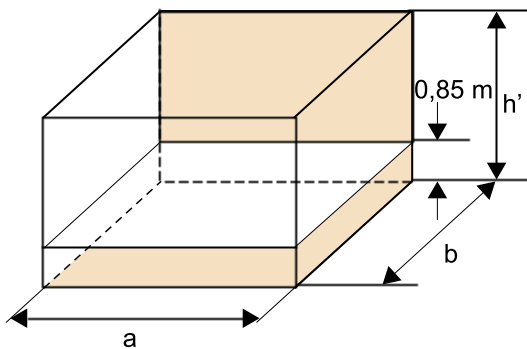
utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta, como ocurre en la mayoría de los casos.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:



Datos de entrada

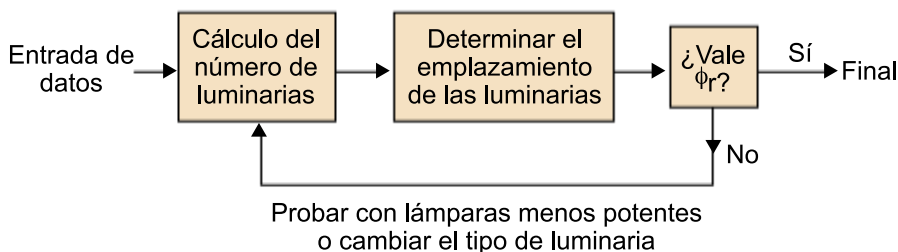
- Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0,85 m.



- Determinar el nivel de **iluminancia media** (E_m). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas y recomendaciones que aparecen en la bibliografía.
- Escoger el tipo de **lámpara** (incandescente, fluorescente...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.
- Escoger el **sistema de alumbrado** que mejor se adapte a nuestras necesidades y las **luminarias** correspondientes.
- Determinar la **altura de suspensión** de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.

Programas de cálculo

Existen numerosos programas de cálculo de alumbrado, pero es recomendable la experiencia personal para evaluar, con conocimiento de causa, cómo afectan las diferentes variables y constatar su implicación tanto técnica como económica.



11.2. Iluminancia

El primer parámetro de diseño es el nivel o intensidad de iluminación, o **iluminancia**, que va en función de la actividad a desarrollar. Como orientación, hemos tomado las tablas del IES y del US Department of Health, que son las más comúnmente aceptadas.

Situación	Alumbrado general (lux)	Alumbrado localizado (lux)
Aulas	500	600
Despachos y Salas de reuniones	500	
Controles	300 – 400	500
Pasillos y escaleras	200 – 300	
Utilities	200 – 300	500
Vestíbulos	200 – 300	
Salas de espera	200 – 300	
Consultorios	300 – 500	1.000
Laboratorios:	500	1.000
Salas de trabajo.	500	
Mesas de trabajo	500	700
Radiología.	400	
Administración	400 – 500	
Mantenimiento.	300	
Salas de máquinas	200	
Quirófanos	1.000	1.00000

Sin duda existen también otras consideraciones a tener en cuenta para un correcto diseño de la iluminación en los hospitales, como ya hemos explicado anteriormente.

Una de ellas, regulada por el Código Técnico de la Edificación, se refiere a la eficiencia energética de que debe gozar la instalación en pos de conseguir estos niveles de iluminación.

11.3. Eficiencia energética

La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona (cuyos mínimos para cada zona determina el CTE) se determina mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m^2) por cada 100 lux, mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = P \times 100 / S \times E_m$$

Siendo:

P la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares [W].

S la superficie iluminada [m^2].

E_m la iluminancia media horizontal mantenida [lux].

La eficiencia energética se consigue usando la mínima energía para una óptima utilidad.

En primer lugar, cabe señalar que tanto el CTE como la UNE 12464 reseñan, como primera medida de eficiencia energética, al aprovechamiento de la luz natural. La luz artificial, por tanto, ha de ser un complemento regulable con objetivos de optimización de consumos.

Otras consideraciones a tener en cuenta son:

- El rendimiento de las luminarias, entendido como el ratio entre el flujo de las lámparas y el flujo útil a la salida del reflector. Se considera eficiente a partir del 60%.
- Utilización de lámparas o fuentes de luz con eficacia luminosa Lm/W superior 60 Lm/W (fluorescencia).
- Utilización de balastos electrónicos de control de lámparas.
- Los VEEI límite en recintos interiores de un edificio que se establecen en la tabla 2.1.del CTE. Estos valores incluyen:
 - La iluminación general.
 - La iluminación de acento.

Pero no incluyen:

- Las instalaciones de iluminación ornamental.

Con el fin de establecer los correspondientes valores de eficiencia energética límite, las instalaciones de iluminación se identificarán, según el uso de la zona dentro de uno de los 2 grupos siguientes:

- Grupo 1: zonas de no representación o espacios donde predomina el criterio del nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética. Quedan relegados en un segundo plano: el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación.

- Grupo 2: zonas de representación o espacios donde predomina el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación. Quedan en un segundo plano: el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética.

Reproducimos parte de la tabla correspondiente, prescrita en el CTE, DB HE 3:

Grupo	Zona de actividad diferenciada	VEEI límite
Zonas de no representación	Administración en general	3,5
	Salas de diagnóstico y tratamiento	3,5
	Aulas y laboratorios	4,0
	Habitaciones de paciente	4,5
	Zonas comunes	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas, cocinas	5,0
Zonas de representación	Administración	6,0
	Religiosas	10,0
	Restauración	10,0
	Bibliotecas	6,0
	Salas de actos	10,0

El rendimiento energético dependerá de la fuente de luz y de la luminaria empleada.

Además, deberá tenerse en cuenta la regulación del consumo, por lo que el proyecto de iluminación de un hospital debe prever, para cada zona (según detalla el CTE en su DB HE3) un sistema de regulación y control con las siguientes condiciones:

Regulación y control

a) Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, cuando no disponga de otro sistema de control, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia o sistema de temporización.

b) Se instalarán sistemas de aprovechamiento de luz natural, que regulen el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural, en la primera línea paralela de luminarias situadas a una distancia inferior a 3 metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, en los siguientes casos:

b1) En las zonas de los grupos 1 y 2 que cuenten con cerramientos acristalados al exterior, cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

1.ª El ángulo de visión del cielo sea $T > 65^\circ$, siendo:

T ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo.

b2) En todas las zonas de los grupos 1 y 2 que cuenten con cerramientos acristalados a patios o atrios, cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

1.ª En el caso de patios no cubiertos cuando éstos tengan una anchura (a_i) superior a 2 veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre el suelo de la planta donde se encuentre la zona en estudio, y la cubierta del edificio.

En el caso de patios cubiertos por acristalamientos (atrios) cuando su anchura (a_i) sea superior a $2/T_c$ veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre el suelo de la planta donde se encuentre la zona en estudio, siendo T_c el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio del patio o atrio.

2.ª Cuando $T^* (A_w/A) > 0.07$ siendo:

T: coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno.

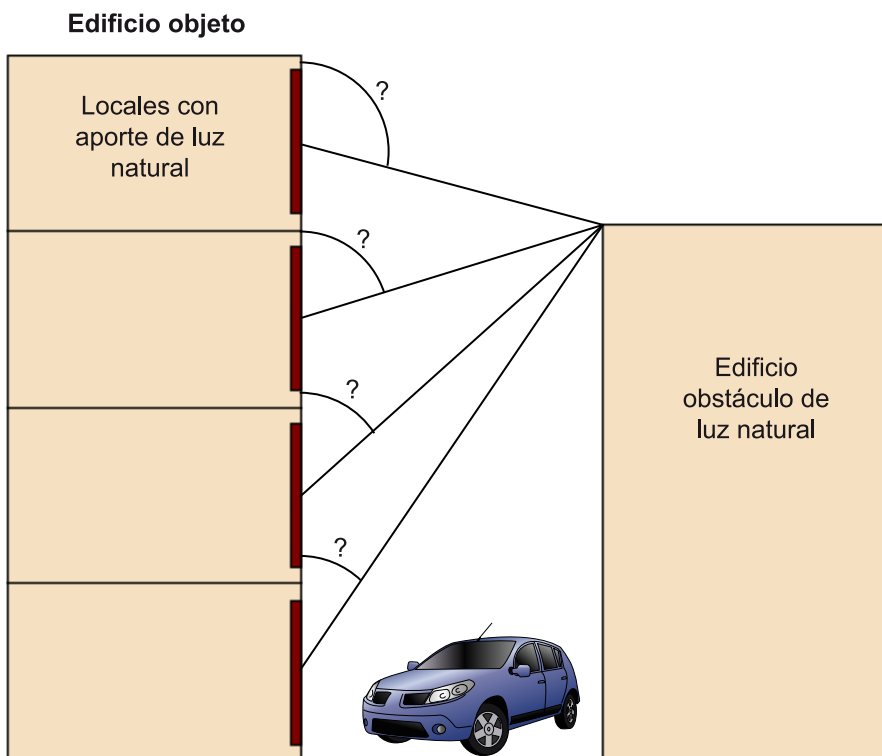
A_w : área de acristalamiento de la ventana de la zona (m^2).

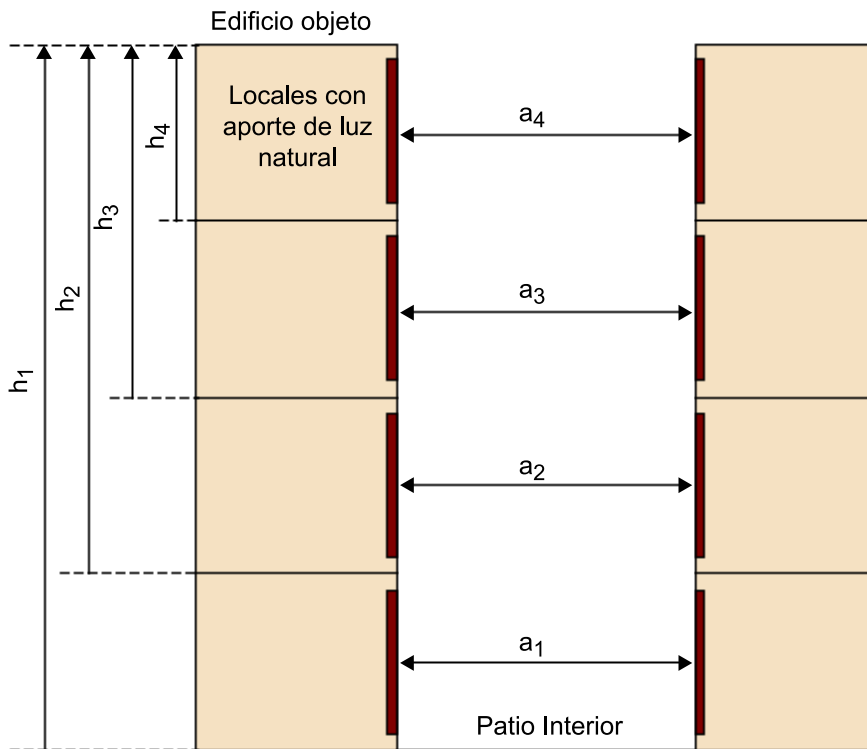
A: área total de las superficies interiores del local (m^2): (suelo + techo + paredes + ventanas).

CTE DB HE3

Quedan excluidas de cumplir las exigencias de los puntos anteriores, los siguientes recintos interiores de la tabla 2.1:

- Zonas comunes en edificios residenciales.
- Habitaciones de hospital.
- Habitaciones de hoteles, hostales, etc.
- Tiendas y pequeño comercio.





11.4. Confort visual

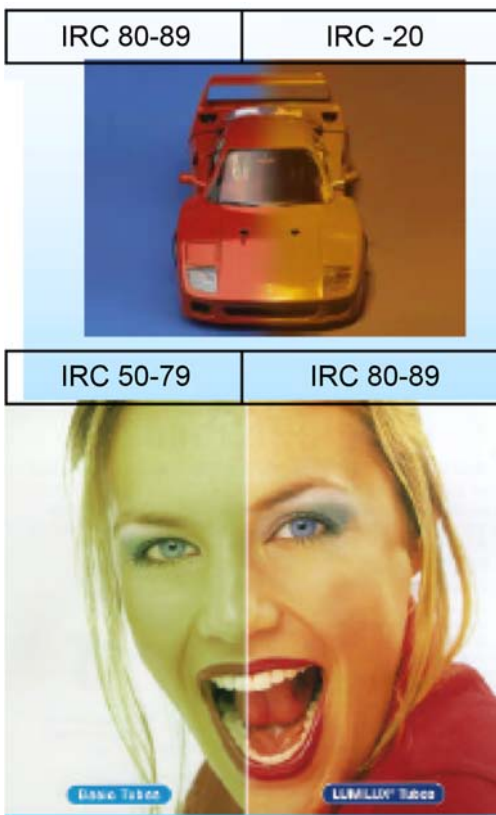
Uno de los objetivos prioritarios de confort visual es la ausencia de brillos molestos.

El UGR es el índice de deslumbramiento unificado y es el parámetro que mide el deslumbramiento molesto directo (de las luminarias), de una instalación de alumbrado interior. Se acostumbra a definir en cinco clases de calidad de luz, que hemos agrupado en la tabla adjunta de UGR relacionada con diversos usos típicos. En ese sentido, hay que señalar que las diferencias en $UGR < 1.0$ no son apreciables y que los valores indicados son siempre medias de UGR de sala.

UGR 16 Dibujo técnico
URG 19 Rellenar, copiar, escribir, mecnografiar, leer. Proceso de datos. CAD workstations. Salas de reuniones
URG 22 Mostrador de recepción
URG 25 Archivos y escaleras
URG 28 Áreas de paso y pasillos

11.5. Calidad de la luz

La calidad de la luz es el ambiente de color creado en el entorno por la **con-junción** (armonía) de los colores propios de los objetos iluminados (decoración) y la luz que permite percibirlos visualmente en mayor o menor grado.



El ambiente cromático queda definido por tres parámetros:

- **Reproducción cromática** (IRC o Ra).

- **Temperatura de color** (Tcolor).
- **Tono** (apariencia) de luz.

El **índice de reproducción cromática (IRC o Ra)**, con una variación de 0 a 100, indica la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores. Con él se compara el aspecto cromático que presentan los cuerpos iluminados por una fuente de luz, frente al que presentan bajo una luz de referencia. Así, una fuente de luz con IRC = 100 muestra todos los colores correctamente.



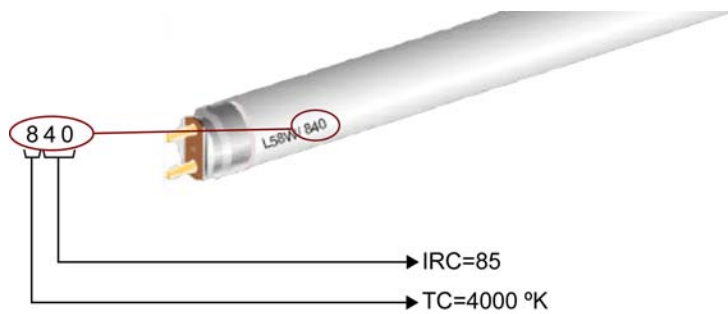
La **temperatura de color (Tcolor)** indica el "color aparente" de una fuente de luz con referencia al "cuerpo negro" de Plank, calentado hasta tal punto que emita la misma luz. Su unidad de medida son los grados Kelvin (K).

El **tono de la luz (color aparente de la luz)** lo determina su temperatura de color. Así, tenemos que:

- Blanco cálido: $T_c < 3.300$ K
- Blanco neutral: $T_c [3.300 - 5.300]$ K
- Blanco frío: $T_c > 5.300$ K`

Como norma general, y fuera del ámbito subjetivo, en cualquier sala o estancia debe existir una "armonía" de luz y color, de forma que para entornos con decoraciones en colores cálidos (rojos, amarillos, naranjas, maderas, bronces, oro, etc.) deben utilizarse fuentes de luz con tono cálido (Tcolor inferior a 3.500 K). Y para entornos con decoraciones en colores fríos (azules, violetas, verdes, blancos, metales aluminio, platino, etc.) deben utilizarse fuentes de luz con tono frío (Tcolor superior a 4.000 K).

¿Cómo "se cuantifica" actualmente la calidad de luz para el diseño? Los fabricantes de fuentes de luz indican el IRC y la Tcolor en todos sus productos. Así, por ejemplo, para la fuente más utilizada en iluminación interior, la fluorescencia, esto se hace con un código de tres dígitos:



El color de la luz tiene su importancia en algunos trabajos relacionados con la inspección sanitaria. Asimismo, ejerce una cierta influencia psicológica sobre la persona. Para un hospital, en general, podemos recomendar actualmente las lámparas fluorescentes de alto rendimiento, tanto en reproducción cromática como en flujo luminoso, ya que reúnen las siguientes características:

- Temperatura de color 5.500 °K (como la luz natural).
- Rendimiento cromático > 90%.
- Eficiencia del orden de 90 lumen/w.

En zonas como almacenes, salas de máquinas y salas análogas, donde se puede ser menos exigente, podemos considerar luminarias que reúnan los siguientes requisitos:

- Temperatura de color 4,200 °K (luz blanca 33).
- Rendimiento cromático 66%.
- Eficiencia del orden de 80 lumen/w.

En cualquier caso, el diseño habrá de evitar deslumbramientos (cuidando el parámetro UGR antes descrito) y, sobre todo, el salto brusco de niveles de iluminación de una zona a otra.

11.6. Eficiencia de las fuentes de luz

La eficiencia de las fuentes de luz ha ido evolucionando y mejorando su rendimiento a lo largo del tiempo, hasta llegar a los 90 lumen/w de los modernos tubos fluorescentes, que se están aplicando desde hace ya algún tiempo.

No obstante, aunque todavía no se aplica masivamente, la tecnología más actualizada es la de los led, y podemos encontrar en el mercado productos y luminarias que permiten diseñar con ellos. Así, podemos también aprovechar sus características superiores en cuanto a rendimiento y duración, y beneficiarnos del juego que da poder usar distintas tonalidades de color, tanto en luz blanca como en cualquier otro color del espectro.

La evolución de la emisión luminosa de la fuente de luz, conocida como led (*light emission diode*) alcanza, actualmente, una eficacia algo inferior a la fluorescencia. Pero es de suponer que, en 10 años, superará la eficacia de las lámparas de descarga. Así, se considera que el aumento de eficacia será de 10 Lm/W por año.

Por lo que se refiere a la degradación luminosa, los led de alta potencia de emisión tienen una depreciación luminosa despreciable, que apenas roza el 30%, con 50.000 h de funcionamiento.

Sea como fuere, para hospitales podemos encontrar interesantes aplicaciones de sus cualidades, tanto para la iluminación general, como para la iluminación de ambientación, iluminación de seguridad o señalización de vías de emergencia, entre otros usos que se irán ampliando a medida que el rendimiento lumínico vaya superando el de la fluorescencia, y la potencia unitaria vaya también alcanzando valores prácticos.

11.6.1. Introducción a los led

La sigla led procede de la expresión *light emitting diode*, es decir, diodo emisor de luz. Es un semiconductor que pertenece a la familia de los diodos. Tiene la particularidad de que, cuando se polariza directamente entre ánodo y cátodo y circula corriente en determinadas condiciones, emite luz, produciendo el fenómeno de la electroluminiscencia.

En 1962, la empresa General Electric consiguió la emisión de luz roja visible. En los setenta el desarrollo fue evolucionando hasta conseguir los colores verde, naranja y amarillo. En los años ochenta, la investigación se centró en la mejora de los led existentes, reduciéndose el consumo e incrementándose sobremanera la luminosidad.

En general, se trata de un semiconductor del tipo p-n. La adición de impurezas selectivas a un cristal semiconductor puede producir un exceso de electrones libres en la banda de conducción en los semiconductores tipo-n; mientras que el tipo-p se logra usando otro tipo de impurezas que producen excesos de "agujeros" (ausencia de un electrón) en la banda de valencia, donde tal "agujero" tiene una carga igual y opuesta a la del electrón. Hay técnicas para preparar un cristal único en el cual se produce el cambio de conductividad entre la parte tipo-p a la tipo-n dentro de una pequeña región de transición, que es lo que se llama unión p-n. Cuando se aplica una diferencia de potencial en una unión p-n, un electrón en una banda (banda de conducción), se combina con un agujero de otra banda (banda de valencia), produciéndose la emisión de energía electromagnética de un fotón a nivel atómico.

Los materiales que componen la unión p-n determinan el salto de energía y la eficacia del led.

El umbral de tensión a la que actúa el diodo led, es $<5V$ y produce normalmente luz monocromática, muy pura. El color de la radiación luminosa depende de su composición química.

Led de alta luminosidad/potencia

Los led de alta luminosidad son más complejos: por sus características constructivas, poseen una mayor capacidad para disipar calor y eso les permite soportar mayor corriente, proporcionando mayor flujo luminoso.

Parámetros aproximados led alta luminosidad

Tensión de funcionamiento (VF)	1,8-3,8 V
Corriente de funcionamiento (IF)	150/350/750 mA/ 1 A
Potencia led	1/3/5... W
Eficiencia lumínica	50-150 Lm/W

Led de luz blanca

En los años noventa se dio un salto cualitativo importante en la producción de este tipo de led: el Dr. Shuji Nakamura desarrolla el led de color azul que, unido a los demás colores ya existentes, permitió que se fabricaran los primeros led blancos, abriendo al mismo tiempo la posibilidad de obtener el resto de la gama de colores.

Actualmente, se está avanzando mucho en este campo y, según parece, se ha llegado a resultados espectaculares, con eficiencias experimentales del orden de 300 lm/w.

La obtención de luz de color blanco está avanzando en varias direcciones, con resultados muy prometedores desde el punto de vista de la eficiencia y reproducción cromática. Existen dos sistemas básicos:

- **El led blanco**

Uno de los sistemas es el desarrollo de led blancos específicos:

- Combinando un **led azul** con **fósforo amarillo**, con lo que se obtiene un led blanco frío, con una reproducción cromática de aproximadamente Ra 70.
- Combinando un **led azul** con **fósforos rojos y verdes**, con lo que se obtiene un led blanco cálido de mejor reproducción cromática, Ra>80, aunque disminuyendo algo el flujo lumínico.

- **El sistema RGB**

El segundo de los sistemas consiste en la mezcla de luz de **led de tres colores: rojo, verde y azul**, controlados de modo muy exacto por medio de dispositivos de precisión. Esta técnica se conoce con el nombre RGB (*red-green-blue*).

Para aplicar esta técnica se pueden disponer los led rojos, verdes y azules bien integrados en una misma pastilla a modo de un único led o bien combinando led o cadenas de led de estos colores.

Dichos led se alimentan mediante módulos específicos, con una salida común para los tres led de colores, y otras tres salidas más para cada uno de ellos.

De esta forma, según se regule la alimentación individual de cada led de diferente color, se puede obtener una variada gama de colores, incluido el blanco, en todo el espectro de colores.

Instalación de los led de potencia (PL)

Los led de potencia se alimentan con una corriente constante, y la tensión varía dependiendo del color del led, así como de la temperatura y tolerancia de fabricación del propio led.

Básicamente, el papel fundamental de la fuente de alimentación (FA) es proporcionar y controlar con precisión la corriente en el circuito, pues una corriente demasiado elevada puede destruir los led, mientras que una corriente demasiado baja produce un rendimiento luminoso muy pobre. Por tanto, para asegurar una máxima luminosidad y longevidad en los LP, el secreto está en la utilización de una fuente de corriente adecuada en cada caso, con los elementos periféricos y pasivos adecuados.

Las FA deben tener una salida de corriente constante, pues así se asegura una correcta alimentación de los led, que por otro lado implica una conexión en serie, para los que forman una hilera de la misma salida.

Además, los PL tienen un umbral fijo de operación (tensión de conducción de la unión p-n del diodo), lo que presupone una regulación muy estricta, por ejemplo, de tipo electrónico, encargada de variar el ciclo de trabajo de los led, y regulando su potencia.

Otro punto importante a incorporar es el control de temperatura en el diseño electrónico aplicado. La vida de un led de potencia depende, principalmente, de su temperatura de funcionamiento y de la corriente de alimentación. Por ello es importante que la cantidad de calor generado se disipe eficientemente, ya sea por medio de un radiador de aluminio (normalmente utilizado), al que están soldados los led, o por otro procedimiento, como puede ser la circulación de aire en condiciones adecuadas u otras medidas alternativas.

La elevación de la temperatura puede disminuir muy significativamente la vida de los led. Los límites óptimos de temperatura son relativamente bajos, entre los 60 y 65 °C, medidos sobre el cuerpo del led. Así, la vida de un led de potencia es del orden de unas 50.000 horas, trabajando en condiciones normales.

La relación entre corriente y flujo luminoso es casi proporcional; es preciso añadir un sistema de control de corriente para dar respuesta a los diferentes requerimientos de los led, y en especial de los PL. Existen numerosos tipos de controladores, y de lo que se trata es de definir qué topología es la más adecuada para dar respuesta a la necesidad concreta, en función de su coste, de la corriente nominal máxima, de las dimensiones físicas, de qué elementos periféricos o pasivos son necesarios, y atendiendo especialmente a los requerimientos de atenuación.

La mayoría de las **topologías** se pueden incluir en dos grupos:

- Controladores lineales.
- Controladores de potencia en modo conmutado.

En cuanto a la monitorización de la temperatura, cuando se ha elegido la topología del controlador, el único requisito de interfaz adicional para el diseño, es el medio para monitorizar la temperatura de la pastilla en el led. Hay varios sensores de temperatura disponibles en el mercado, cada uno con su propio formato de salida.

La consideración final es la generación de la tensión del nivel de control y, si el microcontrolador está alimentado desde una batería, el nivel de control puede compensarse por software, dado que hay disponible circuitería adicional para medir y regular la tensión de la batería.

Aplicaciones hospitalarias de los led

Si recordamos la guía general de diseño de la luz en el hospital, podremos identificar diferentes aplicaciones de los led para conseguir los objetivos enunciados:

- Áreas generales (públicas, pasillos, etc.) por eficiencia, consumos y costes.
- Áreas especiales (esperas, RX, escáneres, diálisis, recuperaciones, etc.) por confort ambiental.
- Áreas de trabajo nocturnas por aplicación de iluminación dinámica.
- Señalización, orientación facilitada por luz en color, accesos a departamentos.
- Vías de evacuación. Programación con colores de señalización de vías alternativas en emergencia.

11.7. CTE. Documento básico HE 3

CTE. Documento básico HE 3

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación

1. Esta sección es de aplicación a las instalaciones de iluminación interior en:
 - a) Edificios de nueva construcción.

- b) Rehabilitación de edificios existentes con una superficie útil superior a 1.000 m², donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada.
- c) Reformas de locales comerciales y de edificios de uso administrativo en los que se renueve la instalación de iluminación.

2. Se excluyen del ámbito de aplicación:

- a) Edificios y monumentos con valor histórico o arquitectónico reconocido.
- b) Construcciones.
- c) Instalaciones industriales, talleres y edificios agrícolas no residenciales.
- d) Edificios independientes con una superficie útil total inferior a 50 m².
- e) Interiores de viviendas.

3. En los casos excluidos en el punto anterior, en el proyecto se justificarán las soluciones adoptadas, en su caso, para el ahorro de energía en la instalación

4. Se excluyen, también, de este ámbito de aplicación los alumbrados de emergencia.

1.2 Procedimiento de verificación

1 Para la aplicación de esta sección debe seguirse la secuencia de verificaciones que se expone a continuación:

- a) Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VEEI en cada zona, constando que no se superan los valores límite consignados en la tabla 2.1 del apartado 2.1.
- b) Comprobación de la existencia de un sistema de control y, en su caso, de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, cumpliendo lo dispuesto en el apartado 2.2.
- c) Verificación de la existencia de un plan de mantenimiento, que cumpla con lo dispuesto en el apartado 5.

1.3 Documentación justificativa

1) En la memoria del proyecto para cada zona figurarán junto con los cálculos justificativos al menos:

- a) El índice del local (K) utilizado en el cálculo.
- b) El número de puntos considerados en el proyecto.
- c) El factor de mantenimiento (Fm) previsto.
- d) La iluminancia media horizontal mantenida (Em) obtenida.
- e) El índice de deslumbramiento unificado (UGR) alcanzado.
- f) Los índices de rendimiento de color (Ra) de las lámparas seleccionadas.
- g) El valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) resultante en el cálculo.
- h) Las potencias de los conjuntos: lámpara más equipo auxiliar.

2) Asimismo, debe justificarse en la memoria del proyecto para cada zona el sistema de control y regulación que corresponda.

2. 1 Caracterización y cuantificación de las exigencias

2.2 Valor de eficiencia energética de la instalación

1) La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m²) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = P \times 100 / S \times E_m$$

siendo:

P: la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares [W].

S: la superficie iluminada [m²].

Em: la iluminancia media horizontal mantenida [lux].

P: la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [W].

S: la superficie iluminada [m²].

Em: la iluminancia media mantenida [lux].

2. Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores de un edificio se establecen en la tabla 2.1. Estos valores incluyen la iluminación general y la iluminación de acento, pero no las instalaciones de iluminación de escaparates y zonas expositivas.

Ver Tabla 2.1 Valores límite de eficiencia energética de la instalación

2.2 Sistemas de control y regulación

1) Las instalaciones de iluminación dispondrán, para cada zona, de un sistema de regulación y control con las siguientes condiciones:

a) Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, cuando no disponga de otro sistema de control, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia o sistema de temporización.

b) Se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural, en la primera línea paralela de luminarias situadas a una distancia inferior a 3 metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, en los siguientes casos:

i) en las zonas de los grupos 1 y 2 que cuenten con cerramientos acristalados al exterior, cuando éstas cumplan simultáneamente las condiciones de:

Ver figuras 2.1, 2.2 y 2.3 del DB HE 3 con sus condicionantes de arquitectura

3. Cálculo

3.1 Datos previos

1. Para determinar el cálculo y las soluciones luminotécnicas de las instalaciones de iluminación interior, se tendrán en cuenta parámetros tales como:

- a) el uso de la zona a iluminar;
- b) el tipo de tarea visual a realizar;
- c) las necesidades de luz y del usuario del local;
- d) el índice K del local o dimensiones del espacio (longitud, anchura y altura útil);
- e) las reflectancias de las paredes, techo y suelo de la sala;
- f) las características y tipo de techo;
- g) las condiciones de la luz natural;
- h) el tipo de acabado y decoración;
- i) el mobiliario previsto.

2. Podrá utilizarse cualquier método de cálculo que cumpla las exigencias de esta sección, los parámetros de iluminación y las recomendaciones para el cálculo contenidas en el apéndice B.

3.2 Método de cálculo

1. El método de cálculo utilizado, que quedará establecido en la memoria del proyecto, será el adecuado para el cumplimiento de las exigencias de esta sección y utilizará como datos y parámetros de partida, al menos, los consignados en el apartado 3.1, así como los derivados de los materiales adoptados en las soluciones propuestas, tales como lámparas, equipos auxiliares y luminarias.

2. Se obtendrán como mínimo los siguientes resultados para cada zona:

- a) valor de eficiencia energética de la instalación VEEI;
- b) iluminancia media horizontal mantenida E_m en el plano de trabajo;
- c) índice de deslumbramiento unificado UGR para el observador.

Asimismo, se incluirán los valores del índice de rendimiento de color (Ra) y las potencias de los conjuntos lámpara más equipo auxiliar utilizados en el cálculo.

3. El método de cálculo se formalizará bien manualmente o a través de un programa informático, que ejecutará los cálculos referenciados obteniendo como mínimo los resultados mencionados en el punto 2 anterior. Estos programas informáticos podrán establecerse en su caso como documentos reconocidos.

4. Productos de construcción

4.1 Equipos

1. Las lámparas, equipos auxiliares, luminarias y resto de dispositivos cumplirán lo dispuesto en la normativa específica para cada tipo de material. Particularmente, las lámparas fluorescentes cumplirán con los valores admitidos por el Real Decreto 838/2002, de 2 de agosto, por el que se establecen los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes.

2. Salvo justificación, las lámparas utilizadas en la instalación de iluminación de cada zona tendrán limitada las pérdidas de sus equipos auxiliares, por lo que la potencia del conjunto lámpara más equipo auxiliar no superará los valores indicados en las tablas 3.1 y 3.2:

Ver tabla 3.1, Lámparas de descarga

Ver tabla 3.2, Lámparas halógenas de baja tensión

4.2 Control de recepción en obra de productos

1. Se comprobará que los conjuntos de las lámparas y sus equipos auxiliares disponen de un certificado del fabricante que acredite su potencia total.

5. Mantenimiento y conservación.

1. Para garantizar en el transcurso del tiempo el mantenimiento de los parámetros lumínotécnicos adecuados y la eficiencia energética de la instalación VEEL, se elaborará en el proyecto un plan de mantenimiento de las instalaciones de iluminación que contemplará, entre otras acciones, las operaciones de reposición de lámparas con la frecuencia de reemplazamiento, la limpieza de luminarias con la metodología prevista y la limpieza de la zona iluminada, incluyendo en ambas la periodicidad necesaria. Dicho plan también deberá tener en cuenta los sistemas de regulación y control utilizados en las diferentes zonas.

Apéndice A: Terminología

Alumbrado de emergencia: instalación de iluminación que, en caso de fallo en el alumbrado normal, suministra la iluminación necesaria para facilitar la visibilidad a los usuarios y que éstos puedan abandonar el edificio, impida situaciones de pánico y permita la visión de las señales indicativas de las salidas y la situación de los equipos y medios de protección existentes.

Coefficiente de transmisión luminosa del vidrio (T): porcentaje de luz natural en su espectro visible que deja pasar un vidrio. Se expresa en tanto por uno o tanto por ciento.

Eficacia luminosa: cociente entre el flujo luminoso emitido y la potencia eléctrica de la fuente. Se expresa en lm/W (lúmenes/vatio).

Equipo auxiliar: equipos eléctricos o electrónicos asociados a la lámpara, diferentes para cada tipo de lámpara. Su función es el encendido y control de las condiciones de funcionamiento de una lámpara. Estos equipos auxiliares, salvo cuando son electrónicos, están formados por combinación de arrancador/cebador, balasto y condensador.

Factor de mantenimiento (Fm): cociente entre la iluminancia media sobre el plano de trabajo después de un cierto periodo de uso de una instalación de alumbrado y la iluminancia media obtenida bajo la misma condición para la instalación considerada como nueva.

Iluminancia: cociente del flujo luminoso $d\phi$ incidente sobre un elemento de la superficie que contiene el punto, por el área dA de ese elemento, siendo la unidad de medida el lux.

Iluminación de acento: iluminación diseñada para aumentar considerablemente la iluminancia de un área limitada o de un objeto con relación a la de su entorno con alumbrado difuso mínimo.

Iluminación general: iluminación sustancialmente uniforme de un espacio sin tener en cuenta los requisitos locales especiales

Iluminancia media en el plano horizontal (E): iluminancia promedio sobre el área especificada. El número mínimo de puntos a considerar en su cálculo, estará en función del índice del local (K) y de la obtención de un reparto cuadrículado simétrico.

El número de puntos mínimo a considerar en el cálculo de la iluminancia media (E) será:

a) 4 puntos si $K < 1$

- b) 9 puntos si $2 > K \geq 1$
- c) 16 puntos si $3 > K \geq 2$
- d) 25 puntos si $K \geq 3$

Iluminancia media horizontal mantenida (E_m): valor por debajo del cual no debe descender la iluminancia media en el área especificada. Es la iluminancia media en el período en el que debe ser realizado el mantenimiento.

Índice de deslumbramiento unificado (UGR): es el índice de deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior, definido en la publicación CIE (Comisión Internacional de Alumbrado) n.º 117.

Índice de rendimiento de color (R_a): efecto de un iluminante sobre el aspecto cromático de los objetos que ilumina por comparación con su aspecto bajo un iluminante de referencia. La forma en que la luz de una lámpara reproduce los colores de los objetos iluminados se denomina índice de rendimiento de color.

(R_a). El color que presenta un objeto depende de la distribución de la energía espectral de la luz con que está iluminado y de las características reflexivas selectivas de dicho objeto.

Índice del local (K):

$$K = Lx \cdot A / H \cdot x \cdot (L + A)$$

siendo:

L la longitud del local;

A la anchura del local;

H la distancia del plano de trabajo a las luminarias.

Potencia total del conjunto lámpara más equipo auxiliar: potencia máxima de entrada de los circuitos equipo auxiliar-lámpara, medidos en las condiciones definidas en las normas UNE EN 50294:1999 y UNE en 60923:1997.

Reflectancias: cociente entre el flujo radiante o luminoso reflejado y el flujo incidente en las condiciones dadas. Se expresa en tanto por ciento o en tanto por uno.

Sistema de control y regulación: conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática o manual el encendido y apagado o el flujo luminoso de una instalación de iluminación.

Se distinguen 4 tipos fundamentales:

- a) regulación y control bajo demanda del usuario, por interruptor manual, pulsador, potenciómetro o mando a distancia;
- b) regulación de iluminación artificial según aporte de luz natural por ventanas, cristalerías, lucernarios o claraboyas;
- c) control del encendido y apagado según presencia en la zona;
- d) regulación y control por sistema centralizado de gestión.

Sistema de aprovechamiento de la luz natural: conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a regular de forma automática el flujo luminoso de una instalación de iluminación, en función del flujo luminoso aportado a la zona por la luz natural, de tal forma ambos flujos aporten un nivel de iluminación fijado en un punto, donde se encontraría el sensor de luz.

Existen 2 tipos fundamentales de regulación:

- a) regulación todo/nada: la iluminación se enciende o se apaga por debajo o por encima de un nivel de iluminación prefijado;
- b) regulación progresiva: la iluminación se va ajustando progresivamente según el aporte de luz natural hasta conseguir el nivel de iluminación prefijado.

Sistema de detección de presencia: conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática, el encendido y apagado de una instalación de iluminación en función de presencia o no de personas en la zona. Existen 4 tipos fundamentales de detección:

- a) infrarrojos;
- b) acústicos por ultrasonido;
- c) por microondas;
- d) híbrido de los anteriores.

Sistema de temporización: conjunto de dispositivos, cableado y componentes destinados a controlar de forma automática, el apagado de una instalación de iluminación en función de un tiempo de encendido prefijado.

Valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI): valor que mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada, cuya unidad de medida es (W/m^2) por cada 100 lux.

12. La seguridad en alumbrado en el CTE

En este documento examinamos lo que el Código Técnico de la Edificación aporta, en relación a la seguridad del alumbrado, respecto a las prescripciones que están recogidas en el Reglamento de Baja Tensión.

El objetivo del documento básico del Código Técnico de la Edificación es la SU "seguridad de utilización", que consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños inmediatos durante su uso previsto, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, mantendrán y utilizarán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes del CTE, cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de seguridad de utilización.

Las secciones de este documento básico, desde la SU 1 a la SU 8, se consideran una parte de las exigencias básicas. La correcta aplicación de todas y cada una de ellas supone el cumplimiento del requisito básico "Seguridad de utilización".

La exigencia básica en iluminación de seguridad es la SU 4

12.1. La seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada

En general, las exigencias son las mismas que se recogen en el REBT para los hospitales, considerados como **edificios de pública concurrencia**, pero se definen claramente los espacios que han de ser considerados como "pasillos de evacuación" y se amplían y precisan algunos conceptos con relación al edificio.

Además, se limita el riesgo de daños a las personas como consecuencia de una iluminación inadecuada en zonas de circulación de los edificios, tanto interiores como exteriores, incluso en caso de emergencia o de fallo del alumbrado normal.

12.1.1. Alumbrado normal en zonas de circulación

En cada zona se instalará un alumbrado capaz de, como mínimo, proporcionar los siguientes niveles de iluminación a nivel de suelo, con un factor de uniformidad media del 40%.

Área	Zona	Iluminancia en lux
Exterior	Exclusivo personas (escaleras)	10
	Exclusivo personas (resto de zonas)	5
	Para vehículos	10
Interior	Exclusivo personas (escaleras)	75
	Exclusivo personas (resto de zonas)	50
	Para vehículos	50

12.1.2. Alumbrado de emergencia

Los edificios dispondrán de un alumbrado de emergencia que, en caso de fallo del alumbrado normal, suministre la iluminación necesaria para facilitar la visibilidad a los usuarios, de manera que puedan abandonar el edificio, evite las situaciones de pánico y permita la visión de las señales indicativas de las salidas y la situación de los equipos y medios de protección existentes.

Contarán con alumbrado de emergencia las zonas y los elementos siguientes:

- Todo recinto cuya ocupación sea mayor de 100 personas.
- Los recorridos desde todo origen de evacuación hasta el espacio exterior seguro, definidos en el DB SI (seguridad contra incendios).
- Los aparcamientos cerrados o cubiertos cuya superficie construida exceda de 100 m², incluidos los pasillos y las escaleras que conduzcan hasta el exterior o hasta las zonas generales del edificio.
- Los locales que alberguen equipos generales de las instalaciones de protección contra incendios y los de riesgo especial indicados en DB-SI.
- Los aseos generales de planta en edificios de uso público.
- Los lugares en los que se ubican cuadros de distribución o de accionamiento de la instalación de alumbrado de las zonas antes citadas.
- Las señales de seguridad.

12.1.3. Posición y características de las luminarias

Con el fin de proporcionar una iluminación adecuada, las luminarias cumplirán las siguientes condiciones:

- Se situarán, al menos, a 2 m por encima del nivel del suelo.
- Se dispondrá una en cada puerta de salida y en posiciones en las que sea necesario destacar un peligro potencial o el emplazamiento de un equipo de seguridad. Como mínimo, se dispondrán en los siguientes puntos:
 - Puertas existentes en los recorridos de evacuación.
 - Escaleras, de modo que cada tramo reciba iluminación directa.
 - Cualquier otro cambio de nivel.
 - Cambios de dirección y en las intersecciones de pasillos.

12.1.4. Características de la instalación

La instalación será fija, con equipos alimentados por una fuente propia de energía, y debe entrar automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo de alimentación en la instalación de alumbrado normal, en las zonas cubiertas por el alumbrado de emergencia. Se considera fallo de alimentación el descenso de la tensión de alimentación por debajo del 70% de su valor nominal.

El alumbrado de emergencia de las vías de evacuación debe alcanzar, al menos, el 50% del nivel de iluminación requerido al cabo de 5 segundos, y el 100% a los 60 segundos.

La instalación cumplirá las condiciones de servicio que se indican a continuación durante una hora, como mínimo, a partir del instante en que tenga lugar el fallo:

- En las vías de evacuación cuya anchura no exceda de 2 m, la iluminancia horizontal en el suelo debe ser, como mínimo, de 1 lux a lo largo del eje central y de 0,5 lux en la banda central que comprende, al menos, la mitad de la anchura de la vía. Las vías de evacuación con anchura superior a 2 m pueden ser tratadas como varias bandas de 2 m de anchura, como máximo.
- En los puntos en los que estén situados los equipos de seguridad, las instalaciones de protección contra incendios de utilización manual y los cuadros de distribución del alumbrado, la iluminancia horizontal será de 5 lux, como mínimo.
- A lo largo de la línea central de una vía de evacuación, la relación entre la iluminancia máxima y la mínima no debe ser mayor que 40:1.

- Los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión sobre paredes y techos, y contemplando un factor de mantenimiento que englobe la reducción del rendimiento luminoso debido a la suciedad de las luminarias y al envejecimiento de las lámparas.
- Con el fin de identificar los colores de seguridad de las señales, el valor mínimo del índice de rendimiento cromático (Ra) de las lámparas será 40.

12.1.5. Iluminación de las señales de seguridad

La iluminación de las señales de evacuación indicativas de las salidas y de las señales indicativas de los medios manuales de protección contra incendios y de los de primeros auxilios deben cumplir los siguientes requisitos:

- La luminancia de cualquier área de color de seguridad de la señal debe ser, al menos, de 2 cd/m^2 en todas las direcciones de visión importantes.
- La relación de la luminancia máxima a la mínima dentro del color blanco o de seguridad no debe ser mayor de 10:1, y se deben evitar variaciones importantes entre puntos adyacentes.
- La relación entre la luminancia L_{blanca} , y la luminancia $L_{\text{color}} > 10$, no será menor que 5:1 ni mayor que 15:1.
- Las señales de seguridad deben estar iluminadas al menos al 50% de la iluminancia requerida, al cabo de 5 segundos, y al 100%, al cabo de 60 segundos.

13. Tecnología de iluminación led

13.1. Introducción

La luz es una radiación electromagnética y se propaga por el espacio mediante ondas. Una característica importante de la radiación es su longitud de onda. Se expresa normalmente por la letra λ y define la distancia que recorre un punto de la onda hasta que repite su posición relativa. La luz visible está comprendida entre 780 y 380 nm.

La iluminación se había basado en luminarias incandescentes y de descarga, hasta la llegada del led.

Una **lámpara de incandescencia** o lámpara incandescente es un dispositivo en el que el paso de corriente eléctrica produce luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico, en concreto de wolframio, hasta ponerlo al rojo blanco.

Con la tecnología existente, actualmente se consideran poco eficientes, ya que el 85% de la electricidad que consume la transforma en calor y solo el 15% restante, en luz.

Es la de más bajo rendimiento luminoso de las lámparas utilizadas: de 12 a 18 lm/W (lúmenes por vatio de potencia) y la que menor vida útil o durabilidad tiene: unas 1.000 horas.



Lámpara de incandescencia E27

La **lámpara halógena** es una variante de la lámpara incandescente con un filamento de tungsteno dentro de un gas inerte y una pequeña cantidad de halógeno (como yodo o bromo).

El filamento y los gases se encuentran en equilibrio químico, con lo que mejora el rendimiento del filamento y aumenta su vida útil. Algunas de estas lámparas funcionan a baja tensión (por ejemplo, 12 voltios), por lo que necesitan un transformador para su funcionamiento.

La lámpara halógena tiene un rendimiento un poco mejor que la incandescente: 18,22 lm/W y su vida útil se aumenta hasta las 2.000 y 4.000 horas de funcionamiento.



Lámpara halógena

El funcionamiento de una **lámpara de descarga** se basa en el fenómeno de la luminiscencia, por el cual se producen radiaciones luminosas con un escaso aumento de la temperatura, por lo que se las llama lámparas frías.

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

Las **lámparas fluorescentes** son lámparas de vapor de mercurio a baja presión. En estas condiciones, en el espectro de emisión del mercurio, predominan las radiaciones ultravioletas en la banda de 253,7 nm.

Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, y las cualidades cromáticas de la lámpara.

La eficacia de estas lámparas depende de muchos factores: potencia de la lámpara, tipo y presión del gas de relleno, propiedades de la sustancia fluorescente que recubre el tubo, temperatura ambiente, etc.

Esta última es muy importante porque determina la presión del gas y, en último término, el flujo de la lámpara.



Lámpara fluorescente

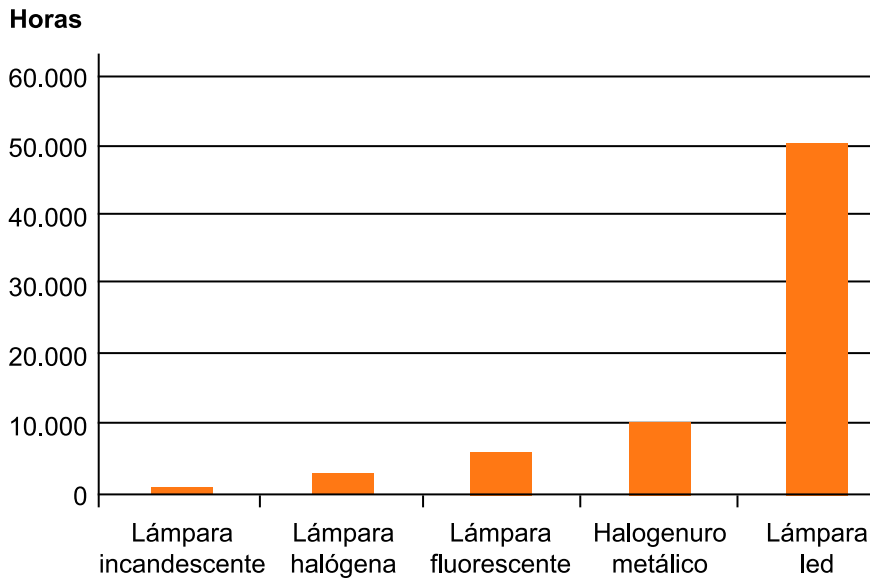
La eficacia se encuentra sobre los 65 lm/W dependiendo de las características de cada lámpara, y la duración se sitúa entre 5.000 y 7.000 horas.

Las **lámparas de vapor de mercurio a alta presión**, al tener la presión del vapor de mercurio más alta, hacen perder importancia a la radiación ultravioleta respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404,7 nm, azul 435,8 nm, verde 546,1 nm y amarillo 579 nm).

En estas condiciones, la luz emitida, de color azul verdoso, no contiene radiaciones rojas. Para resolver este problema se suelen añadir sustancias fluorescentes que emitan en esta zona del espectro. De esta manera se mejoran las características cromáticas de la lámpara.

La temperatura de color se mueve entre 3.500 y 4.500 °K, con índices de rendimiento en color de 40 a 45 normalmente. La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación, se establece en unas 8.000 horas.

La eficacia se sitúa sobre los 50 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.



Comparativa de la vida útil de diferentes tipos de lámparas

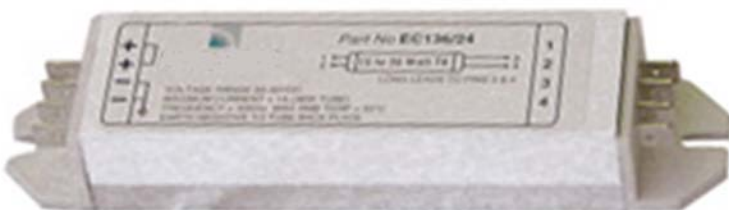
Las **lámparas de luz de mezcla** son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y, habitualmente, un recubrimiento fosforescente.

El resultado de esta mezcla es la superposición, al espectro del mercurio, del espectro continuo característico de la lámpara incandescente y las radiaciones rojas provenientes de la fosforescencia.

Su eficacia se sitúa sobre los 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color, con un rendimiento en color de 60 y una temperatura de color de 3.600 °K. La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento, que es la principal causa de fallo.

Respecto a la depreciación del flujo, hay que considerar dos causas: por un lado, se tiene el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y, por otro, la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes.

En general, la vida media se sitúa en torno a las 6.000 horas.



Reactancia

Con las **lámparas con halogenuros metálicos** se añaden en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...), con lo cual se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio.

Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo, amarillo, el sodio; verde, el talio; rojo y azul, el indio). Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3.000 a 6.000 °K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda los 80 lm/W y su vida media es de unas 10.000 horas.

Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1.500-5.000 V).



Lámpara halogenuros metálicos

El **led**, cuyas siglas vienen del acrónimo en inglés *light-emitting diode*, es un diodo emisor de luz. Básicamente, es un dispositivo semiconductor que produce luz cuando circula corriente a través de una unión PN.

Concretamente, el led cuando llega a cierto umbral de tensión (> 5 V) produce luz, normalmente monocromática. Este color depende de la composición química del led.

Agradecimientos

A las empresas Lamp Lighting, Simon Lighting, Grupo Lledó, Eficiencia Energética en iluminación (E3LUX) por la documentación proporcionada.

A Simon Iluminación, Lamp y Xavier Graells por las fotografías cedidas.

A Simon Iluminación, Lamp Lighting, Grupo Lledó y Eficiencia Energética en iluminación (E3LUX), por las imágenes proporcionadas para su posterior adaptación.

13.2. Normativa

Las normativas, de carácter estatal, que afectan a la iluminación son las siguientes:

- Normativa CTE. Código técnico de la iluminación, sección DB HE 3.
- UNE EN 12464-1 200. Iluminación de interiores en sitios de trabajo.
- Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior (REEAE) y sus instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. BOE núm. 279 (19 de noviembre de 2008).
- Real Decreto 846/2006, de 07 de julio, por el que se derogan diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales. BOE núm. 186 (05 de agosto de 2006).
- Real Decreto 842/2002, de 02 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT). BOE núm. 224 (18 de septiembre de 2002).
- Erratas de Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT), aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 02 de agosto. BOE s/n (30 de septiembre de 2002).
- Orden 16-05-1989 de modificación del Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre. Candelabros metálicos: báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico. BOE núm. 168 (15 de julio de 1989).
- Orden 12-06-1989 por la que se establece la certificación de conformidad a normas como alternativa de homologación de los candelabros metálicos (báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico). BOE núm. 161 (7 de julio 1989).
- Real Decreto 401/1989, de 14 de abril. Modificación del Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre. Candelabros metálicos: báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico. BOE núm. 99 (26 de abril de 1989).

- Orden 11-07-1986 de modificación del Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre. Candelabros metálicos: báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico. BOE núm. 173 (21 de julio de 1986).
- Corrección de erratas del Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre. Candelabros metálicos: báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico. BOE núm. 67 (19 de marzo de 1986).
- Real Decreto 2642/1985, de 18 de diciembre. Candelabros metálicos: báculos y columnas de alumbrado exterior y señalización de tráfico. BOE núm. 21 (24 de enero de 1986).

Existen muchas otras normativas dependiendo de la comunidad autónoma.

En normativa, pues, se determinan valores como la intensidad lumínica mínima (nivel adecuado de iluminación), el deslumbramiento máximo, el control y regulación, la calidad de la luz (reproducción cromática y tonalidad) y el valor de la eficiencia energética.

13.3. Magnitudes en iluminación

A continuación se verán los parámetros lumínicos según normativa y para determinar la calidad y características de la iluminación.

13.3.1. Intensidad lumínica e iluminancia media

La **intensidad lumínica** se mide en candelas y se define como la cantidad de flujo luminoso (medido en lúmenes) que emite una fuente, por unidad de ángulo sólido.

La fórmula de cálculo de la intensidad luminosa es la siguiente:

$$I_v = \frac{dF}{d\Omega}$$

Fórmula

Donde:

I_v es la intensidad lumínica.

F es el flujo luminoso, medido en lúmenes.

Ω es el ángulo sólido.

$$\Omega = \frac{S}{R^2}$$

Fórmula

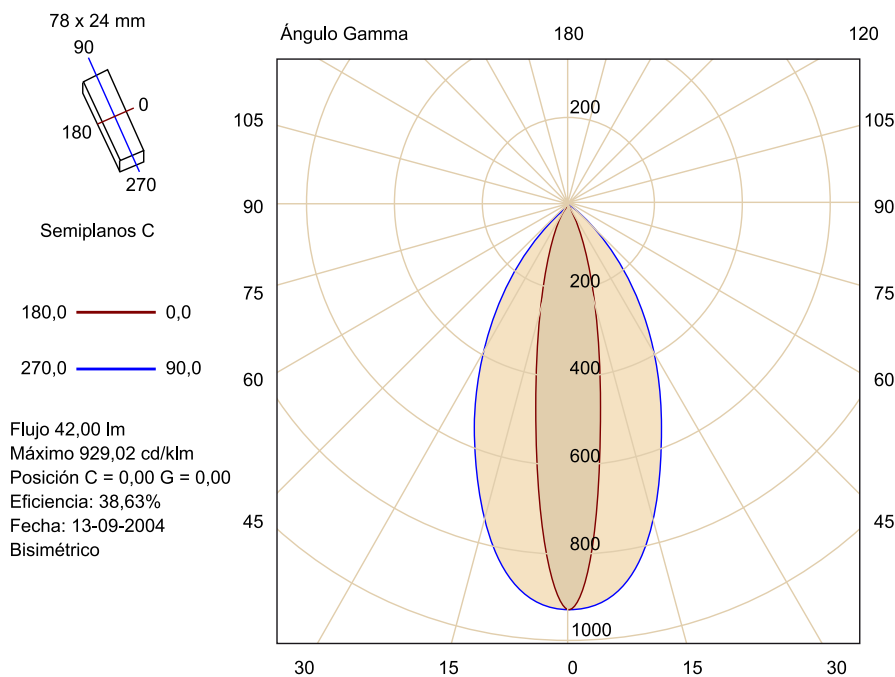
Donde:

S es la superficie de proyección de la luz en una esfera de radio conocido (contando que la fuente de luz se sitúa en el medio de la esfera).

R es el radio de la esfera donde se proyecta la superficie S .

Los valores de la intensidad lumínica especificados en la norma, para la zona de tarea visual y el entorno inmediato, son valores de mantenimiento, es decir, valores por debajo de los cuales no ha de bajar la intensidad lumínica media, entre los intervalos de tiempo fijados en el plano de mantenimiento de la instalación de iluminación.

A continuación puede verse la representación polar de una luminaria:



Representación polar luminaria

Otro parámetro muy importante para el cálculo del alumbrado de interiores es la **iluminancia media**. A partir del cálculo de este valor se puede saber si las estancias cumplen los valores mínimos fijados en normativa.

La iluminación media (E_m) se calcula en el plano de trabajo, siendo este un plano imaginario a una altura que depende de la actividad que se va a realizar, por ejemplo, a nivel de suelo, en caso de ser un pasillo, o a 0,75 metros sobre el nivel del suelo, en caso de ser una oficina (área de tarea visual).

La iluminación media se calcula como sigue:

$$E_m = \frac{\phi_{total}}{S} \cdot \eta \cdot f_m$$

Fórmula

Donde:

E_m es la iluminancia media en lux.

Φ_{total} es el flujo total.

η es el factor de utilización para el plano de trabajo.

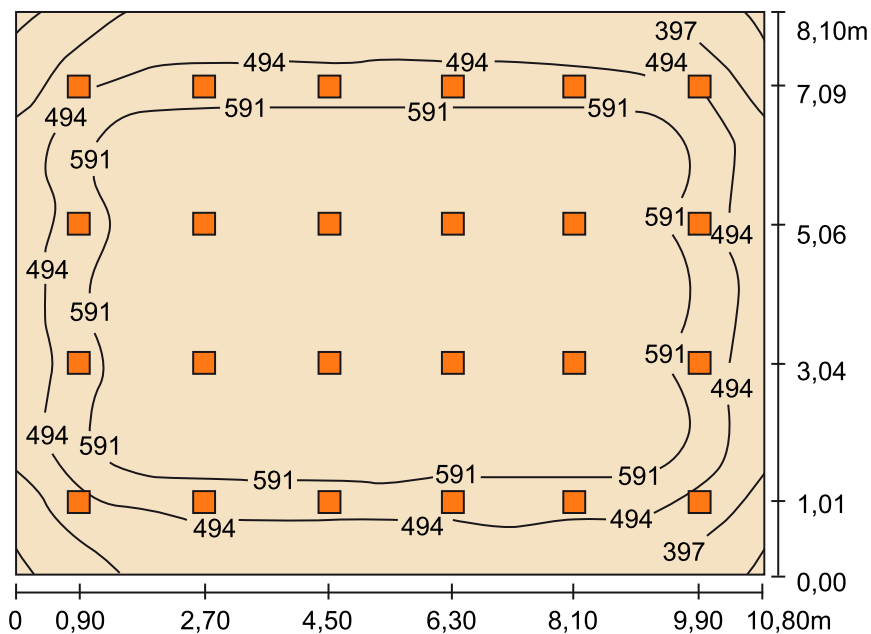
f_m es el factor de mantenimiento.

S es la superficie del local en m^2 .

Los valores de la iluminancia media mínimos en lugares de trabajo se especifican en la normativa UNE EN 12464-12003.

Existen varios programas de cálculo de alumbrado para el cálculo de este parámetro. Históricamente se ha realizado con programas del propio fabricante, y en la actualidad hay una utilización generalizada de muchos fabricantes de luminarias del programa DIALUX.

Cálculo de la E_m de una estancia:



Modelo: OD-3652 QM 1°TC-TEL 57W (4.300 lm)

E_m : 565 lx

Uniformidad: 0,50

N.º de luminarias a instalar: 24 uds.

Potencia instalada: 1,51 kw

Resultado del cálculo de la E_m de una estancia: Curvas isolux

13.3.2. Área tarea visual y área circundante inmediata

El proyectista ha de delimitar cuáles son las zonas donde realmente se realizará la tarea principal en los diferentes lugares de trabajo de las instalaciones de iluminación interior, según normativa.

Por eso la norma contempla dos áreas fundamentales con el objetivo de regular los niveles mínimos, su uniformidad y los deslumbramientos molestos que puedan existir para el observador.

Por otra parte, la norma busca que estos niveles se mantengan en el tiempo con un correcto plan de mantenimiento de la instalación, garantizando la eficiencia de la instalación de iluminación.

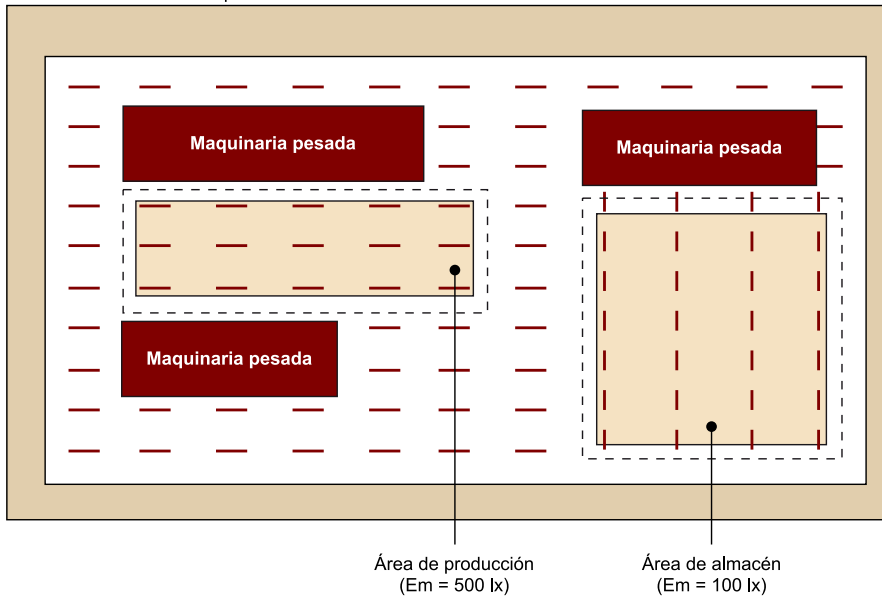
La parte del puesto de trabajo en la que se lleva a cabo la tarea visual correspondiente se define como la **zona de tarea visual**. La capacidad visual requerida por la tarea visual viene determinada por los elementos relevantes de la tarea que debe llevarse a cabo.

La zona de **área circundante inmediata** se define como la superficie que se encuentra en el campo de visión y circunda directamente la zona de la tarea visual. Dicha zona ha de tener una anchura de, como mínimo, 0,5 metros.

Cuando se planifica una instalación de iluminación, frecuentemente no es posible especificar la posición exacta de la tarea visual, ya que no se conoce la posición exacta de esta zona o la actividad comprende varias tareas visuales diferentes.

Cuando esto sucede, se recomienda agrupar diversas zonas de tareas visuales en forma de una superficie de mayor tamaño (denominada **área de trabajo**). En los casos en los que no se tiene ningún dato sobre la posición de los lugares de trabajo, esta zona puede comprender incluso el local completo. Cuando la intensidad lumínica está distribuida en estas superficies de mayor tamaño, con una uniformidad mayor o igual que 0,6, puede suponerse que en las zonas individuales de tareas visuales se cumple siempre el requisito de uniformidad mayor o igual que 0,7.

Nave industrial con zonas para distintas actividades



Distribución de zonas para distintas tareas visuales

13.3.3. Grado de deslumbramiento

El grado de deslumbramiento de una instalación puede determinarse con el procedimiento UGR (índice de deslumbramiento unificado). En función del tipo y la dificultad de la tarea visual, no debe superarse el valor límite UGR.

El valor UGR se puede determinar siguiendo el método de tablas. Estas tablas con información concreta sobre el valor del UGR las proporcionan los propios fabricantes para cada una de sus luminarias. Muchas veces también se facilita esta información con archivos informáticos para que programas de cálculo de instalaciones de iluminación proporcionen las correspondientes tablas UGR.

Dichos programas de planificación permiten calcular mediante ordenador un valor UGR individual, lo que puede resultar útil en la investigación de instalaciones de iluminación críticas respecto al deslumbramiento cuando estas instalaciones incorporan más de un tipo de sistemas de iluminación.

No se puede utilizar únicamente el método de tablas para seleccionar un tipo de luminaria cuando:

- Las luminarias que calcular tengan una superficie luminosa mayor a 1,5 m².
- La componente **indirecta o reflejada**, procedente de la reflexión de la luz de las luminarias en el techo, paredes y demás superficies del local de la luminaria, sea mayor de un 75%.
- Las luminarias presenten una distribución de luz superintensiva para destacar una zona concreta.

- Se disponga de techos luminosos continuos.

Para ello se deberá realizar un cálculo de iluminación determinando puntos UGR extremos.

El deslumbramiento por luminarias de una instalación de iluminación de interiores (deslumbramiento directo) puede evaluarse mediante la siguiente ecuación:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{\rho^2} \right)$$

Fórmula

Donde:

L es la iluminancia de la fuente.

L_b es la iluminancia del fondo (paredes y techo).

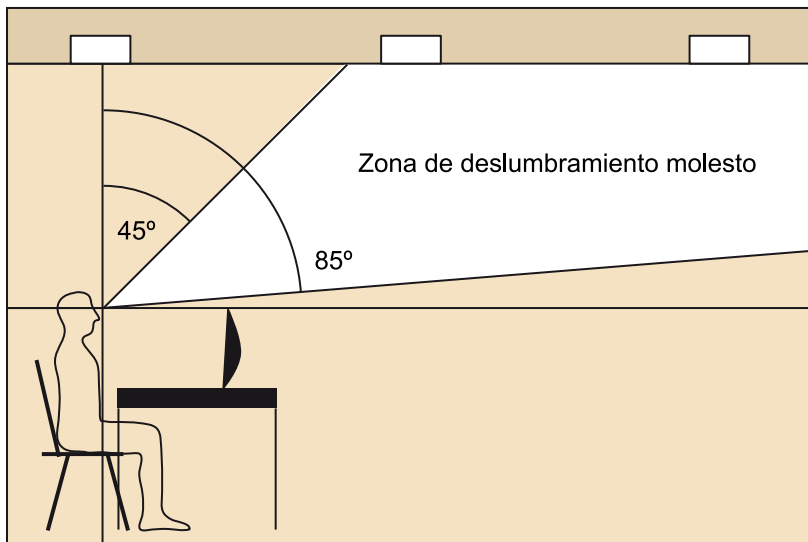
ω es el tamaño angular de la fuente.

ρ es la excentricidad de la fuente.

Las luminarias con componente indirecta, que se distribuyen uniformemente, aportan menor UGR, por lo que ofrecen la solución ideal para oficinas.

El sistema de apantallar las lámparas es una buena solución para las fuentes de luz intensivas demasiado luminosas en el campo de visión, ya que pueden provocar deslumbramiento. Para lámparas abiertas hacia abajo, o provistas de una tapa transparente, el ángulo de apantallamiento está definido como el ángulo entre el plano horizontal y la dirección visual bajo el cual empiezan a ser visibles las partes luminosas de las lámparas en la luminaria.

Los valores UGR no se encuentran en vigor para luminarias con componente indirecta exclusivamente, así como para luminarias que se encuentren por debajo de la altura de los ojos (luminarias de escritorio). Los ángulos mínimos de apantallamiento deben observarse para las densidades lumínicas indicadas en todos los planos de radiación.



Ángulo de deslumbramiento molesto

Las tareas visuales que requieren el trabajo en una pantalla de ordenador se pueden ver afectadas por el reflejo de partes luminosas de luminarias con una densidad lumínica demasiado alta. En la normativa se han especificado los límites de la densidad lumínica de luminarias que pueden reflejarse en pantallas con una inclinación hasta 15° y una dirección visual normal.

Para pantallas de cristal líquido muy poco reflectantes y pantallas de rayos catódicos modernas, poco reflectantes para oficinas, deben observarse en visualización positiva (fondo blanco) límites de 1.000 cd/m^2 , y de 200 cd/m^2 para pantallas de rayos catódicos con visualización negativa, por ejemplo en puestos de trabajo CAD.

Las densidades lumínicas indicadas no se deben superar en ninguno de los planos de radiación y para todos los ángulos de radiación mayores que 65° medidos respecto a la vertical dirigida hacia abajo.

Los últimos avances en el terreno de la informática han dado como fruto, entre otras muchas cosas, pantallas de ordenador que reflejan mucho menos la luz y que no generan apenas deslumbramientos al usuario. Este hecho permite diseñar la iluminación de una oficina con ordenadores con mucha mayor libertad. Así, incluso al trabajar con ordenadores portátiles, que cambian a menudo de posición y orientación, se evitan reflejos y deslumbramientos molestos.

13.3.4. Factor de mantenimiento

El envejecimiento, la suciedad y la disminución del flujo luminoso de las lámparas por la acción del tiempo hacen necesaria una correcta planificación del mantenimiento global del conjunto de la instalación, planificando la periodicidad de acciones para corregir las deficiencias que ocasiona la pérdida de eficiencia de nuestra instalación por el paso del tiempo.

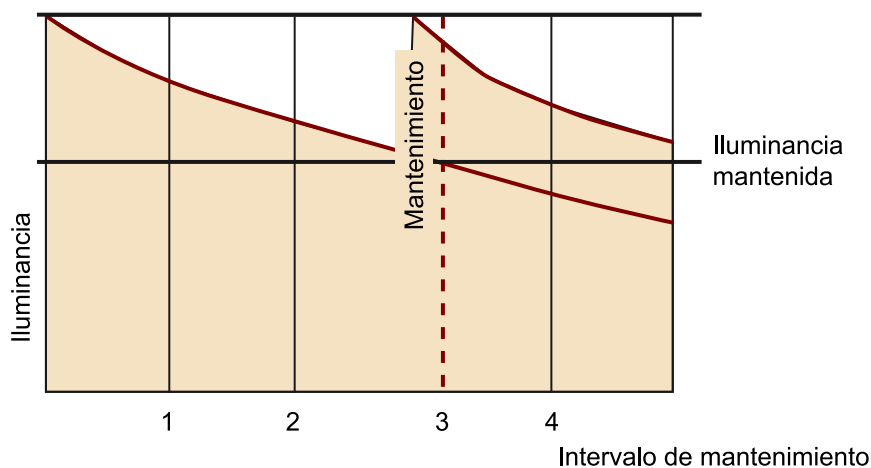
Es preciso, pues, considerar esta disminución del flujo luminoso en la planificación de una instalación de iluminación en forma de un factor de mantenimiento apropiado para garantizar un determinado nivel de iluminación, expresado por el valor de mantenimiento de la intensidad lumínica durante un periodo adecuado.

El factor de mantenimiento está definido como la relación entre el valor de mantenimiento y el valor inicial de la intensidad lumínica.

El proyectista debe elaborar un plan de mantenimiento para la instalación de iluminación. En este plan de mantenimiento deben especificarse los intervalos de reposición de las lámparas, los intervalos de limpieza de las luminarias y del local, así como eventualmente los métodos de limpieza que se deberán emplear.

Actualmente, existen programas de cálculo de iluminación, como el Dialux (ya citado), que permiten calcular los índices de mantenimiento mediante la simple introducción de los valores de periodicidad de mantenimiento para cada uno de los elementos que intervienen en él.

Intensidades lumínicas durante el periodo de servicio de una instalación de iluminación:



Intervalo de mantenimiento

Cálculo del factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento (MF, *maintenance factor*) puede determinarse multiplicando los componentes individuales:

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RMF$$

Fórmula

Donde:

LLMF es el factor de mantenimiento del flujo luminoso de lámparas (*lamp lumen maintenance factor*).

LSF es el factor de duración de vida de lámparas LSF (*lamp survival factor*).

LMF es el factor de mantenimiento de luminarias (*luminaire maintenance factor*).

RSMF es el factor de mantenimiento del local (*room surface maintenance factor*).

A continuación se explican cada uno de ellos, detalladamente.

LLMF es el factor de mantenimiento del flujo luminoso de lámparas.

Este factor es la relación entre el flujo luminoso después de un determinado periodo de servicio y el valor inicial del flujo luminoso.

Los valores del factor de mantenimiento del flujo lumínico de lámparas pueden extraerse de informaciones de los fabricantes, de curvas estandarizadas de promedios vigentes para todos los fabricantes o de publicaciones básicas como por ejemplo la publicación 97 del Comité Español de Iluminación.

LSF es el factor de duración de vida de lámparas LSF.

En una instalación de iluminación, cada lámpara tiene una duración de vida que difiere, en mayor o menor medida, de la duración media. La duración de vida media corresponde al promedio de horas en servicio de un grupo de lámparas cuando han fallado la mitad de ellas.

La probabilidad de que, después de una determinada duración en servicio de un conjunto de lámparas, aún se encuentre funcionando una determinada cantidad de estas se determina mediante el factor de duración de vida de lámparas (LSF).

Según el tipo de lámpara la duración es distinta. La duración de vida de las lámparas fluorescentes se basa normalmente en un ritmo de conmutación con dos horas y tres cuartos en estado conectado y un cuarto de hora en estado desconectado; para lámparas de descarga de gas de alta presión se supone un ritmo de conmutación con once horas en estado conectado y una hora en estado desconectado. Los valores del factor de duración de vida de las lámparas pueden determinarse de forma análoga a los del factor de mantenimiento del flujo luminoso de las lámparas.

LMF es el factor de mantenimiento de luminarias.

El ensuciamiento es otro factor importante, y supone un grado de pérdida de luz que depende del tipo y tamaño de las partículas suspendidas en el aire, así como del tipo de luminarias y de las lámparas utilizadas. En la publicación 97 del Comité Español de Iluminación se propone para tipos frecuentes de luminarias un esquema de clasificación con seis niveles. Para los distintos tipos de luminarias y el grado de contaminación con polvo y suciedad pueden determinarse los factores de mantenimiento de lámparas (LMF) en función del tiempo de duración de las luminarias en la instalación de iluminación desde la última limpieza.

RMF es el factor de mantenimiento del local.

La relación entre el factor de rendimiento de iluminación del local en un momento arbitrario y el factor de rendimiento de iluminación del local inmediatamente después de la última limpieza de las superficies de este local es el factor de mantenimiento del local.

Este depende, generalmente, del tamaño del local, de los grados de reflexión de las superficies y de la distribución de los flujos lumínicos de la instalación. Además, depende del tipo y grado de contaminación del aire en el local, que tiene consecuencias inmediatas en la disminución de los factores de reflexión de las superficies del local.

La publicación 97 del Comité Español de Iluminación permite extraer los factores de mantenimiento del local que pueden esperarse bajo supuestos simplificados.

Para determinar los factores de mantenimiento, en función de factores individuales, se ofrecen al proyectista numerosas posibilidades para optimizar las instalaciones de iluminación respecto a los intervalos de mantenimiento y, de esta manera, también relativo a los gastos de inversión y en servicio mediante aplicación de lámparas, luminarias y balastos apropiados.

Como valor estándar de referencia del factor de mantenimiento se puede tomar 0,67, en caso de que no se tengan informaciones detalladas.

El factor de mantenimiento puede aumentarse cuando se cumplen una o varias de las siguientes condiciones:

- Las lámparas tienen una baja disminución del flujo luminoso en función de la duración en servicio, como, por ejemplo, lámparas led.
- Se emplean luminarias con poca tendencia a la acumulación de polvo.
- Se utilizan balastos que alargan la duración de vida útil de las lámparas (por ejemplo, balastos electrónicos).
- Los periodos de servicio anuales son cortos.
- Se da una baja frecuencia de conexión y desconexión.
- Los intervalos de mantenimiento y limpieza son cortos, y se lleva a cabo la sustitución de las lámparas de forma individual y por grupos.
- Es un entorno con baja cantidad de polvo.
- Las superficies reflectantes tienen poca tendencia a la acumulación de polvo o al amarilleo.

Sin embargo, el factor de mantenimiento debe reducirse cuando no se cumplen las condiciones anteriores.

13.3.5. Índice de reproducción cromática

Las luminarias en el lugar de trabajo deben cumplir con los índices de reproducción cromática marcados por la norma, y las temperaturas de color de estas fuentes de luz deben estar adaptadas a la tarea que se realiza en cada puesto de trabajo.

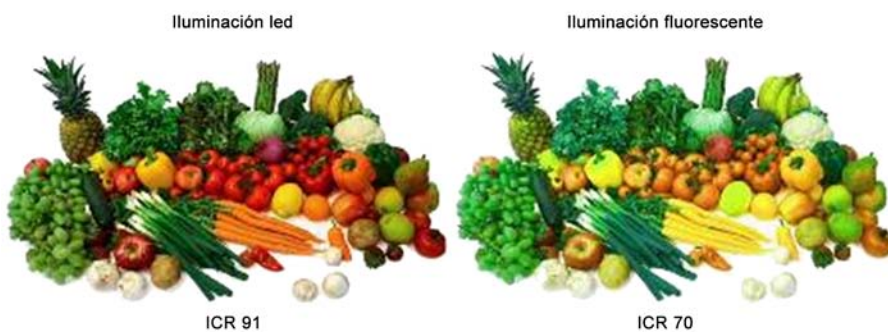
El color de la luz es muy importante, sobre todo en los lugares en los que uno permanece durante largos periodos de tiempo, ya que de ello depende que las personas parezcan sanas y atractivas.

Una sensación de bienestar y confort dependerá en gran parte de cómo se distinguen los colores del entorno, de los objetos y de las personas, que deben reproducirse de la manera más natural posible.

El cálculo de este factor se ha definido mediante el índice de rendimiento en color (Ra o IRC). Este se obtiene tras la comparación de 8 o 14 colores de muestra.

Un valor de 100 significará que los colores se han reproducido exactamente igual que la realidad, y a medida que nos alejamos del 100, se va perdiendo definición sobre los colores. En 80 se ha estipulado el baremo que no hay que sobrepasar para que la iluminación de un centro de trabajo sea correcta.

- Ra < 60 pobre
- 60 < Ra < 80 bueno
- 80 < Ra < 90 muy bueno
- Ra > 90 excelente



Índice de reproducción cromática

13.3.6. Temperatura de color

La apariencia del color es la cromaticidad de la luz emitida. La luz blanca puede variar a más o menos fría según la sensación que esta nos transmita.

La temperatura de color se mide en Kelvin y se relaciona con la temperatura física del filamento, en una fuente de luz incandescente.

La luz nos parecerá más cálida cuanto menor sea su temperatura y más fría o azulada cuanto mayor sea esta. En una fuente de luz sin filamento (de descarga) la temperatura de color se sabrá por la apariencia de la luz.

Según la Comisión Internacional de Iluminación, las fuentes de luz se dividen en tres clases según su temperatura de color:

- Blanco cálido: $T_c < 3.500 \text{ }^\circ\text{K}$
- Blanco neutro: $3.500 \text{ }^\circ\text{K} < T_c < 5.000 \text{ }^\circ\text{K}$

- Blanco frío: $T_c > 5.000 \text{ }^\circ\text{K}$

Pero esto no es más que una apariencia, como su nombre indica, por lo que la elección de una apariencia de color más fría o más cálida solo depende del gusto de cada uno.

Los colores de la sala, los muebles y el nivel de iluminancia pueden influir en la elección: en climas cálidos se suele preferir una apariencia de color más fría, y viceversa.

Con noches oscuras y días más largos, las personas nos sentimos cansadas. Recientes investigaciones han demostrado que la escasez de luz azul influye en nuestro reloj biológico, haciendo que nuestros cuerpos se relajen. La iluminación puede energizar a las personas.

Por ello, la evolución de las nuevas fuentes de luz va dirigida a imitar la luz del día ($20.000 \text{ }^\circ\text{K}$ a mediodía y sin aporte directo de la luz solar) optimizando el tanto por ciento de aporte de luz azul, amplificando nuestra propia energía y prolongando nuestra actividad por más tiempo.

13.3.7. Valor de eficiencia energética

Con la aplicación del Código técnico de la edificación (CTE), se ha añadido un nuevo concepto en la caracterización de la iluminación: la eficiencia energética en la iluminación. En este campo el led tiene, sin duda, los mejores resultados respecto a sus competidores.

Los valores mínimos para cada zona en eficiencia energética de una instalación de iluminación vienen determinados por el CTE y se calculan mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI (W/m^2) por cada 100 lux, mediante la fórmula:

$$\text{VEEI} = P \times 100 / S \times E_m$$

Fórmula

Donde:

P es la potencia total instalada en lámparas teniendo en cuenta los equipos auxiliares, como son los balastros [W].

S es la superficie iluminada [m^2].

E_m es la iluminancia media [lux].

La eficiencia energética se consigue usando la mínima energía para una óptima utilidad. El aprovechamiento de la luz natural es el factor más importante para un buen rendimiento, en cualquier caso, respecto a cualquier otro sistema de iluminación utilizado. La luz artificial es, pues, un complemento que debe optimizar sus consumos al máximo.

Los puntos importantes que se deben considerar para una buena eficiencia energética en iluminación artificial son estos:

- Una buena eficacia luminosa per energía consumida, utilizando sistemas lumínicos de alto rendimiento.
- Utilización de elementos reflectores de calidad, con poca pérdida lumínica, así como sistemas de balastro electrónicos.
- Tener en cuenta los valores de luminosidad mínimos exigidos por norma, según la actividad realizada, así como los valores límites de los recintos.

Estos valores incluyen la iluminación general (zonas de no representación o espacios donde predomina el criterio del nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética. Quedan relegados en un segundo plano el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación).

Los valores que no se incluyen dentro del VEEI son los de iluminación ornamental (zonas de representación o espacios donde predomina el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación. Quedan en un segundo plano el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética).

El rendimiento energético dependerá de la luminaria empleada.

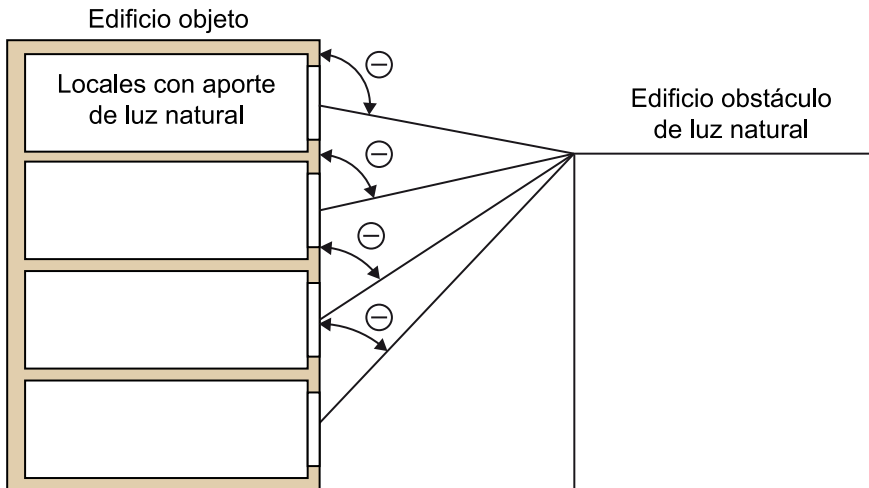
El proyecto de iluminación debe prever, para cada zona, un sistema de regulación y control con las siguientes condiciones:

1) Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, cuando no disponga de otro sistema de control; no se aceptarán los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control.

Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia o sistema de temporización.

2) Se instalarán sistemas de aprovechamiento de luz natural, que regulen el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural, en la primera línea paralela de luminarias situadas a una distancia inferior a 3 metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, en los siguientes casos:

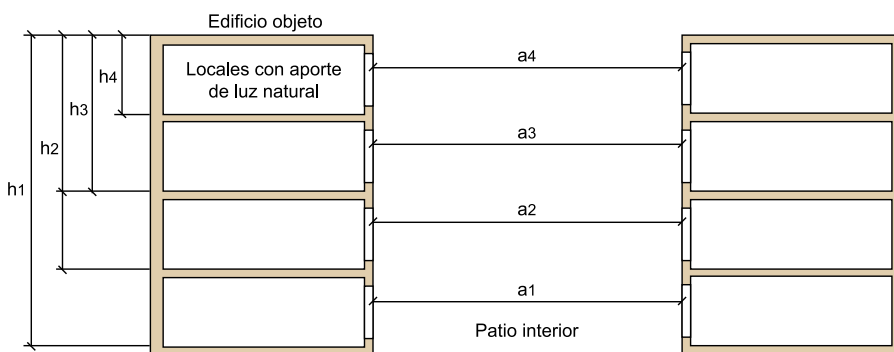
a) En las zonas que cuenten con cerramientos acristalados al exterior, cuando estas cumplan que el ángulo de visión del cielo sea mayor que 65° , siendo T el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo.



Sistemas de regulación y control, zonas de cerramientos acristalados

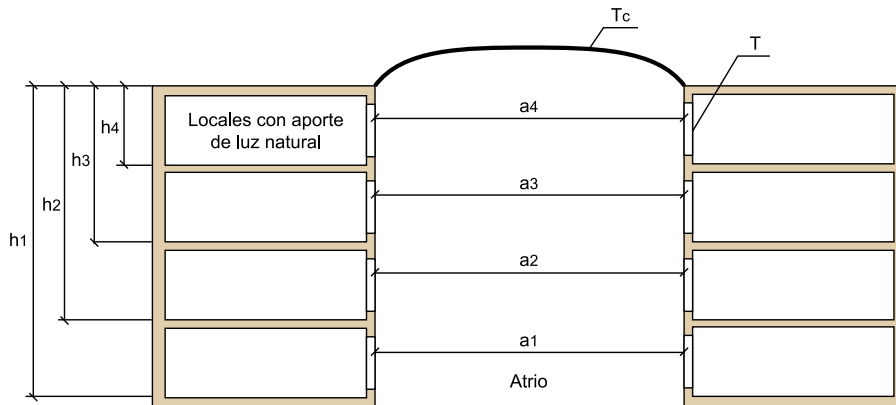
b) En todas las zonas que cuenten con cerramientos acristalados a patios o atrios, cuando estas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

i) En el caso de patios no cubiertos cuando estos tengan una anchura (ai) superior a 2 veces la distancia (hi), siendo hi la distancia entre el suelo de la planta donde se encuentre la zona en estudio y la cubierta del edificio.



Sistemas de regulación y control, zonas de cerramientos acristalados que dan a patios

ii) En el caso de patios cubiertos por acristalamientos (atrios) cuando su anchura (ai) sea superior a $2/Tc$ veces la distancia (hi), donde hi es la distancia entre el suelo de la planta donde se encuentre la zona en estudio y Tc el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio del patio o atrio.



Sistemas de regulación y control, zonas que dan a patios cubiertos por acristalamientos

iii) Cuando $T^* (Aw/A) > 0,07$. Donde T es el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno; Aw es el área de acristalamiento de la ventana de la zona (m^2) y A es el área total de las superficies interiores del local (m^2): (suelo + techo + paredes + ventanas).

Quedan excluidos de cumplir las exigencias de los puntos anteriores los siguientes recintos interiores:

- Zonas comunes en edificios residenciales.
- Habitaciones de hospital.
- Habitaciones de hoteles, hostales, etc.
- Tiendas y pequeño comercio.

13.4. Iluminación led

13.4.1. Composición del led

El led se fabrica depositando por capas, a modo de vapores, los distintos materiales que lo componen. Estos materiales se depositan sobre una base, o sustrato, que influye en la dispersión de la luz.

Los primeros leds de AlInGaP (aluminio, indio, galio y fósforo) se depositaban sobre sustratos de GaAs (arseniuro de galio), el cual absorbe la luz innecesariamente.



Imagen de dispositivo led

Un adelanto, en este campo, fue reemplazar en un segundo paso el sustrato de GaAs por uno de GaP (fosfato de galio), que es transparente, lo que ayuda a que más luz sea emitida fuera del encapsulado.

Por lo tanto, este nuevo proceso dio origen al TS AlInGaP (*transparent substrate*) y los AlInGaP originales pasaron a denominarse AS AlInGaP (*absorbent substrate*).

Luego, este mismo proceso se utilizó para los leds de GaAlAs (arseniuro de galio-aluminio) y dio origen al TS GaAlAs y al AS GaAlAs.

En ambos casos la eficiencia luminosa se incrementaba típicamente en un factor de 2, pudiendo llegar en algunos casos a incrementarse en un factor de 10.

Como efecto secundario de reemplazar el AS por el TS se nota un pequeño cambio al rojo en la frecuencia de emisión, generalmente menor a los 10 nm.

A final de los noventa se cerró el círculo sobre los colores del arco iris, cuando gracias a las tareas de investigación del Shuji Nakamura, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de leds, de origen japonés, llegó al desarrollo del led azul.

Este led siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa frecuencia (del orden de los 460 nm).

Hoy en día, coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC, silicio-carbono, otra basada en el GaN, galio-nitrógeno, otra basada en InGaN, indio-galio-nitrógeno sobre sustrato de zafiro, y otra GaN (nitruro de galio), sobre sustrato SiC.

El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado.

Otras técnicas, como la de ZnSe, zinc-selenio, han sido dejadas de lado y, al parecer, el SiC seguirá el mismo camino debido a su bajo rendimiento de conversión y elevada degradación con la temperatura.

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro.

Es también posible lograr otros colores con el mismo material, GaN, como, por ejemplo, el verde azulado o turquesa, de una frecuencia del orden de los 505 nm.

Otros colores también son posibles de conseguir como, por ejemplo, el púrpura, violeta o ultravioleta.

Este último es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca que la mera combinación de los colores primarios, ya que, añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes.

A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor.

En la tabla siguiente se detallan las distintas frecuencias de emisión típica de los leds y sus materiales correspondientes:

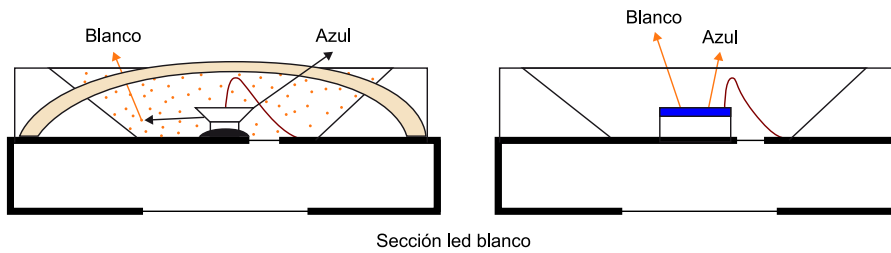
Frecuencia	Color	Material
940	Infrarrojo	GaAs
890	Infrarrojo	GaAlAs
700	Rojo profundo	GaP
660	Rojo profundo	GaAlAs
640	Rojo	AlInGaP
630	Rojo	GaAsP/GaP
626	Rojo	AlInGaP
615	Rojo-naranja	AlInGaP
610	Naranja	GaAsP/GaP
590	Amarillo	GaAsP/GaP
590	Amarillo	AlInGaP
565	Verde	GaP

Frecuencia	Color	Material
555	Verde	GaP
525	Verde	InGaN
525	Verde	GaN
505	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
498	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
480	Azul	SiC
450	Azul	InGaN/Zafiro
430	Azul	GaN
425	Azul	InGaN/Zafiro
370	Ultravioleta	GaN

Led de luz blanca

El led de luz blanca es el led utilizado en iluminación. Existen dos procesos para fabricarlo:

- La mezcla de la luz de tres chips: un chip azul, otro verde y otro rojo, como ya se ha comentado anteriormente.
Rara vez se usa este sistema para producir un led blanco, aunque sí se hace para realizar juegos de colores, puesto que regulando la intensidad de cada uno de ellos podemos pasar por todo el espectro de colores.
- Mediante la combinación de un chip azul o ultravioleta y fósforos, como se hace con el principio de la fluorescencia.
Así, podemos obtener luz blanca fría o cálida en función de los fósforos que utilicemos. Si usamos led azul con fósforos amarillos, tendremos un led blanco frío y relativamente de buena reproducción cromática, Ra sobre 70. En el caso de usar fósforo rojos y verdes junto al chip azul podemos obtener un led blanco cálido de mejor reproducción cromática, Ra > 80, pero conseguiremos algo menos de flujo luminoso.
Además, se debe tener en cuenta el proceso de recubrimiento de los fósforos que se realiza sobre el led azul. Según el proceso se obtendrán diferentes resultados:
 - Si se realiza de manera convencional, producirá una luz blanca muy poco uniforme en cuanto a temperatura de color.
 - Si es un proceso de recubrimiento conformado, la luz será totalmente uniforme.



Sección led blanco

13.4.2. Funcionamiento del led

Para conectar leds de modo que iluminen de forma continua, deben estar polarizados directamente, es decir, con el polo positivo de la fuente de alimentación conectada al ánodo y el polo negativo conectado al cátodo.

Además, la fuente de alimentación debe suministrarle una tensión, o diferencia de potencial, superior a su tensión umbral.

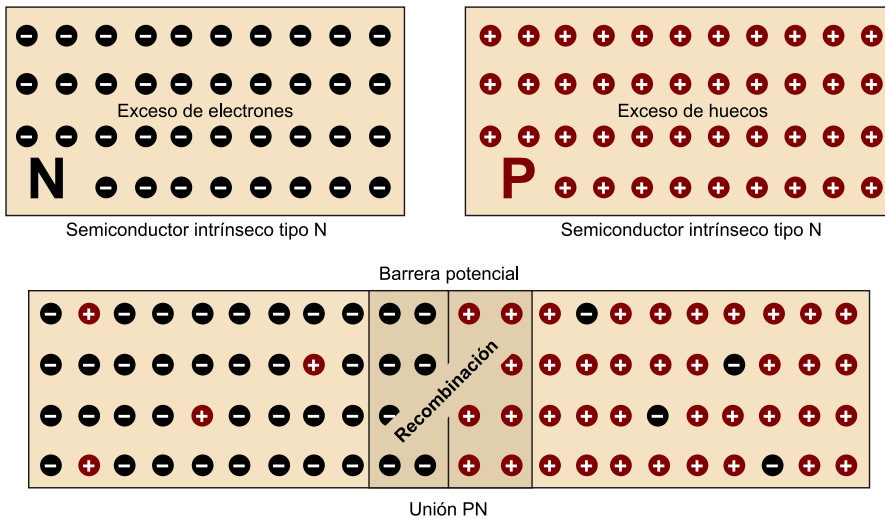
Por otro lado, se debe garantizar que la corriente que circula por ellos no excede los límites admisibles.

Principio físico

El fenómeno de emisión de luz está basado en la teoría de bandas, por la cual, una tensión externa aplicada a una unión p-n, polarizada directamente, excita los electrones de manera que son capaces de atravesar la banda de energía que separa las dos regiones. Si la energía es suficiente, los electrones escapan del material en forma de fotones.

Cada material semiconductor tiene unas determinadas características y, por tanto, una longitud de onda de la luz emitida.

A diferencia de la lámpara de incandescencia, cuyo funcionamiento es por una determinada tensión, los leds funcionan por la corriente que los atraviesa. Su conexión a una fuente de tensión constante debe estar protegida por una resistencia limitadora.



Unión PN

Teoría de bandas

En un átomo aislado, los electrones pueden ocupar determinados niveles energéticos pero, cuando los átomos se unen para formar un cristal, las interacciones entre ellos modifican su energía, de tal manera que cada nivel inicial se desdobra en numerosos niveles, que constituyen una banda, existiendo entre ellas huecos, llamados bandas energéticas prohibidas, que solo pueden salvar los electrones en caso de que se les comunique la energía suficiente.

En los aislantes, la banda inferior menos energética (banda de valencia) está completa con los electrones más internos de los átomos, pero la superior (banda de conducción) está vacía y separada por una banda prohibida muy ancha (~ 10 eV), imposible de atravesar por un electrón.

En el caso de los conductores, las bandas de conducción y de valencia se encuentran superpuestas, por lo que cualquier aporte de energía es suficiente para producir un desplazamiento de los electrones.

Entre ambos casos se encuentran los semiconductores, cuya estructura de bandas es muy semejante a los aislantes, pero con la diferencia de que la anchura de la banda prohibida es bastante pequeña.

Los semiconductores son, por lo tanto, aislantes en condiciones normales, pero una elevación de temperatura proporciona la suficiente energía a los electrones para que, saltando la banda prohibida, pasen a la de conducción, dejando en la banda de valencia el hueco correspondiente.

En el caso de los diodos led, los electrones consiguen saltar fuera de la estructura en forma de radiación que percibimos como luz (fotones).

Uno de los factores más críticos para el correcto funcionamiento del led es la temperatura. Si se aumenta excesivamente su temperatura, reduciremos la vida y el flujo obtenido por el componente. A la vez, también cambiarán las características cromáticas.

Los colores rojo, ámbar y amarillo son especialmente susceptibles a la temperatura. Los colores verde, azul y blanco mantienen una estabilidad del flujo superior al rojo.

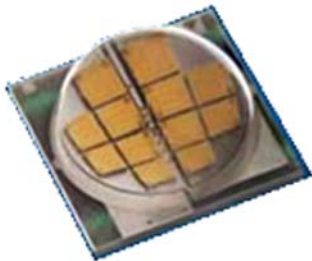
13.4.3. Tipos de leds

Hay muchos tipos de led que se pueden distinguir por diversas propiedades. Los leds se pueden **parametrizar por corriente**.

Dependiendo del encapsulado que tengan, pueden soportar potencias diferentes:

Leds de alta potencia

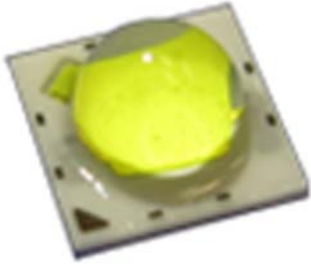
Son robustos, pequeños, con alta eficiencia, pero necesitan disipar mucho calor, con lo cual necesitan una carcasa exterior muy grande. Estos leds pueden llegar a 2 W y su mínimo sería 1 W.



Led de alta potencia

Leds de media potencia

Son los que se suelen encontrar en tiras de led. Consumen poco y tienen una gran eficiencia y muy buena disipación. La desventaja es que son menos robustos. Cuando se utilizan leds de media potencia se suelen poner varios para poder llegar a la potencia deseada. Su potencia es de entre 1,5 y 2 W.



Led de media potencia

Leds multichip o COB

Acumulan mucha iluminación en un solo punto y lo consiguen mediante muchos diodos juntos, bajo una misma capa de fósforo, con lo cual parece un solo led. Estos leds puede llegar a grandes potencias, pero su grado de deslumbramiento también es mayor. Necesitan una gran carcasa para disipar todo el calor que generan, muy superior a los demás casos. Es una opción muy interesante para focos.



Led multichip

También se pueden distinguir **según su color:**

- Leds blancos, para iluminación. Dentro de estos están todas las posibles temperaturas, desde las cálidas hasta las frías.
- Led RGB+Y. Se trata de sistemas con leds de colores, que se aplican para iluminación ambiental, arquitectónica o espectacular. Con leds de colores básicos (rojo, verde y azul) se puede obtener toda la gama de colores, a excepción del blanco cálido. Por ello se integra un led de color amarillo, y así se generan los diferentes niveles de temperatura de color blanco.

La obtención de cada color depende del porcentaje de luz que haga cada uno de los leds integrados en la luminaria. La regulación se efectúa mediante PWM (modulación por ancho de pulsos).

Para la gestión de los diversos colores que queramos generar, existen múltiples sensores de color para detectar el color de salida y permitir una regulación precisa del color.

Es difícil hacer una diferenciación de los leds **por su forma**, ya que es un mercado emergente y excepcionalmente dinámico, y hay infinidad de encapsulados en el mercado.

Aun así, a continuación se hace una recopilación de los más estandarizados. La gran mayoría son diseñados para ser insertados SMD (*surface mounted device*).

Binning

Aunque un led tenga las mismas características, en una misma fabricación, cualquier pequeña variación produce cambios en el producto. En mayor o menor medida se obtienen niveles de consumo, flujo y de color diferentes. La clasificación de estas diferencias es el *binning*.

Para que el ojo humano no detecte estas diferencias entre una misma unidad de embalaje o entre un mismo producto, se entregan con un cribado o *binning*. Cuanto mejor *binning* tenga el producto, mejor homogeneidad. Dependiendo del fabricante, utilizan un *binning* u otro.

Algunos fabricantes de leds tienen un único nivel de flujo. En sus características se especifica el nivel mínimo de flujo. Es el caso de Philips, Cree y Seoul. Otros fabricantes, como Osram y Nichia, referencian con un flujo muy amplio y no permiten una selección pormenorizada del material. En general, la mayoría de los fabricantes de leds seleccionan los colores en bloques de diferencias máximas de 7 nm.

El voltaje directo varía según el bin de color y de flujo, aunque sea en muy pequeño porcentaje. Para hacer sistemas muy eficientes se debe tener en cuenta este parámetro.



Imagen de iluminación con diferentes bins

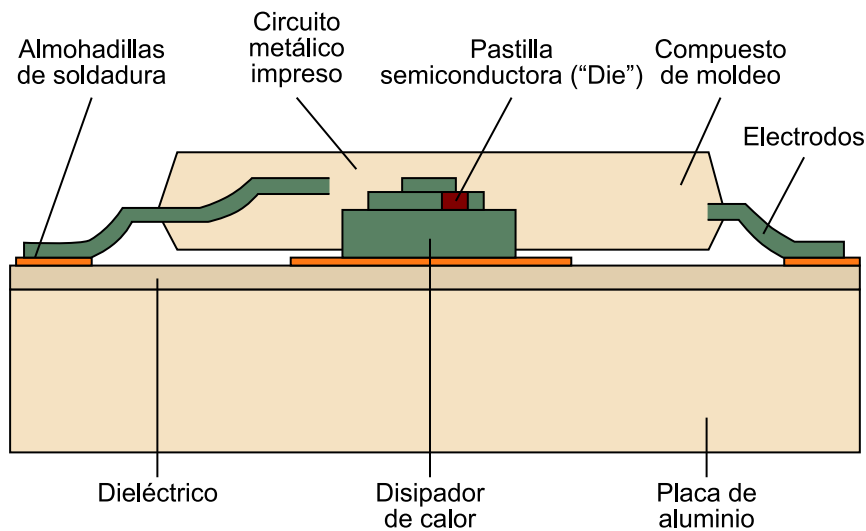
13.4.4. Características técnicas que tener en cuenta en un led

El fabricante proporciona parámetros importantes en su ficha de características técnicas. Los parámetros que hay que tener más en cuenta son los siguientes:

- Flujo
- Temperatura de color
- Voltaje directo
- Eficiencia
- Transferencia térmica
- Unidad de embalaje
- Características térmicas, inserción y herramientas

El led es un dispositivo excepcionalmente frágil. Su tratamiento y manipulación debe ser muy cuidadosa. Para manipularlo hay que procurar trabajar en entornos protegidos de descargas estáticas. El montaje sobre PCB (circuito impreso) ha de ser muy preciso. Como ya se ha visto, el led es un componente excepcionalmente sensible a la temperatura, que afecta tanto a su vida como a su eficiencia.

El sistema constructivo es determinante para obtener el máximo rendimiento. Actualmente hay diversas soluciones técnicas para integrar el led sobre un circuito impreso. Las más extendidas son el circuito de aluminio y la fibra de vidrio de bajo perfil.



Sección de un led

13.4.5. Soluciones ópticas

El material que utilizan todos los fabricantes de ópticas es el PMMA (polimetacrilato). Por defecto, este material tiene un nivel de transmisión de luz del 93%, dependiendo de la calidad del material y su inyección.

Dependiendo de la figura lumínica que se quiere obtener con la óptica, el rendimiento final puede oscilar entre un 80 y un 93%, ya que se pierde flujo lumínico. Este material tiene un buen comportamiento a la degradación por UV. El manipulado de las ópticas se debe efectuar con guantes, procurando no ensuciar su superficie.

En cuanto a tipologías, hay multitud de soluciones ópticas para los leds, con distintos grados de abertura para la luminosidad, así como diferente opacidad.



Ópticas led

13.4.6. Disipación del calor

El circuito que integra el led ha de ser montado sobre un radiador para garantizar una correcta transferencia térmica. Debe incorporar un material de contacto. Generalmente los radiadores son de aluminio y presentan rugosidades en su superficie. Los materiales empleados hacen de base para la transferencia de calor.

El led debe incorporar un adhesivo en instalaciones fijas, siliconas de contacto o alfombrillas térmicas. Es la base imprescindible para que los leds trabajen de una manera eficaz. De su disposición y características depende una parte importante del éxito de una luminaria. Radian más calor si son de color negro y si están orientados de manera adecuada.

El sistema constructivo debe cumplir la siguiente fórmula:

$$T_j = T_a + (P_d * R.Term_{j-a})$$

Fórmula

Donde:

T_j es la temperatura de unión.

T_a es la temperatura ambiente.

P_d es la potencia disipada.

$R.Term_{j-a}$ es la resistencia térmica unión-ambiente.

A su vez:

$$R.Term_{j-a} = Rth_{JS} + Rth_{pcb} + Rth_{silpad} + Rth_{Rad}$$

Fórmula

Donde:

Rth_{JS} es la resistencia térmica unión-punto soldadura.

Rth_{pcb} es la resistencia térmica circuito impreso.

Rth_{silpad} es la resistencia térmica silpad.

Rth_{Rad} es la resistencia térmica del radiador.



Radiador

13.4.7. Fuentes de alimentación

El estándar de alimentación para los leds es la corriente y no el voltaje. Para cada led se especifican las corrientes de trabajo tipo (entre los 10 mA y 1 A). El sistema de alimentación de los leds de potencia es habitualmente a corriente constante. El régimen habitual de trabajo es de 350 mA.

La tensión varía dependiendo de las características intrínsecas del led. El led tiene un coeficiente de temperatura negativo, es decir, el voltaje en bornes del componente se reduce con la temperatura de la unión. Cuando este se calienta, el potencial para mantener en conducción el led es menor.

En cualquier sistema de iluminación es imprescindible evaluar adecuadamente el sistema de alimentación. El alimentador debe siempre estar en relación con la carga; si no, el sistema está desequilibrado.

Se pueden instalar fuentes de corriente conectadas a 230 VCA que alimenten directamente un conjunto de leds (como si fuera un balastro) o una fuente de alimentación y después los convertidores o alimentadores más adecuados.

La incorporación de una fuente de alimentación en una luminaria led debe tener presente las implicaciones térmicas del equipo final. La eficiencia de la fuente es imprescindible para obtener un balance Lm/W correcto, ya que esta también tiene un consumo.

El papel fundamental de la fuente de alimentación es proporcionar y controlar con precisión la corriente en el circuito, pues una corriente demasiado elevada puede destruir los leds, mientras que una corriente demasiado baja produce un rendimiento luminoso muy pobre. Por tanto, para asegurar una máxima luminosidad y longevidad en los leds de potencia, el secreto está en la utilización de una fuente de corriente adecuada en cada caso, con los elementos periféricos y pasivos adecuados.

Las fuentes de alimentación suelen tener una salida de corriente constante, pues así se asegura una correcta alimentación de los leds, que por otro lado implica una conexión en serie, para los que forman una hilera de la misma salida. Algunos leds funcionan con corriente alterna, aunque su ciclo de vida y rendimiento se ven reducidos notablemente.

Las fuentes tienen un umbral fijo de operación (tensión de conducción de la unión p-n del diodo), lo que presupone una regulación muy estricta, por ejemplo, de tipo electrónico, encargada de variar el ciclo de trabajo de los leds, y regulando su potencia. Así, la vida de un led de potencia es del orden de unas 50.000 horas, trabajando en condiciones normales.

La relación entre corriente y flujo luminoso es casi proporcional; es preciso añadir un sistema de control de corriente para dar respuesta a los diferentes requisitos de los leds. Existen numerosos tipos de controladores, y de lo que se trata es de definir qué topología es la más adecuada para dar respuesta a la necesidad concreta, en función de su coste, de la corriente nominal máxima, de las dimensiones físicas, de qué elementos periféricos o pasivos son necesarios, y atendiendo especialmente a los requisitos de atenuación.

Básicamente podemos encontrar dos tipos de controladores: lineales y de potencia en modo conmutado:

- Los **alimentadores lineales** suelen ser menos eficientes que los conmutados, aunque la eficiencia depende del diseño del equipo que se vaya a implementar. En muchos casos, puede ser más eficiente un sistema lineal a uno conmutado, pero no es lo habitual. Siempre son sistemas reductores. La tensión de alimentación debe ser superior a la tensión de salida. La diferencia entre la potencia de entrada y la de salida se evacua en forma de calor. Su coste es inferior a un sistema conmutado y el espacio que ocupa suele ser más reducido. El tiempo de desarrollo es inferior a un sistema conmutado. La respuesta electromagnética es mejor y tiene un limitador térmico integrado. Algunos modelos incluyen un detector de estado.
- Los **alimentadores conmutados** son conversores DC/DC que parten de una fuente de tensión en la entrada y alimentan la salida en corriente. Tienen un nivel de conversión de potencia de entre el 80 y el 96%. Esta tipología es más cara que un alimentador lineal, pues integra muchos más componentes. Presenta más complejidad en su desarrollo, pues genera muchas más interferencias electromagnéticas. Generalmente ocupan más volumen y su tiempo de desarrollo es más largo. Integran sistemas de regulación digital y analógica. Incluyen detectores de estado y algunos dispositivos también incluyen control de temperatura. Son cortocircuitables.

En cuanto a la monitorización de la temperatura, cuando se ha elegido la topología del controlador, el único requisito de interfaz adicional para el diseño es el medio para monitorizar la temperatura de la pastilla en el led. Hay varios sensores de temperatura disponibles en el mercado, cada uno con su propio formato de salida.

La consideración final es la generación de la tensión del nivel de control y, si el microcontrolador está alimentado desde una batería, el nivel de control puede compensarse por software, dado que hay disponible circuitería adicional para medir y regular la tensión de la batería.

En general la alimentación de los leds se hace conectándolos en serie a su fuente de corriente. También se puede hacer una conexión en paralelo, pero habitualmente, si se hace de esta manera, hay paralelos de varias hileras de leds en serie.



Fuente de alimentación

13.4.8. Alimentación. Protocolos de comunicación

Existen varios tipos de comunicación para gestionar la iluminación:

- DMX512: Protocolo habitual para instalaciones de espectáculos, teatros y entornos profesionales. Cobertura de hasta 2 km. Protocolo muy limitado en información. Sin retorno de información. Sistemas totalmente esclavos.
- DALI: Protocolo habitual en las instalaciones de luz (oficinas, domésticas, etc.). Nodos máximos de 64 luminarias. Cobertura de hasta 150 metros. Retorna información del estado de las luminarias. Sistemas semiautónomos.
- DSI: Protocolo propiedad de TRIDONIC. Protocolo muy específico de este fabricante. Todas las luminarias son esclavas para cada canal. Cobertura de hasta 300 metros. Reporta estado de las luminarias.
- EIB/LONWORKS: Protocolos complejos para instalaciones domóticas. EIB es el protocolo más extendido en Europa. No hay demasiado producto referido a iluminación led.
- PLC: Protocolo de transmisión de información a través de la red eléctrica. De futura implantación en iluminación pública. Gran cobertura y envío individual de información a cada punto.

13.4.9. Rendimiento

El rendimiento del led va mejorando con la investigación, y dependiendo del fabricante y la calidad del producto puede variar considerablemente.

Como medida básica se puede considerar como un mal rendimiento de led unos 70 lúmenes/W, y como rendimiento muy bueno, 120 lúmenes/W, aunque hoy en día, las mejores marcas ya llegan a los 150 lúmenes /W.

Para generalizar, podríamos decir que 100 lúmenes/W es una medida estándar entre los fabricantes. Si comparamos esto con el resto de los sistemas de iluminación, vemos que el rendimiento del led es considerablemente superior, excepto en algunos casos, donde aunque este sea superior no lo es en gran medida. Así pues, se tiene:

Tipo de lámpara	Luminosidad (lm/W)
Incandescente	15
Halógena	20
Mercurio a alta presión	50
Fluorescente compacta	65
Fluorescente	70
Halogenuros metálicos	80
Sodio a alta presión	90
Sodio a baja presión	100

Aparte de la luminosidad, hay otros factores que dan un mejor rendimiento a la tecnología led.

Cuando se habla de luminosidad de una lámpara se está contando en todas direcciones. Las lámparas convencionales emiten luz en 360°. Siempre se cuenta con elementos reflectores que direccionan la luz que se pierde en dirección opuesta al área que iluminar para ganar luminosidad, pero este redireccionamiento también provoca grandes pérdidas de lúmenes en el camino.

En el caso de los leds, estos tienen un ángulo máximo de reflexión de 120°, con lo cual el direccionamiento requerido para nuestra área que hemos de iluminar siempre será muy inferior y con ello también las pérdidas.

Otro factor que se debe tener en cuenta en el rendimiento de las lámparas es la durabilidad, mucho mayor en el led. Aunque sería más por un tema de rentabilidad, económicamente hablando, con lo cual se tratará en el apartado “mantenimiento”.

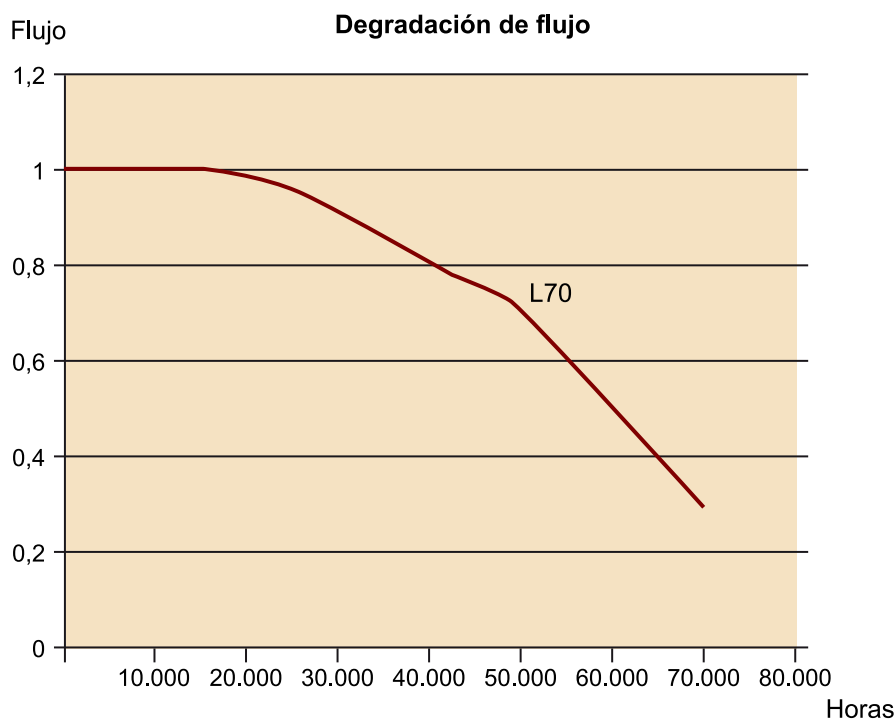
13.4.10. Mantenimiento

El mantenimiento de las lámparas led es una de sus grandes ventajas.

La durabilidad del led es de unas 50.000 horas, habitualmente, aunque puede descender considerablemente con malas condiciones, como una temperatura demasiado elevada. Cuando se dice que el ciclo de vida de un led es de unas 50.000 horas, no significa que deje de funcionar. En las características técnicas, habitualmente se verá el concepto:

$$L_{70} = 50.000 \text{ horas}$$

Siempre se utiliza el parámetro L70. Este parámetro estándar lumínico define que, a partir de las horas especificadas, aunque el led no deja de funcionar, desciende su flujo lumínico por debajo del 70% del flujo inicial.



Degradación del flujo

13.4.11. Diseño de luminarias

En el mercado actual, con poca obra de nueva planta debido a la crisis en el sector de la construcción, las soluciones que abundan en el mercado en tecnología led son sustituciones directas de las luminarias convencionales estándar.

Así pues, aunque el led tiene muchas posibilidades novedosas de cambiar el concepto y las formas de las actuales luminarias, de momento, la mayoría de los fabricantes optan por las soluciones más comerciales.

El diseño habitual que se ha seguido hasta ahora en las lámparas led es el de sustitución de las lámparas convencionales con un formato similar, dado que la operación que se está realizando con más frecuencia es la sustitución en instalaciones existentes para el ahorro energético. La sustitución directa es la solución más rápida y económica para la inversión que se busca.

Así, se encuentran diseños muy típicos, tales como los siguientes:

Proyectores	
Downlights	
Apiques	
Luminarias de carril	
Estructuras lineales empotradas tipo fluorescente (lineales, paneles 60 x 60)	
Luminarias estancas tipo fluorescente	

Señalización de suelo, balizas



Campanas industriales



En estos casos, como ya se ha dicho, las luminarias de sustitución suelen ser luminarias led con un formato muy similar a sus antecesoras que se adaptan perfectamente a la instalación.

También existe la posibilidad de la sustitución de la bombilla, salvando la carcasa de la luminaria convencional, pero es una solución que nunca tiene las mismas prestaciones, ya que el led necesita unas condiciones de temperatura óptimas, y dentro de una carcasa de iluminación convencional es difícil que pueda conseguir disipar todo el calor para un rendimiento y vida útil óptimos.



Bombilla led

Aparte de todas estas soluciones, también hay nuevos diseños, como los conocidos perfiles led, con gran aceptación en el mercado.



Perfiles led



Diversos tipos de luminarias led

13.5. Comparativa iluminación led frente a convencional. Ventajas y desventajas

13.5.1. Ventajas de la tecnología led

- Larga durabilidad. La vida media de un led, hasta que llega a perder un 30% de su luminosidad (concepto llamado L70), está estimada en aproximadamente 50.000 horas. Dependerá de dos factores importantes, como son la temperatura de funcionamiento y la corriente de alimentación.
- Reducción del gasto de energía gracias a que tiene una mayor eficiencia lumínica, pudiéndose conseguir un ahorro de un 80%. Mayor estabilidad de la red eléctrica al funcionar a baja tensión y consumir mucha menos energía.
- No contienen sustancias tóxicas como el mercurio y el plomo.
- Dirigen la luz de manera eficaz y precisa sobre la zona a iluminar evitando la contaminación lumínica, aspecto muy importante en el alumbrado público exterior.
- Mayor uniformidad y luminosidad. El sistema óptico de led es altamente direccional, con lo que aumenta la luminosidad y reduce las masas oscuras y pérdidas de luz.
- Mantenimiento muy inferior, ya que las lámparas led –al contrario que las demás tecnologías actuales– están compuestas por elementos sólidos que no incorporan filamentos, lo cual los hace mucho menos delicados y menos dados a romperse o tener fallos durante su vida.
- Las lámparas led no requieren un tiempo de arranque para llegar a su nivel óptimo de la luminosidad y son fácilmente regulables mediante el control de flujo de corriente.

- La luz que genera el led no aumenta la temperatura de la estancia, por lo que utilizando tecnología led también reducimos el consumo energético en refrigeración.
- Cabe añadir que la tecnología led es una de las que menos impacto de ultravioletas tiene y, por tanto, que mayor seguridad fotobiológica representa.

13.5.2. Desventajas tecnología led

- La tecnología led todavía es más cara que otras tecnologías, aunque esta diferencia se va reduciendo muy rápidamente por los grandes avances que se han dado en poco tiempo.
- El led es muy sensible a la temperatura, con lo cual, en ciertas situaciones extremas donde la luminaria no pueda disipar correctamente el calor puede reducir considerablemente su eficiencia y durabilidad.

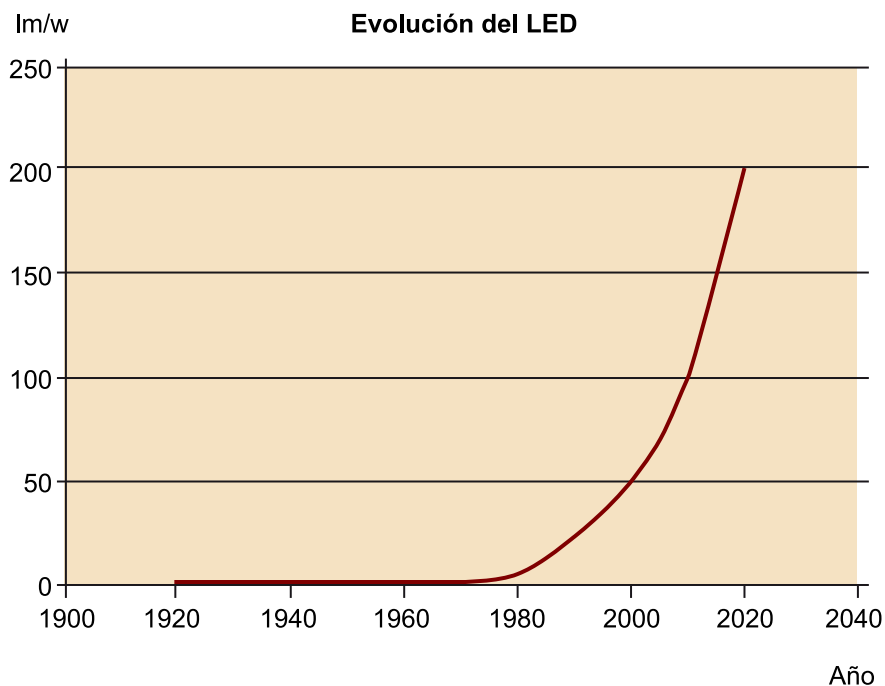
13.6. Perspectiva de futuro del led

El primer led se inventó a mediados del siglo XX. A partir de aquí el led se empieza a producir industrialmente. Los únicos colores disponibles eran rojos, verdes y amarillos, con poca intensidad de luz. Se utilizaban únicamente como indicadores de encendido y apagado de electrodomésticos y como control remoto en mandos a distancia, debido a su capacidad de operación a altas frecuencias.

Hacia los años noventa aparecen los leds ultravioletas y azules, lo que da paso al desarrollo del led blanco, que básicamente es un led azul con recubrimiento de fósforo, que produce una luz amarilla. La mezcla del led azul y amarillo produce una luz blanca, que consigue una alta luminosidad, base de la cual se parte para comenzar a aplicar el led a los sistemas de iluminación.

A partir de aquí ha habido una gran evolución del led desde sus inicios hasta la actualidad, tanto en rendimiento como en reducción de costes, lo que hace cada vez más eficiente esta tecnología y, por tanto, más atractiva desde el punto de vista inversor.

Previsiblemente, el led en el año 2020 llegará a un rendimiento de 180 lúmenes/W, prácticamente el máximo de sus posibilidades. A partir de aquí, la eficiencia no mejorará, en gran medida.



Evolución del led

13.7. Casas comerciales de referencia

- Podemos destacar en cuanto a fabricantes de leds las siguientes casas comerciales: Nichia, Philips Lumiled, Cree, Osram, Seoul Semiconductor, Avago, Luminus, Samsung led, Osram OS, LG Innotek, Sharp, Everlight y Toyoda-Gasei.
- Como fabricantes de luminarias podemos destacar las siguientes: Lamp, Simon, Lledó, Nexia, Philips, Leds C4 y Microplus Germany, entre muchos otros.

13.8. Archivo fotográfico de iluminación led en recintos hospitalarios

A continuación se muestran diferentes fotografías de recintos hospitalarios con iluminación led, realizadas por empresas referentes en este sector:



Hospital Clínic, PET-CAT, Barcelona 2013
Fuente: Simon



Hospital Clínic, Cek, Barcelona 2013
Fuente: Simon



Clínica Platón, quirófanos, Barcelona 2013
Fuente: Simon



Hospital de Mollet, habitaciones, Mollet del Vallès 2010
Fuente: Lamp



Hospital Sant Joan de Reus, habitaciones, Reus 2010
Fuente: Lamp

14. Energía fotovoltaica

El Código Técnico de la Edificación prescribe una contribución de las energías renovables a los proyectos de instalaciones eléctricas de los edificios. Sin embargo, estas son contribuciones testimoniales. Ahora bien, el diseño de los hospitales modernos, con una importante proporción de cubiertas planas, ofrece unas posibilidades muy interesantes para su aprovechamiento en la producción de energía solar fotovoltaica con un rendimiento económico favorable, aún aplicando tarifas restrictivas actuales del RD 1578/2008.

14.1. Consideraciones generales

En el 2007 y especialmente en el 2008 (con 2511 MW instalados), España se convirtió en el primer país mundial en potencia fotovoltaica instalada per cápita y en el segundo después de Alemania en cifras absolutas. Este fenómeno de debió a las altas primas con que se subvencionaron estas instalaciones.

Un cambio legislativo –que limita en 500 MW la potencia anual y baja la subvención de 450 €/MW a 340 €/MW–, junto a las restricciones crediticias, han puesto freno a la euforia, pero el Proyecto de Energías Renovables sigue en pie y tiene objetivos a medio plazo para favorecer un desarrollo continuado de esta energía (y, de hecho, hay empresas dispuestas a invertir en este campo).

Un hospital puede, opcionalmente, contratar con terceros esta instalación, arrendando el techo solar del que dispone, y dar amplio cumplimiento a las prescripciones del CTE.

Por ello, en un proyecto de las instalaciones eléctricas de hospital no puede faltar el diseño de la disposición de placas fotovoltaicas en cubierta.

14.2. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica por medio de módulos fotovoltaicos. Éstos son dispositivos formados por metales sensibles a la luz, que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos. Así, convierten energía luminosa en energía eléctrica.

Están formados por células elaboradas a base de silicio puro, con adición de impurezas de ciertos elementos químicos, y son capaces de generar de 2 a 4 amperios cada una, a un voltaje de 0,46 a 0,48 V, utilizando la radiación solar.



Módulos fotovoltaicos

Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado a las aplicaciones eléctricas; los paneles captan la energía solar transformándola directamente en energía eléctrica en forma de corriente continua. Y ésta se almacena en acumuladores, para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz.

Los módulos fotovoltaicos admiten tanto radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados.

La instalación fotovoltaica se compone de:

Un generador solar: conjunto de paneles fotovoltaicos que captan energía luminosa y la transforman en corriente continua a baja tensión.

Los módulos fotovoltaicos funcionan, como se ha dejado entrever en el anterior apartado, por el efecto fotoeléctrico. Cada célula fotovoltaica está compuesta de, al menos, dos delgadas láminas de silicio. Una está dopada con elementos con menos electrones de valencia que el silicio, denominada "P"; y otra, con elementos con más electrones que los átomos de silicio, denominada "N". Ambas están separadas por un semiconductor.

Aquellos fotones procedentes de la fuente luminosa, que presentan energía adecuada, inciden sobre la superficie de la capa P, y al interaccionar con el material liberan electrones de los átomos de silicio que, en movimiento, atraviesan la capa de semiconductor, pero no pueden volver. La capa N adquiere una diferencia de potencial respecto a la P. Si se conectan unos conductores

eléctricos a ambas capas y estos, a su vez, se unen a un dispositivo o elemento eléctrico consumidor de energía que, usualmente y de forma genérica, se denomina "carga", se iniciará una corriente eléctrica continua.

Este tipo de paneles, pues, producen electricidad en corriente continua y, aunque su efectividad depende tanto de su orientación hacia el sol como de su inclinación con respecto a la horizontal, se suelen montar instalaciones con orientación e inclinación fija, y así ahorrar en su mantenimiento.

La Norma especifica el cálculo de la eficiencia en base a una temperatura de 25 °C de la placa y una irradiancia recibida de 1.000 W/m². Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de 41,81° sobre la horizontal. Bajo estas condiciones, una célula solar típica de 100 cm², y de una eficiencia del 12% aproximadamente, puede llegar a producir una potencia de 1,2 vatios.

En un día soleado, el sol irradia alrededor de 1 kW/m² a la superficie de la Tierra. Considerando que los paneles fotovoltaicos actuales tienen una eficiencia típica de entre el 12% y el 25%, esto supondría una producción aproximada de entre 120-250 W/m² en función de la eficiencia del panel fotovoltaico y las horas de irradiación solar. Por otra parte, se están produciendo grandes avances en la tecnología fotovoltaica y ya existen paneles experimentales con rendimientos superiores al 40%.

Acumulador: almacena la energía producida por el generador. Una vez almacenada, existen dos opciones:

- Sacar una línea para la instalación en corriente continua.
- Transformar, a través de un inversor, la corriente continua en corriente alterna.

Regulador de carga: su función es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, puesto que los daños podrían ser irreversibles. Debe asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficacia.

Inversor: se encarga de transformar la corriente continua producida por el campo fotovoltaico en corriente alterna, la cual alimentará directamente a los usuarios o se venderá a la red pública con tarifas subvencionadas.

Por último: un sistema fotovoltaico no tiene porqué constar siempre de estos elementos, y puede prescindir de uno o más de éstos, teniendo en cuenta el tipo y tamaño de las cargas a alimentar, además de la naturaleza de los recursos energéticos en el lugar de instalación.

14.3. Legislación

La instalación de energía fotovoltaica está regulada por el Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de Retribución de la Actividad de Producción de Energía Eléctrica Mediante Tecnología Solar Fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología. Este Decreto limita el cupo de energía subvencionada y establece nuevas tarifas de subvención.

Tipología de las instalaciones

Según el *artículo 3*, se establecen los siguientes tipos y subtipos:

- **Tipo I:** instalaciones sobre cubierta (en el RD se concreta su alcance), que se agrupan en los siguientes subtipos:
 - **Tipo I.1:** con potencia inferior o igual a 20 kW.
 - **Tipo I.2:** con potencia superior a 20 kW e inferior o igual a 2 MW.
- **Tipo II:** instalaciones sobre suelo (las no incluidas en el tipo I) de potencia inferior o igual a 10 MW.

Potencia anual por tipología de las instalaciones

De acuerdo con el *artículo 5* y con la *Disposición Transitoria Única* del RD 1578/2008, se establecen las siguientes potencias anuales por tipología:

- **Tipo I.1:** 26,7 MW anuales para cada año 2009 y 2010.
- **Tipo I.2:** 240,3 MW anuales para cada año 2009 y 2010.
- **Tipo II:** 233 MW anuales para 2009 y 193 MW anuales para 2010.

Número de convocatorias

De acuerdo con el *artículo 5* y el *anexo II* del RD 1578/2008, se establecen 4 convocatorias anuales para los años 2009 y 2010, de tal manera que la potencia objetivo a incluir en cada una de ellas es de:

- **Tipo I.1:** 6,675 MW por convocatoria para cada año 2009 y 2010.
- **Tipo I.2:** 60,075 MW por convocatoria para cada año 2009 y 2010.
- **Tipo II:** 58,250 MW por convocatoria para el año 2009; y 48,250 MW por convocatoria para el año 2010.

Tarifas por convocatoria

De acuerdo con el *artículo 11* del RD 1578/2008, se establecen las siguientes tarifas para la primera convocatoria:

- **Tipo I.1:** 34,00 €/kWh.

- Tipo I.2: 32,00 €/kWh.
- Tipo II: 32,00 €/kWh.

14.4. El Código Técnico de la Edificación

En su documento básico HE 5, el CTE establece el ámbito de aplicación de sus disposiciones sobre la contribución de la energía solar fotovoltaica a la mejora de eficiencia energética en la edificación. Además, especifica la fórmula de cálculo de la potencia mínima a instalar, en función de diferentes factores limitativos del edificio y de la zona climática, aportando las tablas de valores correspondientes a los coeficientes. También acepta que esta estrategia de eficiencia energética pueda ser substituida por otra medida equivalente de ahorro energético que aporte los mismos resultados.

La instalación debe cumplir los requisitos de seguridad que prescriben las instrucciones técnicas del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, las condiciones de la compañía distribuidora a la que esta generación va acoplada y las Normas UNE EN 61215 y 61646 que son de aplicación.

Por otra parte, si vamos a una concepción simplificada de la misma la fórmula es sencilla.

Aplicación del CTE en el dimensionado de una instalación de aprovechamiento de energía fotovoltaica (ejemplo)

Para realizar este ejemplo, hemos supuesto un rendimiento más bien pobre de la conversión fotovoltaica. La experiencia puede demostrar los valores reales de potencia alcanzada y de producción anual.

Aplicando la fórmula $P = C (A \times S + B)$, para una zona II y un hospital de tamaño medio (25.000 m²), con los coeficientes correspondientes ($A = 0.00074$ y $B = 3,29$):

la potencia pico P sería de $1,1(0,00074 \times 25.000 + 3,29) = 25$ Kw

Una aproximación de dimensionado de placas en cubierta sería el siguiente:

Superficie activa placas de 80 x 160 cm	135 wp/m ²	184 m ²
Superficie de cubierta dedicada		367 m ²
Producción de energía anual	1.271 kWh/ m ²	3.149 kWh

A partir de estos datos, puede calcularse la rentabilidad de la instalación evaluando el coste de las placas y del resto de la instalación en comparación con el precio subvencionado de venta a la compañía que esté vigente.

Sección HE 5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación

1) Los edificios de los usos indicados, a los efectos de esta sección, en la tabla 1.1 incorporarán sistemas de captación y transformación de energía solar por procedimientos fotovoltaicos (.../...).

Hospitales y clínicas de más de 100 camas

2) La potencia eléctrica mínima determinada en aplicación de exigencia básica que se desarrolla en esta Sección, podrá disminuirse o suprimirse justificadamente, en los siguientes casos:

a) Cuando se cubra la producción eléctrica estimada que correspondería a la potencia mínima mediante el aprovechamiento de otras fuentes de energías renovables.

b) Cuando el emplazamiento no cuente con suficiente acceso al sol por barreras externas al mismo y no se puedan aplicar soluciones alternativas.

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

d) En edificios de nueva planta, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la normativa urbanística aplicable que imposibiliten de forma evidente la disposición de la superficie de captación necesaria.

e) Cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.

3) En edificios para los cuales sean de aplicación los apartados b), c), d) se justificará, en el proyecto, la inclusión de medidas o elementos alternativos que produzcan un ahorro eléctrico equivalente a la producción que se obtendría con la instalación solar mediante mejoras en instalaciones consumidoras de energía eléctrica tales como la iluminación, regulación de motores o equipos más eficientes.

1.2 Procedimiento de verificación

1) Para la aplicación de esta sección debe seguirse la secuencia que se expone a continuación:

a) Cálculo de la potencia a instalar en función de la zona climática cumpliendo lo establecido en el apartado 2.2.

b) Comprobación de que las pérdidas debidas a la orientación e inclinación de las placas y a las sombras sobre ellas no superen los límites establecidos en la tabla 2.2.

c) Cumplimiento de las condiciones de cálculo y dimensionado del apartado 3.

d) Cumplimiento de las condiciones de mantenimiento del apartado 4.

2. Caracterización y cuantificación de las exigencias

2.1 Potencia eléctrica mínima

1) Las potencias eléctricas que se recogen tienen el carácter de mínimos pudiendo ser ampliadas voluntariamente por el promotor o como consecuencia de disposiciones dictadas por las administraciones competentes.

2.2 Determinación de la potencia a instalar

1) La potencia pico a instalar se calculará mediante la siguiente fórmula:

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

Siendo

P la potencia pico a instalar [kWp];

A y B: los coeficientes definidos en la tabla 2.1 en función del uso del edificio.

C: el coeficiente definido en la tabla 2.2 en función de la zona climática establecida en el apartado 3.1.

S: la superficie construida del edificio [m²].

Tabla 2.1 Coeficientes de uso

Hospitales y clínicas privadas

A = 0,000740

B = 3,29

Zona climática C

I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,3
V	1,4

2) En cualquier caso, la potencia pico mínima a instalar será de 6,25 kWp. El inversor tendrá una potencia mínima de 5 kW.

3) La superficie S a considerar para el caso de edificios ejecutados dentro de un mismo recinto será:

a) En el caso que se destinen a un mismo uso, la suma de la superficie de todos los edificios del recinto.

b) En el caso de distintos usos, de los establecidos en la tabla 1.1, dentro de un mismo edificio o recinto, se aplicarán a las superficies construidas correspondientes, la expresión 2.1 aunque éstas sean inferiores al límite de aplicación indicado en la tabla. 1.1. La potencia pico mínima a instalar será la suma de las potencias picos de cada uso, siempre que resulten positivas. Para que sea obligatoria esta exigencia, la potencia resultante debe ser superior a 6,25 kWp.

4) La disposición de los módulos se hará de tal manera que las pérdidas debidas a la orientación e inclinación del sistema y a las sombras sobre el mismo sean inferiores a los límites de la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Pérdidas límite

5) En la tabla 2.2 se consideran tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica. Se considera que existe integración arquitectónica cuando los módulos cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con en fin de favorecer la autolimpieza de los módulos. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

6) En todos los casos se han de cumplir las tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores obtenidos con orientación e inclinación óptimas y sin sombra alguna. Se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima la latitud del lugar menos 10°.

7) Sin excepciones, se deben evaluar las pérdidas por orientación e inclinación y sombras del sistema generador de acuerdo a lo estipulado en los apartados 3.3 y 3.4. Cuando por razones arquitectónicas excepcionales no se pueda instalar toda la potencia exigida cumpliendo los requisitos indicados en la tabla 2.2, se justificará esta imposibilidad analizando las distintas alternativas de configuración del edificio y de ubicación de la instalación, debiéndose optar por aquella solución que más se aproxime a las condiciones de máxima producción.

3. Cálculo**3.1 Zonas climáticas**

1) En la tabla 3.1 y en la figura 3.1 se marcan los límites de zonas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la radiación solar global media diaria anual sobre superficie horizontal (H), tomando los intervalos que se relacionan para cada una de las zonas.

Tabla 3.1. Radiación solar global

3.2 Condiciones generales de la instalación

3.2.1 Definición

1) Una instalación solar fotovoltaica conectada a red está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, generando energía eléctrica en forma de corriente continua y adaptarla a las características que la hagan utilizable por los consumidores conectados a la red de distribución de corriente alterna. Este tipo de instalaciones fotovoltaicas trabajan en paralelo con el resto de los sistemas de generación que suministran a la red de distribución.

2) Los sistemas que conforman la instalación solar fotovoltaica conectada a la red son los siguientes:

a) Sistema generador fotovoltaico, compuesto de módulos que a su vez contienen un conjunto elementos semiconductores conectados entre si, denominados células, y que transforman la energía solar en energía eléctrica.

b) Inversor que transforma la corriente continua producida por los módulos en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica.

c) Conjunto de protecciones, elementos de seguridad, de maniobra, de medida y auxiliares.

3) Se entiende por potencia pico o potencia máxima del generador aquella que puede entregar el módulo en las condiciones estándares de medida. Estas condiciones se definen del modo siguiente:

a) irradiancia 1.000 W/m^2 ;

b) distribución espectral AM 1,5 G;

c) incidencia normal;

d) temperatura de la célula $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.2.2 Condiciones generales

1 Para instalaciones conectadas, aun en el caso de que éstas no se realicen en un punto de conexión de la compañía de distribución, serán de aplicación las condiciones técnicas que procedan del RD 1663/2000, así como todos aquellos aspectos aplicables de la legislación vigente.

3.2.3 Criterios generales de cálculo

3.2.3.1 Sistema generador fotovoltaico

1) Todos los módulos deben satisfacer las especificaciones UNE-EN 61215:1997 para módulos de silicio cristalino o UNE-EN 61646:1997 para módulos fotovoltaicos de capa delgada, así como estar cualificados por algún laboratorio acreditado por las entidades nacionales de acreditación reconocidas por la Red Europea de Acreditación (EA) o por el Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, demostrado mediante la presentación del certificado correspondiente.

2) En el caso excepcional en el cual no se disponga de módulos cualificados por un laboratorio según lo indicado en el apartado anterior, se deben someter éstos a las pruebas y ensayos necesarios de acuerdo a la aplicación específica según el uso y condiciones de montaje en las que se vayan a utilizar, realizándose las pruebas que a criterio de alguno de los laboratorios antes indicados sean necesarias, otorgándose el certificado específico correspondiente.

3) El módulo fotovoltaico llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo y nombre ó logotipo del fabricante, potencia pico, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación.

4) Los módulos serán clase II y tendrán un grado de protección mínimo IP65. 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) Las exigencias del Código Técnico de la Edificación relativas a seguridad estructural serán de aplicación a la estructura soporte de módulos.
- 6) El cálculo 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. La estructura se realizará teniendo en cuenta la facilidad de montaje y desmontaje, y la posible necesidad de sustituciones de elementos.
- 7) La estructura se protegerá superficialmente contra la acción de los agentes ambientales.
- 8) En el caso de instalaciones integradas en cubierta que hagan las veces de la cubierta del edificio, la estructura y la estanqueidad entre módulos se ajustará a las exigencias indicadas en la parte correspondiente del Código Técnico de la Edificación y demás normativa de aplicación.

3.2.3.2 Inversor

- 1) Los inversores cumplirán con las directivas comunitarias de seguridad eléctrica en baja tensión y compatibilidad electromagnética.
- 2) Las características básicas de los inversores serán las siguientes:
 - a) principio de funcionamiento: fuente de corriente;
 - b) autoconmutado;
 - c) seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador;
 - d) no funcionará en isla o modo aislado.
- 3) La potencia del inversor será como mínimo el 80% de la potencia pico real del generador fotovoltaico.

3.2.3.3 Protecciones y elementos de seguridad

- 1) La instalación incorporará todos los elementos y características necesarias para garantizar en todo momento la calidad del suministro eléctrico, de modo que cumplan las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica en Baja Tensión y Compatibilidad Electromagnética.
- 2) 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 particular, se usará en la parte de corriente continua de la instalación protección clase II o aislamiento equivalente cuando se trate de un emplazamiento accesible. Los materiales situados a la intemperie tendrán al menos un grado de protección IP65.
- 3) La instalación debe permitir la desconexión y seccionamiento del inversor, tanto en la parte de corriente continua como en la de corriente alterna, para facilitar las tareas de mantenimiento.

4 Mantenimiento

- 1) Para englobar las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:
 - a) plan de vigilancia;
 - b) plan de mantenimiento preventivo.

4.1 Plan de vigilancia

- 1) El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales (energía, tensión, etc.) para verificar el correcto funcionamiento de la instalación, incluyendo la limpieza de los módulos en el caso de que sea necesario.

4.2 Plan de mantenimiento preventivo

- 1) Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.
- 2) El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar fotovoltaica y las instalaciones eléctricas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.
- 3) El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.
- 4) El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá, al menos, una revisión semestral en la que se realizarán las siguientes actividades:
 - a) comprobación de las protecciones eléctricas;
 - b) comprobación del estado de los módulos: comprobar la situación respecto al proyecto original y verificar el estado de las conexiones;
 - c) comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc.;
 - d) comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornes), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes, limpieza.

Esquemas

Esquema CGBT y alimentación

Leyendas cuadros

Subcuadro eléctrico de distribución

Subcuadro de quirófanos

Subcuadro SAI para quirófanos

Bibliografía

Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314 de 17 de marzo de 2006.

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), según redacción actualizada en el Real Decreto 842 de agosto 2002.

Normas UNE/ EN/ IEC de referencia:

IEC 60364: 2002. Instalaciones eléctricas en locales de uso médico.

IEC 60755. Equipos para detección y alarma de corrientes de defecto.

IEC 61557: 2008. Equipos para vigilancia de aislamiento en sistemas IT.

IEC/EN: 60601. Seguridad de los equipos electromédicos.

UNE 12464. Iluminación en lugares de trabajo.

UNE 20178. Transformadores de potencia.

UNE 20392: 1993. Aparatos autónomos para alumbrado de emergencia-fluorescencia.

UNE 20460. 4.41: 2003. Protecciones de seguridad.

UNE 20460. 4.43: 2003. Protecciones de seguridad.

UNE 20460. 7.710: 1998. Instalaciones eléctricas en edificios: locales de uso médico.

UNE 20572-1: 1997. Efectos de la corriente sobre el hombre.

UNE 20615: 1985 / UNE/EN 61557: 2008. Sistemas con transformador de aislamiento para uso médico y sus dispositivos de control y protección.

UNE 21144: 1997. Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible.

UNE-EN 60298. Celdas de acometida en MT.

UNE-EN 60439. Construcción de cuadros eléctricos.

UNE-EN 60742: 1996. Transformadores de separación de circuitos y transformadores de seguridad. Requisitos.

UNE-EN 60947: 1999. Aparata de baja tensión: Interruptores automáticos.

UNE-EN 61558: 1999. Seguridad de los transformadores, unidades de alimentación y análogos.

UNE-HD 603. Cables de distribución de tensión asignada 0,6/1 kV.