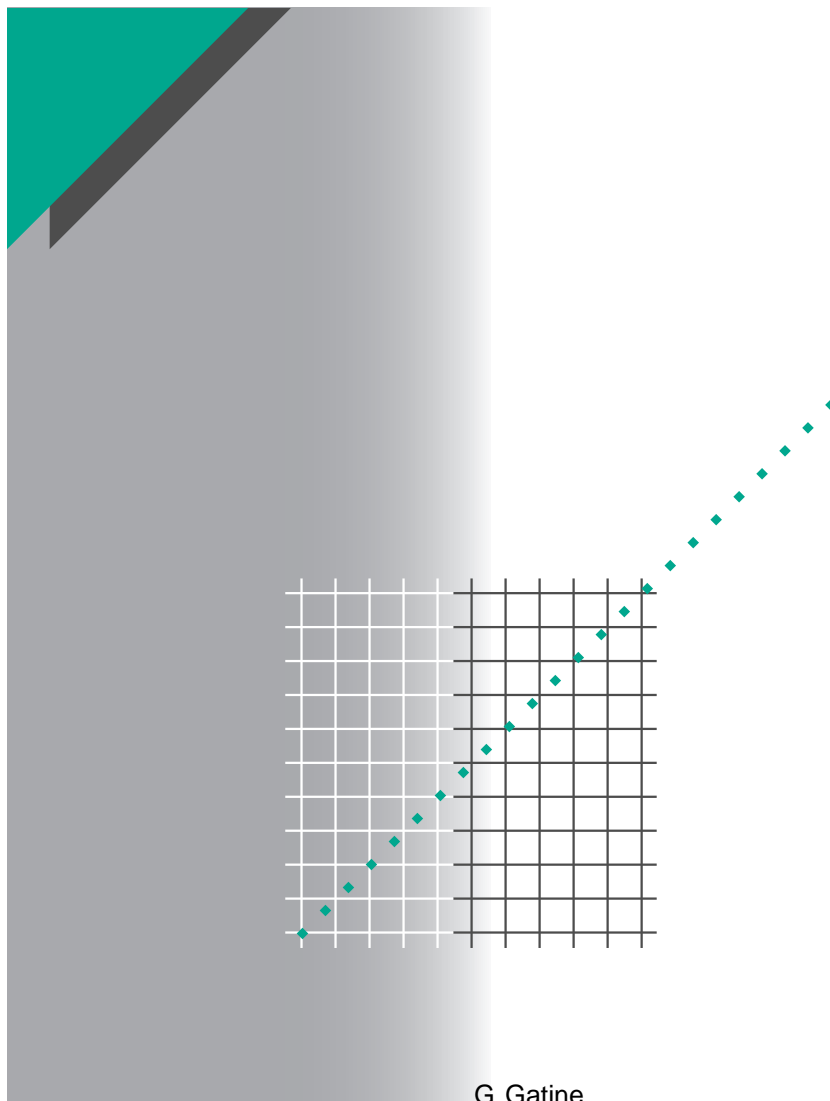


Cuaderno Técnico nº 148

Distribución eléctrica de alta disponibilidad



G. Gatine

La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades electrotécnicas y electrónicas. Están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica o más amplia, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:

<http://www.schneiderelectric.es>

Centro de Formación Schneider

C/ Miquel i Badia, 8 bajos

08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80

Fax: (93) 219 64 40

e-mail: formacion@schneiderelectric.es

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» de **Schneider Electric España S.A.**

Advertencia

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la incorrecta utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria: «Reproducción del Cuaderno Técnico nº 148 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 148

Distribución eléctrica de alta disponibilidad



Guy GATINE

Ingeniero en Merlin Gerin desde 1982.

En 1965 se encargó del estudio de los medios de control de los semiconductores en la Société Radiotechnique. En 1966, entró como responsable de estudios en el área de automatismos de Merlin Gerin, trabajando después en el departamento SES (Sistemas Electrónicos de Seguridad).

Actualmente, siempre en el departamento SES, con la gran experiencia adquirida en los campos de la industria nuclear y militar, dirige una actividad de consejo y diseño de instalaciones con alto grado de calidad y disponibilidad.

Trad.: J.M. Giró

Original francés: diciembre 1990

Versión española: octubre 2004



Terminología

ASEFA:

Assotiation des Stations d'Essais Françaises d'Appareillage, que forma parte de la RNE (Réseau National d'Essais).

SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida)

Se compone de un cargador de batería, una batería de acumuladores y un ondulator.

EWICS:

European Workshop in Computer Science, asociación que trabaja en cuestiones de normalización y de métodos de estudios de seguridad.

IFPI:

Internal Function Industrial Procesos, asociación que trabaja en cuestiones de normalización y métodos de estudios de seguridad.

LCIE:

Laboratoire Central d'Industrie Electronique.

MDT (Mean Down Time)

Duración media de un fallo.

MTBF (Mean Time Between Failures)

Tiempo medio de funcionamiento de un dispositivo entre dos averías.

MTTF o MTFF (Mean Time To First Failure)

Tiempo medio de funcionamiento correcto antes del primer fallo.

Distribución eléctrica de alta disponibilidad

El objetivo de este Cuaderno Técnico es aclarar al diseñador de una instalación eléctrica la manera de proyectar una distribución eléctrica que satisfaga un objetivo de continuidad del suministro de la tensión en los bornes de utilización.

Dicho de otro modo: dominar la disponibilidad de la energía para conseguir: «**un determinado objetivo de seguridad de funcionamiento**».

Índice

| | | |
|----------|---|--------------|
| 1 | Introducción | p. 6 |
| 2 | Diseño de una configuración de seguridad | |
| | 2.1 Especificar | p. 7 |
| | 2.2 Construir | p. 8 |
| | 2.3 Demostrar | p. 9 |
| 3 | Descripción de una instalación «de socorro» | p. 10 |
| | 3.1 Los circuitos de distribución | p. 10 |
| | 3.2 El grupo electrógeno | p. 11 |
| | 3.3 Los dispositivos de conmutación de fuentes | p. 12 |
| | 3.4 Fuente de emergencia de «corta duración» (SAI) | p. 12 |
| | 3.5 Los sistemas electrónicos de control | p. 12 |
| | 3.6 Los criterios de funcionamiento | p. 12 |
| | 3.7 Búsqueda e identificación de los puntos débiles | p. 13 |
| 4 | Soluciones para mejorar la disponibilidad | p. 14 |
| | 4.1 Conocer el grado de fiabilidad de los componentes | p. 15 |
| | 4.2 Seleccionar la tecnología | p. 18 |
| | 4.3 Tolerancia a las averías | p. 20 |
| | 4.4 El control de la instalación | p. 20 |
| 5 | Ejemplo de distribución de emergencia con disponibilidad aumentada | p. 22 |
| | 5.1 Especificación | p. 24 |
| | 5.2 Diseñar - crear | p. 24 |
| | 5.3 Disposiciones relativas al mantenimiento | p. 25 |
| | 5.4 Demostrar la disponibilidad especificada | p. 25 |
| 6 | Conclusión | p. 26 |
| | Bibliografía | p. 27 |

1 Introducción

La seguridad de funcionamiento es una característica fundamental de todos sistemas, instalaciones y productos. Esta característica depende del **diseño** y de la **explotación**.

La seguridad de funcionamiento se refiere a la aptitud de un sistema para «funcionar correctamente» a lo largo de su vida.

«Funcionar correctamente» implica:

- no producción de averías (fiabilidad - fiabilité - reliability),
- no producción de averías peligrosas (seguridad - sécurité - safety),
- estar en estado de buen funcionamiento la mayor parte del tiempo (disponibilidad - disponibilité - availability),
- ser rápidamente reparable (mantenibilidad - maintenabilité - maintainability)

Independientemente de sistema y de los esfuerzos realizados en el diseño y la explotación, el nivel de seguridad es una realidad concreta.

Debe de:

- tenerse en cuenta durante el diseño,
- comprobarse a posteriori: durante el funcionamiento de la instalación contando las alteraciones de funcionamiento.

La electricidad, fuente de energía moderna, influye en el nivel de seguridad puesto que es necesaria para su funcionamiento. Su

disponibilidad, o mejor dicho, su no disponibilidad, tiene consecuencias cada vez más importantes en la competitividad de las empresas:

■ en el sector industrial

un corte de alimentación provoca una pérdida de producción;

■ en el sector servicios

el corte de la alimentación provoca el paro de los ordenadores y la parada de diversos elementos auxiliares de utilidad (alumbrado, calefacción, ascensores...). Cuanto más complejos son los sistemas, más perjudicial es el corte de energía, aunque sólo sea muy puntualmente, existiendo siempre riesgo de graves consecuencias.

En los últimos años, la seguridad y la disponibilidad se han desarrollado mucho, sobre todo, en los campos de la aplicaciones nucleares, militares y espaciales. Actualmente, la disponibilidad de la energía es una auténtica preocupación a nivel de la inteligencia, del control de los más variados sistemas y, cada vez más, a nivel de su alimentación de potencia.

Las instalaciones eléctricas, particularmente en cuanto a las cargas sensibles, deben de diseñarse para reducir al mínimo la aparición y consecuencias de las averías de la red de distribución pública (llamada simplemente red a partir de ahora en este Cuaderno Técnico).

2 Diseño de una configuración de seguridad

El enfoque del diseño que se adopte permite, a partir de una estructura inicial simple y mínima, evidenciar los puntos fuertes y los puntos débiles de una alimentación eléctrica, a veces llamada «sistema de alimentación de energía». Así, los puntos débiles mejoran:

- la **robustez y calidad** de los componentes,
- la **redundancia** de los sistemas (duplicación, triplicación...).

Por tanto, el diseño se **optimiza** para conseguir el nivel de seguridad requerido: el esfuerzo del diseño se concentra únicamente en los puntos débiles de la configuración o arquitectura.

Este enfoque necesita el empleo de una metodología de diseño rigurosa, y además la utilización de las técnicas de seguridad.

El diseño (**figura 1**) se desarrolla en tres etapas:

- especificar,
- diseñar/crear,
- demostrar.

La seguridad de un sistema, a partir de especificaciones, queda perfectamente aclarada con la definición misma de seguridad que utilizan los grupos especializados de

trabajo en seguridad de funcionamiento (IFIP, a nivel mundial y EWICS, a nivel europeo): **Calidad del servicio** que se presta de manera que el usuario tenga en ella una **confianza justificada**.

Por tanto, el diseño de un sistema de seguridad necesita **especificar** el servicio esperado (conocer las necesidades), **crear** este servicio (calidad de diseño) y **demostrar** que la solución es conforme con la especificación de seguridad (confianza justificada).

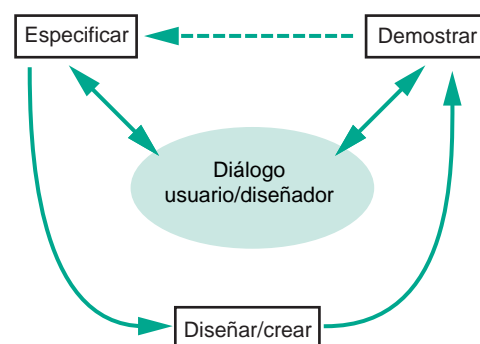


Fig. 1: Método de diseño.

2.1 Especificar

La especificación de las exigencias de seguridad lleva a identificar el «objetivo» a alcanzar y, por tanto, a dosificar el esfuerzo del diseño.

Es una etapa determinante para fijar la configuración.

Esta especificación puede basarse en:

- el **histórico** de «fallos de funcionamiento» de instalaciones similares (sistema de alimentación de energía),
- las **normas** (por ejemplo, MIL) o las recomendaciones,
- los **análisis económicos**, que permiten determinar el coste de una parada de la instalación (consecuencias directas e indirectas) debida a un fallo de funcionamiento,
- la identificación de los sucesos con peores consecuencias que pueden presentarse.

La seguridad es un concepto genérico que abarca cuatro criterios:

- fiabilidad (reliability),
- seguridad (safety),
- disponibilidad (availability),
- mantenibilidad (maintainability).

El Cuaderno Técnico n° 144 «Introducción al diseño de la seguridad» da, entre otras, una definición precisa y oficial de estos términos.

El «especificador» debe de determinar, mediante estos cuatro criterios, que son perfectamente cuantificables, las características de seguridad de su instalación. Se trata pues de determinar, mediante el diálogo con el cliente, cuáles son los sucesos indeseables y cuál es su probabilidad aceptable de aparición en función de la gravedad de sus consecuencias.

2.2 Construir

Una vez determinados los objetivos de seguridad, se trata de «construir» el sistema de seguridad («cómo impedir la producción de averías» y cómo controlarlas). A continuación se definen los medios para prevenirlas.

■ **Calidad: un sistema de seguridad es, ante todo, un sistema de calidad (evitar las averías).**

La calidad debe de tenerse en cuenta en dos sentidos:

□ **calidad del diseño** para evitar los errores de diseño (equipo de proyecto, manual de «seguro de calidad», auditoría...),

□ **calidad de los componentes** que lo constituyen para precaverse de la aparición de averías (robustez, calificación,...).

■ **Sobrevivir a las averías** (tolerar o soportar a las averías)

La robustez y la calidad del sistema no son de los criterios suficientes para garantizar la seguridad. Por lo que se refiere al objetivo que hay que asegurar, ciertas funciones son críticas: una avería de un solo componente puede provocar la pérdida total de la alimentación de energía.

Por tanto, hay que diseñar el sistema para que mantenga los objetivos de seguridad, a pesar de las averías que puedan presentarse pudiendo sobrevenir, mediante sistemas redundantes o utilizando tecnologías especiales (ejemplo: en la circuitería electrónica, lógica que tenga en cuenta las averías).

Para sobrevivir a las averías, es indispensable **detectar** qué función falla.

Y además, es necesario:

□ **dirigir las averías** para que no tengan consecuencias en el objetivo (barreras tecnológicas), y también,

□ **«enmascarar» las averías** mediante el funcionamiento en paralelo de varias unidades, a pesar de que sería suficiente con una sola, lo que permite proseguir la explotación con un equipo equivalente (de socorro o standby).

Para dosificar el esfuerzo que hay que hacer para evitar y/o soportar las averías, deben efectuarse medidas o cálculos de eficacia de estos dispositivos para evaluar de manera inmediata el diseño y permitir adaptar la configuración del sistema a su justo coste.

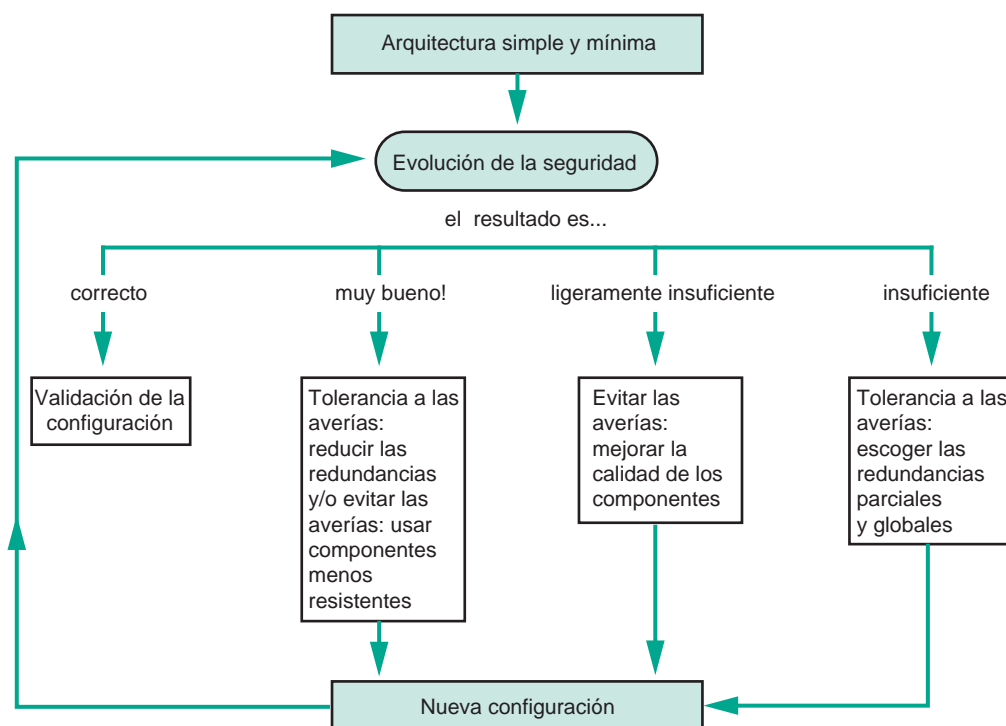


Fig. 2: Proceso para dosificar los esfuerzos de seguridad.

Este paso es «constructivo»: la configuración inicial es la mínima y lo más simple posible (sólo se tienen en cuenta las funciones «útiles»); la configuración se va enriqueciendo en función de los resultados de la valoración de la seguridad para alcanzar el objetivo propuesto en la etapa de especificación.

A fin de aplicar las fases de estudio descritas en la **figura 2**, se necesitan dos procesos de análisis repetitivos para poder diseñar un sistema que satisfaga las exigencias de seguridad.

- La primera vuelta sirve para:
- consolidar las exigencias de la seguridad,

□ determinar, con la ayuda de un método de análisis funcional, una configuración inicial lo más simple y mínima posible,

□ evaluar el grado de seguridad de esta configuración,

□ proponer un cierto número de acciones correctivas en la fase de diseño para aplicar las exigencias de seguridad.

■ El segundo bucle tiene el objetivo de:

□ volver a evaluar el nivel de seguridad de la nueva configuración propuesta en la primera vuelta,

□ dar por válida (o no; en este caso habría que reiniciar el proceso) la configuración respecto a los objetivos de seguridad.

2.3 Demostrar

Para conseguir la «confianza justificada», hay que demostrar al cliente la obtención de un grado de seguridad acorde con el objetivo especificado, mediante dos técnicas:

- la eliminación de las averías debidas al propio diseño: por depuración, pruebas, ensayos del entorno...,
- la previsión de las averías para medir el riesgo (probabilidad) de su aparición a lo largo de vida operativa del sistema.

Los estudios de seguridad tienen precisamente por objetivo la previsión de las averías: se trata de valorar, por modelización y evaluación, la existencia, aparición y consecuencias de las averías.

Los estudios de seguridad preventiva se realizan con la ayuda de un conjunto de métodos de modelización (Análisis de los Modos de Fallo, de sus Efectos y de su Criticidad -AMDEC-, árbol de fallos, gráficas de Markov...).

La evaluación cuantitativa se basa en el análisis de equipos similares que hayan tenido problemas de explotación industrial y/o en informes cuyos resultados estén registrados en estudios fiables (CNET, IEEE).

Los estudios de seguridad logran proporcionar una «confianza justificada» en la instalación. En el esquema más simple de la distribución de energía eléctrica a partir de la red (**figura 3**), el nivel de disponibilidad de las salidas no puede ser superior al de la red.

Si consideramos que el fallo de la red se concreta en estos aspectos:

- tensión fuera de límites,
 - fallo de fases,
 - distorsión armónica (caso de la alimentación de sistemas sensibles, como los sistemas electrónicos),
- el nivel de no-disponibilidad media de la «red EDF» en Francia es del orden de 7 a 8 horas acumuladas por año (o sea, una tasa de no-disponibilidad del orden de $3 \cdot 10^{-3}$). En ciertas regiones puede llegar a 100 horas por año (o sea, una tasa de no-disponibilidad del orden de 10^{-2} , según las observaciones de TDF), debido, sobre todo, al medio ambiente (por ejemplo, las tormentas).

Es, pues, evidente que, si se desea (especificación) un nivel de no-disponibilidad mejor, 10^{-4} por ejemplo, será necesario prever una configuración que no sea una simple distribución en antena, sino que habrá que pasar a un esquema, como el de la **figura 4** del capítulo siguiente.

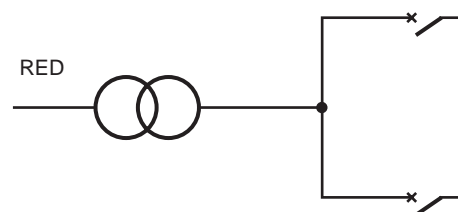


Fig. 3: La disponibilidad de energía en la salida no puede ser mejor que la de la fuente.

3 Descripción de una instalación «de emergencia»

3.1 Los circuitos de distribución (figura 4)

Están constituidos esencialmente por

- En el lado MT:
 - la protección de la entrada MT,
 - el transformador MT/BT.
- En el lado BT:
 - un interruptor automático general que asegura la protección del cuadro y la supresión del riesgo de acoplamiento intempestivo del grupo electrógeno -GE- con la red pública,
 - la aparatada de protección de personas y bienes contra los defectos de aislamiento,
 - los interruptores automáticos de cada uno de los conjuntos de salida de potencia que aseguran la distribución de la energía: estos interruptores automáticos:
 - se abren para cada conmutación de fuentes,
 - se cierran simultáneamente si se alimentan desde la red pública,
 - se cierran secuencialmente si se alimentan desde el grupo electrógeno, como fuente alternativa de emergencia.
 - un sistema de conmutación de fuentes (red/grupo), controlado por el relé de detección de existencia de tensión, tanto en «normal» como en «grupo».
 - un (segundo) sistema de conmutación de fuentes, que normalmente es un contactor estático -CS-, que asegura la conmutación sobre el ondulator o SAI (fuente de emergencia de corta duración).

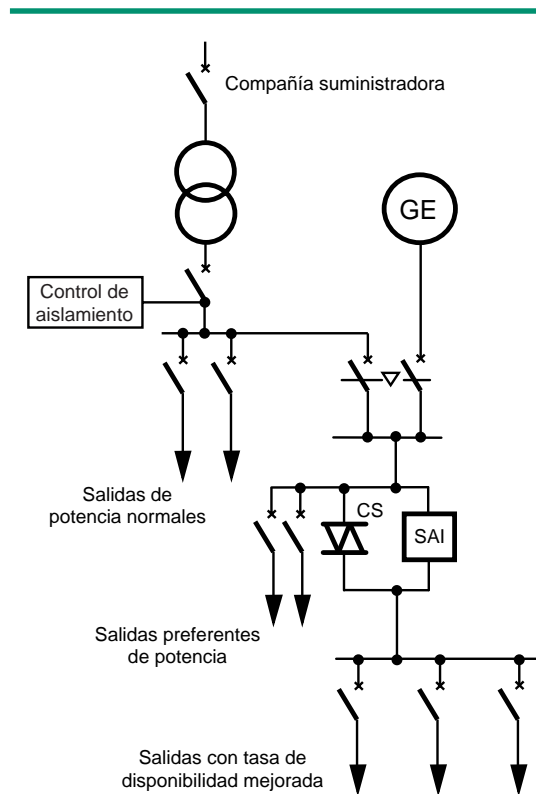


Fig. 4: Principio de la distribución eléctrica de emergencia.

3.2 El grupo electrógeno (figura 5)

Este equipo está constituido por:

- Un motor diésel, con potencia suficiente para soportar la carga que se le aplica.
- Este motor, está equipado con los siguientes circuitos auxiliares:
- un circuito de arranque, constituido por uno o dos sistemas de arranque (apartado 4.2: «selección de la tecnología»), constituido cada uno por un arrancador y una batería con su cargador,
 - un circuito de gasóleo, que se compone de:
 - un depósito, llamado de uso diario, con una capacidad máxima de unos 500 litros (en función de la potencia del GE),

- un depósito exterior, cuya capacidad depende de la autonomía máxima prevista para el GE,
- una bomba automática de trasiego de gasoil, con otra bomba manual en paralelo, para rellenar el depósito de uso diario desde el depósito exterior. En realidad, se puede prescindir de esta bomba colocando el depósito de uso diario por encima del motor a una altura calculada en función de la presión que necesita el circuito de inyección,
- un circuito de preengrase y lubricación, con una reserva de aceite calculada en función de la autonomía del motor, escogida, esta autonomía, para satisfacer las exigencias tarifarias de manera que puedan soportarse las horas punta con la ayuda del grupo,

□ un circuito de refrigeración, por aire o por agua, según el tipo de motor.

Si es un GE refrigerado por aire, la refrigeración del motor la realiza un ventilador arrastrado por el árbol motor, directamente o por correas.

En caso de refrigeración del motor por agua, se instala un intercambiador (con circuitos primario y secundario), un radiador aéreo exterior (entre los que se instala una bomba de circulación) y un ventilador.

■ Un alternador de potencia, adaptado a las necesidades, equipado con un regulador de tensión.

La reactancia del alternador debe de estar adaptada al tipo de carga (reactiva, capacitiva, sistema electrónico, ...).

Por ejemplo una aplicación cuyo 50% de carga son rectificadores-cargadores de baterías obliga a utilizar un alternador con una tasa de reactancia subtransitoria de cerca del 8%, para limitar la distorsión en tensión.

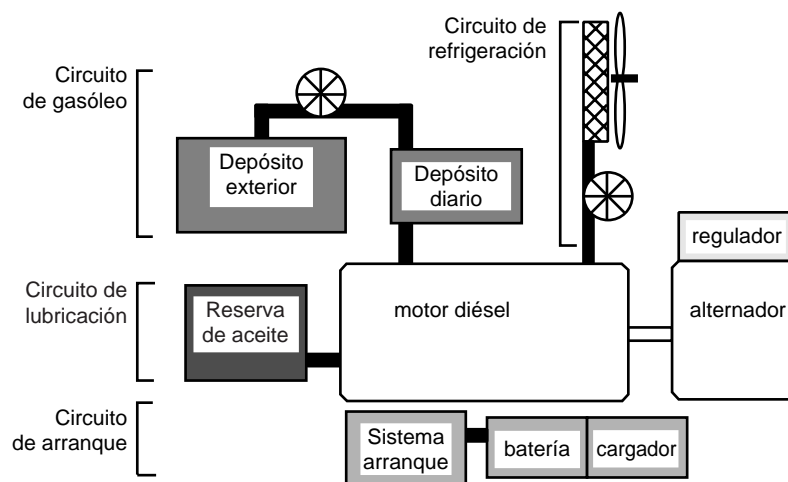


Fig. 5: Descripción de un grupo electrógeno.

3.3 Los dispositivos de conmutación de fuentes

Estos dispositivos, conmutador red-grupo (R/G) y contactor estático (CS) con SAI, permiten «cambiar» la alimentación de las cargas de una fuente que falla a una fuente sana:

■ el conmutador red/grupo está destinado a paliar el corte de red, mediante el suministro de energía eléctrica con un grupo electrógeno,

■ el contactor estático (CS) está destinado a paliar el fallo de un SAI que funciona normalmente on line; estos SAIs se utilizan para eliminar los microcortes y los defectos de la tensión de red (frecuencia, forma de onda, valor eficaz fuera de límites) satisfaciendo las necesidades de los sistemas informáticos o de los automatismos; de esta forma, cuando falla el SAI, si hay red, el CS pone directamente la carga sobre la red.

3.4 Fuente de emergencia de «corta duración» (SAI)

Esta función, que cumple el SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), se realiza mediante uno o varios SAIs, de potencia unitaria entre 40 a 800 kVA o más, equipados de sus dispositivos de mando y control, batería y dispositivo de diagnóstico que se comunica mediante conexión asíncrona.

Estos tipos de onduladores pueden ponerse en paralelo.

La autonomía de la batería debe ser suficiente (**figura 6**) para asegurar la alimentación de la carga durante la secuencia de conmutación de la fuente de socorro de larga duración, que es el grupo electrógeno.

Esta secuencia de conmutación, abarca:

- fallo real de red: 20 s,
- arranque de grupo, teniendo en cuenta los posibles reintentos de arranque: 50 s,
- conmutación de fuentes red/grupo (desconexión red - conexión grupo: 20 s,
- conexión de los interruptores de los servicios prioritarios: 210 s,

O sea, un tiempo total para esta secuencia de 5 minutos (100 s para la salida más prioritaria).

| Valores de no-disponibilidad deseada para el conjunto de la instalación | 10 ⁻⁶ (*) | 5 · 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁴ |
|---|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Autonomía de las baterías (minutos) | | | | |
| Al final de la vida de la batería | 10 | 10 | 7 | 5 |
| Al principio de la vida de la batería | 15 | 15 | 10 | 8 |

(*) con redundancia en el conmutador de fuentes

Fig. 6: Autonomía de la batería del SAI en función de los valores de no disponibilidad.

3.5 Los sistemas electrónicos de control

Estos sistemas están constituidos por un conjunto de unidades electrónicas de mando o de control -UC-; cada una de estas UC gobierna uno de los componentes principales de la instalación (grupo, conmutador de fuentes,...).

A estas UC se les asocian una o varias unidades de supervisión -US- que realizan el diálogo hombre-máquina, pero que no tienen un papel activo directo en el sistema.

3.6 Los criterios de funcionamiento

Un sistema de alimentación de este tipo debe de asegurar, para, por ejemplo 20 años, el suministro de energía eléctrica cuando se produce uno de estos defectos:

- corte de red,
- tensión de red fuera de límites,
- desequilibrio de fases fuera de límites.

Además, debe permitir adecuarse a las presiones tarifarias:

- soportar días punta,
- aportación de potencia de cambio de contrato con el suministrador.

Cada uno de los equipos que constituyen la estación tiene una misión que depende de su función en la estación, definido de esta forma:

- el grupo electrógenos funciona por:
 - corte de red: 200 h/año
 - exigencias tarifarias: 400 h/año
 - pruebas: 50 h/año
- Funcionamiento total acumulado: 650 h/año
- el cuadro de BT, funciona como:
 - posición socorro: 8% del tiempo
 - posición red: 92% del tiempo

- la fuente de emergencia de «corta duración» (SAI), actúa:
- durante los cortes muy breves (microcortes), cuyo número es variable en función de la red de alimentación y del entorno,
- durante la conmutación de la carga al grupo, tiempo en el que hay que soportar los intervalos de arranque y conmutación en el cuadro BT. Normalmente se exige a las baterías una autonomía de 10 minutos al final de su vida, y de 5, como mínimo.

□ durante los ciclos de prueba de baterías. Hay que prever tiempos de mantenimiento. Por otra parte, la garantía de disponibilidad escogida depende también de la demora de reparación. Este tiempo y los medios correspondientes dependen a su vez del nivel de seguridad elegida.

3.7 Búsqueda e identificación de los puntos débiles

El análisis de la configuración mínima de base se realiza teniendo en cuenta:

- la información aportada por la experiencia de gestión de diversas fuentes,
- la tasa de fallo, definida por los fabricantes u organismos de normalización, como IEEE, MIJO, CNET, que permite determinar los puntos débiles de este tipo de instalación.

Para los principales componentes de la instalación, las probabilidades de avería, expresada en minutos de fallo al año, son, a título de ejemplo y para un país industrializado:

- red MT: 450 minutos/año,
- cuadro BT: 90 minutos/año,
- grupo electrógeno: 360 minutos/año,
- SAI: 150 minutos/año.

Para cada una, el «peso de la no-disponibilidad» de los componentes, en los que puede intervenir el consumidor, son los siguientes:

- Cuadro general BT
- conmutador de fuentes: 65 %
- aparamenta de distribución: 25 %
- auxiliares y control-mando: 10 %
- 100 %

- Grupo electrógeno
- sistema de arranque: 65 %
- circuito de refrigeración: 8 %
- circuito combustible (bomba gasoil): 7 %
- conexión de la carga del GE: 6 %
- entorno del grupo (p.e.: temperatura) 6 %
- auxiliares + control-mando: 8 %
- 100 %

■ SAI

- rectificador e inversor: 35 %
- baterías: 55 %
- auxiliares: 10 %
- 100 %

Es fácil comprobar que los tres «componentes sensibles» son:

- en el cuadro BT: el conmutador de fuentes,
- en el grupo: el sistema de arranque,
- En el SAI: la batería.

4 Soluciones para mejorar la disponibilidad

La configuración básica mínima antes citada (**figura 4**), lleva a una no-disponibilidad máxima del orden de 5 h por año (o sea $6 \cdot 10^{-4}$) para una autonomía de la batería del SAI mínima de 10 minutos, y con un mantenimiento preventivo y correctivo sin asistencia (**figura 12**).

La distribución de las probabilidades de averías se expresa en términos de minutos de «fallos» por año.

Si se pretende mejorar el objetivo de no disponibilidad, hasta menos de 1 h/año (10^{-4}) en la salida del SAI, hay que mejorar la configuración base y/o la calidad de los componentes.

Esto se consigue:

- mejorando la fiabilidad de los componentes cerrados,
- haciendo una elección tecnológica y técnica adecuadas,
- afinando la definición del objetivo:
 - permitiendo un funcionamiento degradado (modularidad)
 - asegurando el funcionamiento únicamente con los componentes imprescindibles,
- mediante sistemas redundantes.

4.1 Conocer el grado de fiabilidad de los componentes

La fiabilidad de un sistema (mecánica, eléctrica y electrónica) es su aptitud para cumplir el objetivo previsto, en condiciones dadas, durante un tiempo dado: es la probabilidad de supervivencia o esperanza de vida de un sistema (Cuaderno Técnico n° 144 «Introducción al diseño de la seguridad»). Por tanto, los diversos componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos deben de escogerse con los niveles de calidad y fiabilidad, teniendo en cuenta el medio ambiente térmico, climático y mecánico, prestando especial atención a los componentes «pesados o críticos».

Con el objetivo de hacer aparecer los defectos latentes, que después darían problemas durante el funcionamiento operativo, puede hacerse un una depuración sin que afecte a la calidad de los componentes ni produzca desgaste.

Cuando los componentes no han sido calificados, puede recurrirse a los organismos de calificación como LCIE, para los componentes electrónicos, o a las estaciones de ensayo ASEFA, para los electrotécnicos.

La tabla de la **figura 7** resume las principales posibilidades tecnológicas que afectan a la disponibilidad.

| Valores de indisponibilidad buscada para el conjunto de la instalación | 10^{-6} | $5 \cdot 10^{-6}$ | 10^{-5} | 10^{-4} |
|--|-----------|-------------------|-----------|-----------|
| Sistema de arranque ($P > 1$ MVA) | | | | |
| ■ eléctrica + neumática | ■ | ■ | | |
| ■ solamente neumática | | | ■ | ■ |
| Alimentación de combustible | | | | |
| ■ por gravedad (o con dos bombas) | ■ | ■ | | |
| ■ con una única bomba | | | ■ | ■ |
| Circuito de lubricación | | | | |
| ■ con aporte de aceite | | ■ | ■ | |
| ■ con preengrase | | ■ | ■ | ■ |

Fig. 7: Elecciones tecnológicas que se refieren a un G.E.

4.2 Seleccionar la tecnología

Para cada componente (Cuadro BT, GE, SAI), la elección entre las diversas posibilidades tecnológicas tiene un papel importante en cuanto a la fiabilidad y la mantenibilidad.

Cuadro BT (CBT)

Aunque la aparamenta del CBT sólo representa el 20% en términos de disponibilidad del sistema, debe escogerse con cuidado.

■ Elección entre fusible e interruptor automático

□ El fusible es un dispositivo de protección contra los cortocircuitos que actualmente ya no se justifica en una instalación de seguridad por la servidumbre de mantenimiento que impone.

□ El interruptor automático, además de la personalización de los ajustes de protección, tiene un MTTR (tiempo medio de reparación, es decir, un tiempo de rearme) muy corto; por tanto debe de preferirse cuando se quiere tener una buena disponibilidad de la energía.

■ Elección entre contactor e interruptor automático telecontrolado

□ El contactor, mecanismo de mando muy resistente, es un mecanismo que cierra circuito cuando se alimenta su «bobina» y que abre cuando no está alimentada. Se dice que es monoestable (sólo tiene una posición estable: en abierto).

□ El interruptor automático telecontrolado (motorizado) es, por sí mismo, biestable; se mantiene en su posición, cerrado o abierto, cuando no hay tensión.

En las estaciones de alta disponibilidad, la elección se decanta por los interruptores automáticos, para conservar la posición correspondiente a la última orden al producirse un corte de red o un defecto en la parte electrónica.

■ Las protecciones

Se dice que hay selectividad si, cuando se produce un defecto, sólo se aísla la salida con defecto mediante la actuación del interruptor automático colocado inmediatamente aguas arriba del defecto y sólo con éste; y esto para todos los valores de defecto, desde la sobrecarga hasta el cortocircuito.

La selectividad mejora la continuidad de servicio y, por tanto, la disponibilidad de la energía. Así pues, la elección de técnicas con selectividad no es indiferente.

□ Selectividad amperimétrica: se efectúa con interruptores automáticos de funcionamiento instantáneo. El escalonamiento de los ajustes según los valores de la corriente de cortocircuito da una selectividad parcial o total.

La utilización aguas abajo de un interruptor automático limitador facilita la selectividad total.

□ Selectividad cronométrica: se obtiene mediante un escalonamiento del tiempo de funcionamiento de los interruptores automáticos equipados con relés temporizables, de corto y largo retardo. En este caso, la selectividad es total. Pero hay que tener presente que los sobreesfuerzos y los efectos destructores de los cortocircuitos durante la temporización pueden ser importantes y reducir la mantenibilidad.

□ El sistema SELLIM (Cuaderno Técnico nº 126) agrupa las exigencias de una selectividad total y las ventajas de una gran limitación de las corrientes de cortocircuito.

Citemos, por último, el Sistema de la Selectividad Lógica, utilizado, sobre todo, en MT (Cuaderno Técnico nº 2) que permite obtener una selectividad total con un mínimo tiempo de retraso.

■ Aparatos fijos o desenchufables

La elección se ha de hacer entre los interruptores automáticos fijos, que necesitan la desconexión de la tensión del cuadro para sustituirlos y los interruptores automáticos desenchufables, que pueden sustituirse sin quitar la tensión. Si se trata de un interruptor automático telecontrolado o motorizado que funciona mucho, es preferible utilizar uno desenchufable.

Por otra parte, hay que pensar en la evolutividad; por ejemplo, pensar en la posibilidad ulterior de añadir auxiliares de control-mando. Es importante buscar la mejor adecuación entre el coste y el MTTR del aparato.

Para niveles de disponibilidad mejor de 10^{-4} , se recomienda escoger material desenchufable, con los siguientes elementos:

□ desenchufable (zócalo + interruptor automático):

- MTBF = 100 años; MTTR = 1 hora,
- indisponibilidad del interruptor automático = $3,4 \cdot 10^{-6}$.

□ fijo:

- MTBF = 100 años, MTTR = 24 horas,
- indisponibilidad del interruptor automático = $2,4 \cdot 10^{-5}$.

Grupo electrógeno (GE)

■ Sistema de arranque: es el más sensible o crítico; puede ser neumático, con un compresor, o eléctrico, con un rectificador/cargador y su batería. Los criterios de elección entre el arranque neumático o eléctrico son los siguientes (las elección efectuadas pueden verse en el cuadro de la [figura 7](#)).

□ Arranque eléctrico

Ventajas:

- supervisión simple,
- instalación simple para los GE de potencia hasta unos 500 kVA,
- influencia mínima del envejecimiento del motor,
- mantenimiento simple.

Inconvenientes:

- control delicado de la autonomía de la batería de arranque,
- inoperante con defecto mecánico de posición de la corona de arranque,
- gran volumen para potencias > 1 MVA,
- exigencias de instalación: la batería debe de estar cerca del motor; suele ser del tipo «sin mantenimiento»; y debe ser capaz de soportar «descargas bruscas».

□ Arranque neumático

Ventajas:

- supervisión simple del circuito de arranque,
- costes y volúmenes menos importantes para potencias de grupo > 500 kVA,

Inconvenientes:

- vigilancia delicada del compresor,
- mantenimiento correctivo, que puede ser largo y delicado.

■ Tener presente el entorno

Tanto la temperatura ambiente del GE como la altitud pueden reducir las prestaciones del GE.

A título de ejemplo:

□ una temperatura ambiente de 40° C obliga a una desclasificación del 10% (nominal: 25° C),

□ una altitud de 2 000 m obliga a una desclasificación del 25% (nominal: 100 m).

Estas desclasificaciones son proporcionales a las variables y obligan a sobredimensionar y sobrealimentar el motor.

Una temperatura demasiado baja del motor (< 15° C) cuando está parado puede producir el calado de éste al tomar la carga; es posible evitarlo instalando un circuito de precaldeo en los circuitos de aceite y agua, si es un motor refrigerado por agua o, sólo en el de aceite, si está refrigerado por aire.

También se puede prever una conexión progresiva de las cargas eléctricas, empezando por los prioritarios.

Fuente de emergencia de corta duración (SAI)

Esta función, que realiza un SAI (sistema de alimentación ininterrumpida), tiene una gran importancia para conseguir el objetivo de disponibilidad del «sistema de alimentación de energía». Para definir la configuración óptima de una alimentación con SAI, hay que tener en cuenta cuatro criterios

- la potencia utilizada en régimen permanente,
- las variaciones instantáneas de carga (lado utilización),
- el nivel de disponibilidad deseado,
- la autonomía solicitada.

La elección tecnológica, en función de estos criterios, aplicada a cada uno de los elementos que componen el SAI hace que éstos puedan funcionar correctamente:

- la apartamentada de protección, aguas arriba y aguas abajo,
- los cables de conexión,
- la batería de acumuladores.

Para la apartamentada de protección hay que prestar una atención especial al ajuste de las protecciones de sobreintensidad (relés o disparadores magnéticos y térmicos de los interruptores automáticos), porque:

- son frecuentes los picos de corriente al conectar,
- los onduladores tienen que tener una potencia de cortocircuito reducida. Por tanto, hay que comprobar que:

$$I_{\text{picos de corriente}} < I_{\text{umbral de protección}} < I_{\text{cc}}$$

Por lo que se refiere a la apartamentada de protección (de las personas) contra los defectos de aislamiento, hay que escoger el «neutro aislado» siempre que sea posible, pues permite un primer defecto sin disparo.

Para las baterías, es aconsejable:

- aplicar una tecnología que facilite el mantenimiento: la batería de plomo estanca o batería de plomo sin mantenimiento,
- prever un acceso que permita una sustitución rápida.

El tipo de funcionamiento y de configuración del SAI debe de corresponder al nivel de disponibilidad requerido para la aplicación en cuestión:

- Nº 1: el funcionamiento permanente del SAI («on line») es preferible al funcionamiento «off line», y es además imprescindible cuando el SAI ha de proteger contra los microcortes.

En funcionamiento «off line», el SAI sólo suministra energía si falla la red. En funcionamiento «on line», cuando hay una sobreintensidad o cuando falla la alimentación estática, la red es como un seguro ondulatorio. En este caso, los elementos alimentados por el ondulatorio se alimentan directamente de la red a través del conmutador estático -CS-.

■ N° 2: varias alimentaciones estáticas conectadas en paralelo, sin redundancia ni utilización de una red de socorro: esta configuración permite una distribución adaptada a la potencia que toman los receptores que alimentan, y en funcionamiento degradado, según la disponibilidad de las alimentaciones estáticas.

■ N° 3: varias alimentaciones conectadas en paralelo con redundancia y sin utilización de una red de socorro: esta configuración ofrece una disponibilidad superior a las dos citadas; la disponibilidad depende directamente del nivel de redundancia.

■ N° 4: varias alimentaciones estáticas conectadas en paralelo, de las que una con redundancia con una red de socorro; esta configuración, con un pequeño coste adicional, proporciona una disponibilidad mejor que la anterior.

La tabla de la **figura 8** presenta los valores indicativos de MTTF para las diferentes configuraciones.

La electrónica de mando y control

La electrónica tiene el objetivo de controlar cada una de las funciones del sistema de alimentación de energía. Para obtener el mejor nivel de fiabilidad posible, es conveniente aplicar los siguientes criterios de elección:

■ Elevado nivel de integración

Utilizar componentes con un alto grado de integración, como microprocesadores para la supervisión y microcontroladores para la unidad de mando y control.

■ División de funciones tanto a nivel de visualización y mando como de supervisión

Dos ejemplos:

□ en la unidad de control -UC-, separando las partes interfaz (captadores-actuadores) de las de proceso,

□ en la unidad de supervisión -US-, separando las partes de proceso de las de comunicación.

■ Integración las fuentes de alimentación dentro de cada una de las unidades funcionales.

Ejemplo: la unidad de control tiene su propia fuente de alimentación integrada en su tarjeta de circuito impreso.

■ Utilización de componentes de bajo consumo.

■ Sistema modular para asegurar un mantenimiento fácil, evitando interrupciones en los procesos de producción.

Captadores y actuadores

También hay que prestar una atención especial a la elección de los captadores y actuadores:

■ en cuanto a los captadores, hay que tener muy presente su entorno físico-eléctrico, porque estos elementos son claves:

□ en la eficacia del sistema de mando y control,

□ como ayuda para el mantenimiento correctivo,

□ para conseguir un buen mantenimiento preventivo.

■ en cuanto a los actuadores, directamente relacionados con la garantía de disponibilidad de la energía, deben de asegurar su funcionamiento tanto en caso de corte de alimentación como de pérdida de control (incidente en la UC o en la US). En otras palabras, deben:

□ conservar su estado ON u OFF (funcionamiento biestable),

□ permitir el funcionamiento en modo manual.

Un ejemplo de esto es el interruptor automático.

| Configuraciones | Sin red de emergencia | Con red de emergencia | |
|---|-----------------------|-----------------------|---------------|
| | | calidad «red» | buena calidad |
| Una única alimentación estática | 31 000 | 183 000 | 261 000 |
| Dos alimentaciones estáticas en paralelo, sin redundancia | 15 000 | 112 000 | 177 000 |
| Dos alimentaciones estáticas en paralelo, con redundancia 1/2 | 250 000 | 411 000 | 450 000 |

Fig. 8: Valores de MTTF, en horas, de diversas configuraciones (equipo estudiado en fábrica).

4.3 Tolerancia a las averías

Si la aplicación de todos estos criterios de selección técnica y tecnológica no es suficiente para obtener el grado de disponibilidad deseado, hay que pensar en cómo convivir con las averías, o sea, la tolerancia frente a las mismas.

Esta tolerancia se obtiene esencialmente mediante:

- técnicas de redundancia (ya citadas al hablar del socorro de corto retardo),
- posibilidad de funcionar en modo degradado,
- elección de esquema de conexión a tierra del neutro o régimen de neutro.

Los sistemas redundantes

Deben de preferirse en las partes del sistema de alimentación de energía que mayor peso soportan en el cálculo de la no disponibilidad del conjunto del sistema de alimentación.

Examinemos las posibilidades de elección y/o de aplicación:

■ El GE

Es fácil pensar que dos GE, en redundancia, aseguran una mayor disponibilidad. Pero esto sólo es cierto si estos dos GE utilizan juegos de barras separados; si no, la disponibilidad disminuye, por la fiabilidad del dispositivo adicional de acoplamiento.

■ El SAI

Este elemento, cuya misión es alimentar la carga durante el tiempo de arranque del GE, tiene un papel esencial para la disponibilidad del sistema de alimentación de energía. Para cumplir este objetivo, este elemento no puede ser común.

Una solución práctica: dividir el riesgo mediante sistemas modulares:

- de 3 kW (rectificador-cargador de baterías) para alimentar cargas en corriente continua, como por ejemplo, los equipos de telecomunicación,
- de 3, 40, 80 kVA (SAI) para alimentar cargas en corriente alterna, como por ejemplo, los equipos informáticos.

Esta modularización permite:

- funcionamiento degradado y mantenimiento sin interrumpir el objetivo del sistema de alimentación de energía,
- redundancia de potencia, según el grado de disponibilidad deseado y de los tiempos de reparación impuestos por la logística de mantenimiento.

■ El conmutador de fuentes del cuadro BT

Es un elemento compartido, que, con sus órganos de mando, supone una tasa de fallo del orden de 10^{-5} . Los dos tipos de redundancia siguiente permiten mejorar los valores de disponibilidad:

- redundancia de cuadro, lo que permite disponer al menos del 50% de la potencia distribuida por los dos cuadros en caso de mantenimiento,
- redundancia del conmutador de fuentes; este sistema redundante actúa cuando se detecta una anomalía de este conmutador de fuentes teniendo en cuenta la autonomía de la batería.

■ Los automatismos

Pueden usarse diferentes redundancias de PLC o autómatas. Para este tipo de equipo sólo se aplica la siguiente redundancia: dos autómatas, completamente asíncronos, están continuamente activos en el proceso, pero, cada uno de ellos está sincronizado sobre el estado del proceso: el primero, con acción sobre la disponibilidad, se impone automáticamente al otro. Los actuadores, mediante el cableado de control, deben tender a favorecer el estado de marcha. El PLC defectuoso se retira sin volver a poner en marcha su «perro de guardia».

■ Los captadores

Ciertas medidas, como la de la velocidad, de la temperatura, del nivel gasóleo, etc., son fundamentales para asegurar la disponibilidad y hasta la seguridad del propio equipo: por tanto, sus captadores están «duplicados». La coherencia de la medida respecto al proceso se evalúa mediante el sistema de mando y control que, en caso de constante incoherencia, rechaza la medida e indica que el captador está defectuoso.

■ La alimentación de la circuitería electrónica de mando y control y de los sistemas auxiliares
Para permitir el funcionamiento en degradado, la alimentación de las diversas funciones de mando y control de un sistema de seguridad no debe ser única.

Cada función debe de tener su propia alimentación y, si la fuente es común para varias de ellas, es necesario prever una protección propia para cada función.

Los esquemas de conexión a tierra o regímenes de neutro

Los tres regímenes o esquemas clásicos de conexión del neutro a tierra a son el «TT» (neutro a tierra), el «TN» (puesta a neutro) y el «IT» (neutro aislado).

Todos estos esquemas permiten, los tres, asegurar la protección de las personas contra los defectos de aislamiento. Pero sin embargo, su incidencia en la disponibilidad es diferente.

■ El neutro a tierra «TT»

La disponibilidad depende de la elección del tipo de interruptores automáticos diferenciales selectivos (selectividad amperimétrica y cronométrica), lo cuales separan sólo la salida con defecto y eliminan inmediatamente el peligro sin alterar el funcionamiento del conjunto de la instalación.

La corriente de defecto queda limitada por las impedancias de la toma de tierra del neutro y la de los usuarios; por tanto, el defecto no daña la instalación.

Este régimen se recomienda particularmente para las redes susceptibles de modificarse, que se ven alteradas por receptores móviles o temporales, o que son explotadas por personal no especializado.

■ La puesta al neutro «TN»

En esta configuración, todo defecto de aislamiento produce un cortocircuito de intensidad superior al umbral de disparo de los dispositivos de protección contra cortocircuitos. La disponibilidad depende del planteamiento técnico de la selectividad y de la elección de las protecciones contra sobrentensiones

(capítulo 4º «las elecciones tecnológicas en el cuadro BT»).

Hay que indicar que el régimen TN-S, si se añaden dispositivos diferenciales, es preferible al régimen TN-C, en cuanto a los posibles efectos perjudiciales de la instalación. En efecto: esperar al establecimiento de una gran corriente de defecto es sinónimo de daños importantes, particularmente en un receptor, lo que además incide en la mantenibilidad y, por tanto, en la disponibilidad.

■ El neutro aislado «IT»

Un único defecto de aislamiento no produce ningún riesgo para las personas y no necesita aislar, por desconexión, la parte con defecto; por tanto, no se produce un corte de la alimentación.

Sin embargo, es necesario buscar el defecto y suprimirlo antes de que se produzca un segundo fallo, porque, en este caso (como en régimen TN), uno de los interruptores automáticos (o los dos) cortan las salidas con defecto.

La corriente del primer defecto es muy débil y no puede provocar daños. Éste es el régimen de neutro adecuado para obtener la mejor disponibilidad posible, a condición de ... buscar siempre el primer defecto. Con este régimen de neutro se puede hablar de «tolerancia al defecto».

Rescapitulación de las posibles elecciones

En la tabla de la **figura 9** se resumen las diversas posibilidades técnicas de elección en cuanto a tolerancia de las averías y niveles de no disponibilidad.

| Valores de no disponibilidad accesibles para una instalación, según su configuración | 10 ⁻⁶ | 5 · 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁴ |
|--|------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Las redundancias | | | | |
| de las UC para el G.E. | ■ | ■ | ■ | ■ |
| en el cuadro BT | sin | ■ | ■ | ■ |
| de los conmutadores de fuentes | ■ | ■ | ■ | sin |
| de los captadores (tensión y niveles de aceite y agua, presiones ...) | ■ | ■ | ■ | sin |
| de los SAI valores/potencia total | 1/6 | 1/6 | 1/8 | sin |
| modularidad | ■ | ■ | ■ | ■ |
| del G.E. | sin | sin | sin | sin |
| de la distribución específica para los dispositivos electrónicos | ■ | ■ | ■ | ■ |
| El régimen de neutro (ECT) | IT | IT | TT o TNS o IT | TN o TT o IT |

Notas:

El GE no tiene redundancia porque su importancia no justifica su gran coste.

Para la elección del esquema de conexión a tierra o régimen de neutro, recordar:

IT = continuidad del servicio; TT = bajo riesgo en caso de defecto de aislamiento.

Fig. 9: Elecciones técnicas relativas a la capacidad de respuesta (tolerancia) ante las averías.

4.4 El control de la instalación

La electrónica participa activamente en la consecución de un determinado nivel de seguridad, ayudando al hombre en su tarea de explotación y mantenimiento, con el objetivo de paliar posibles fallos.

El comportamiento humano se considera como productor de fallos si, aunque sólo sea ocasionalmente, reduce la fiabilidad del sistema. Conviene preguntarse:

¿Qué parte de trabajo depende del tándem hombre-máquina?

La actuación del mando y control automáticos se efectúa según diversos criterios:

- percepción, decisión y actuación reflejas,
- complejidad e implementación,
- procedimientos repetitivos.

Por ejemplo, el paso de la fuente de energía principal a la fuente de energía del grupo electrógeno se puede confiar al sistema.

La intervención del hombre se sitúa en dos niveles:

- mando y control del sistema (derecho de veto o inhibición del funcionamiento),
- tener en cuenta el mantenimiento con apoyo del sistema al usuario.

Así:

- el reparto de tareas reduce los errores humanos, pues el hombre no interviene en el proceso normal de funcionamiento,
- el hombre se considera como agente fiabilizador, por su misión de controlador; es la última muralla de seguridad frente a los fallos del sistema.

La electrónica puede descomponerse en tres niveles:

- UC, sistema o unidad de mando y control,
- US, sistema o unidad de supervisión,
- UG, sistema o unidad de gestión general (figura 10).

El nivel de equipamiento ya ha sido desarrollado ampliamente y también el nivel de mando y control -UC-. Los niveles US y UG, menos operacionales, son también importantes.

Nivel vigilancia (US)

Este nivel permite al operador disponer, en tiempo real, de la señalización del estado del proceso al que está asignado, mediante:

- alarmas, que definen la naturaleza del defecto y el tipo de actuación y reparación,

- el diario de incidencias, que da acceso al histórico de defectos y cambios de estado del proceso,

- información del estado del sistema que da, en tiempo real, el estado del proceso.

Este nivel permite también al usuario asegurar el mando y control y, por tanto, intervenir en el sistema, mediante la ayuda de la relación hombre-máquina (RHM), con el terminal de operación, de la siguiente forma:

- la visualización de los estados del sistema,
- la modificación de los parámetros de explotación del proceso,
- la ejecución de pruebas,
- el apercebimiento de las alarmas,
- la modificación de la hora,
- etcétera.

Nivel gestión (UG)

Este nivel, distante del sistema local, asegura, si existe y para varias estaciones repartidas en una determinada área geográfica, la gestión de las estaciones, con las funciones siguientes:

- telesupervisión,
- inventario,
- estadística,
- telemando con posibilidad de bloqueo, según los niveles de disponibilidad elegidos.

Localmente, en caso de problemas, el operador puede ser avisado por la emisión de un «bip». Entonces, se conecta con la UG, generadora de la llamada, mediante un terminal telefónico, por ejemplo, un Minitel. Sabiendo lo que sucede, puede tomar las primeras decisiones antes de ir, si es necesario, al puesto de mando y control local.



Fig. 10: Niveles jerárquicos de la gestión técnica de la electricidad.

Estos diversos niveles participan:

- en el mantenimiento **correctivo**, con el control de cualquier reparación de los subconjuntos críticos para el objetivo de la disponibilidad de energía. Sólo el resultado positivo de las pruebas permite tomar en consideración la alarma que origina la petición de reparación,
- en el mantenimiento **preventivo**, efectuando las pruebas periódicas (automáticas o manuales) según un calendario gestionado por la electrónica.

Comunicación (figura 11)

La fiabilidad de la comunicación (mediante el bus) entre los diversos niveles, es también muy importante:

- asegura los intercambios entre:
 - la instalación y la UC (mediante bus en caso de la utilización de captadores y accionadores inteligentes),
 - UC y US,
 - US y UG,
- permite al usuario comunicarse con el sistema, en local y a distancia.

Los datos de explotación, de gestión, de mantenimiento y de archivo, pueden ser:

- unidireccionales (transferencia de ficheros, recogida periódica de informaciones de mantenimiento,
- interactivas, de tipo orden/respuesta, para las operaciones de telemando y de telediagnóstico.

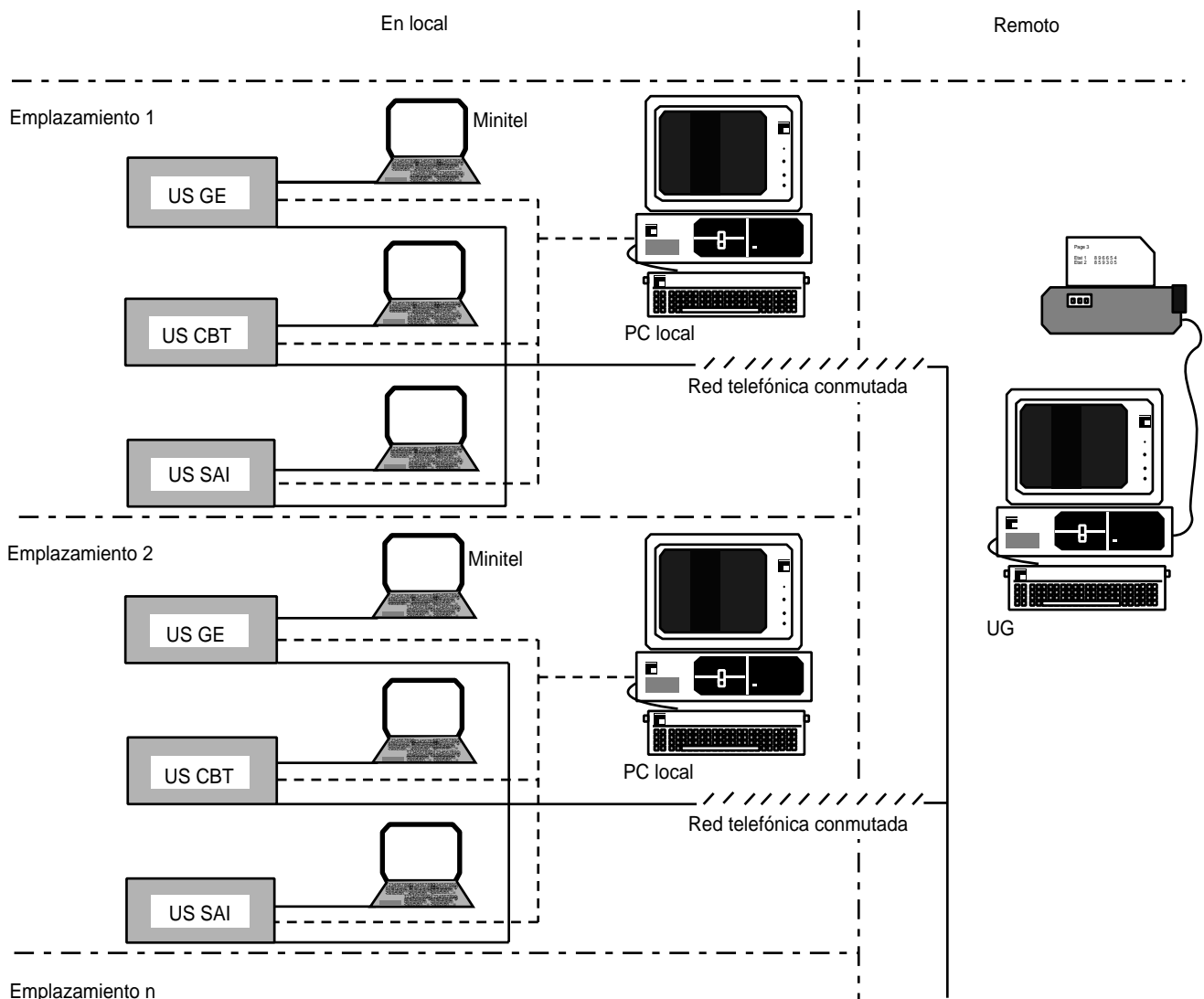


Fig. 11: Configuración de las comunicaciones con el usuario

5 Ejemplo de distribución de emergencia con disponibilidad aumentada

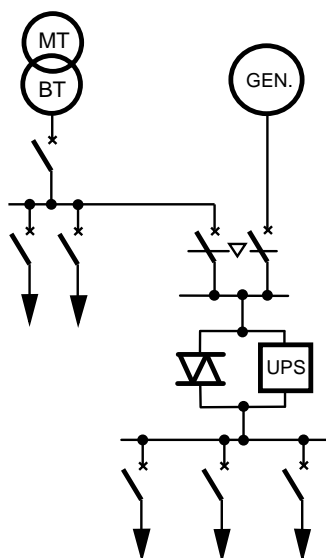
5.1 Especificación

Tasas de no-disponibilidad: 10^{-5} , o sea, 6 minutos/año (figuras 12 y 13).
Parada de reparación: 8 h; se trata de la reparación de componentes con riesgo de

comprometer el objetivo del conjunto.
Gráficamente: **tiempo de reparación del cinturón cuando se utilizan a la vez el cinturón y los tirantes.**

Tiempo anual medio de fallo:

- Red = 450 min/año
- Transformador = 10 min/año
- Grupo electrógeno = 360 min/año
- Conmutador fuentes = 90 min/año
- SAI = 150 min/año



Tasa de disponibilidad:

- Red = $8,5 \cdot 10^{-4}$
- Grupo electrógeno = $7 \cdot 10^{-4}$
- Conmutador fuentes = $1,7 \cdot 10^{-4}$
- ID = $2 \cdot 10^{-4}$
- ID = $6 \cdot 10^{-4}$

Fig. 12: El equipo clásico lleva a una disponibilidad de 5 h/año.

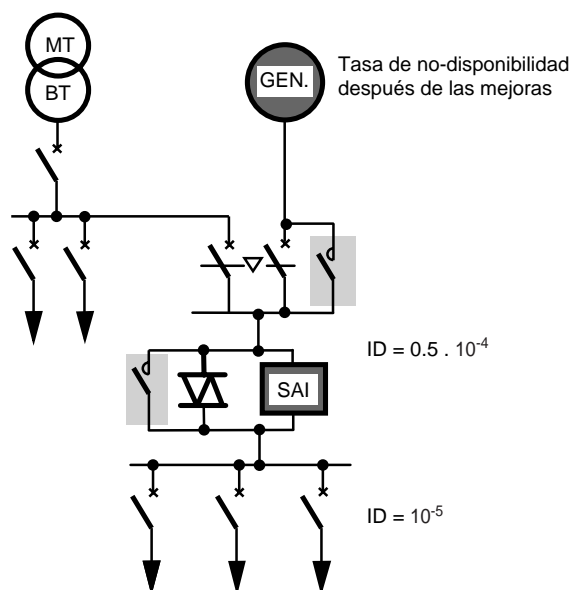


Fig. 13: La mejora de los puntos sensibles (GE-N/S y SAI) permite alcanzar una disponibilidad de 6 minutos/año a nivel de utilización.

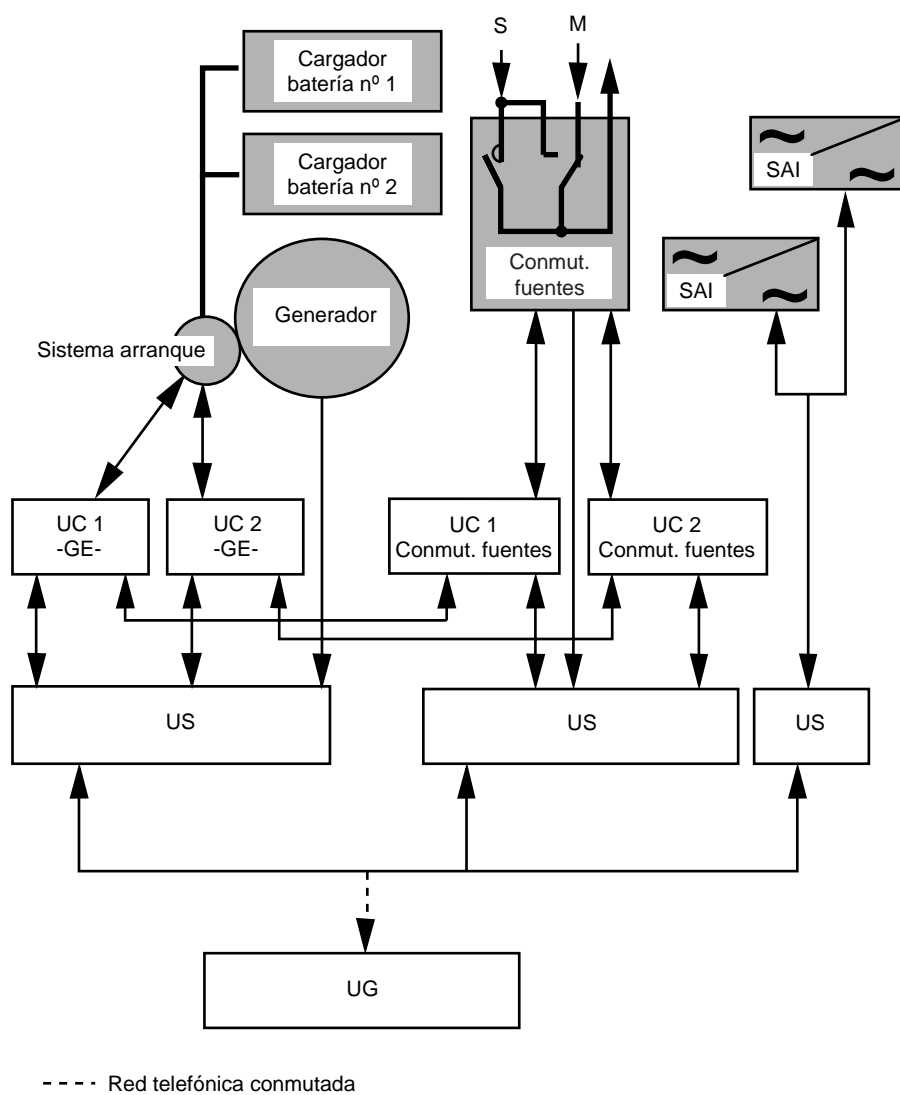


Fig. 14: Control y mando correspondiente a una disponibilidad de 10^{-5} (6 min/año).

5.2 Diseñar – crear

Se ha citado en la parte baja del esquema de la **figura 4**. Tiene la utilidad de mejorar los puntos débiles de la instalación (capítulo 2) y tomar las medidas oportunas en términos de mantenimiento para dividir por 60 la tasa de no disponibilidad.

Acción en los componentes de la instalación

- Grupo electrógeno (GE)
- motor sobredimensionado un 30% (no se puede proporcionar la potencia máxima cuando el motor está frío) o precaldeo permanente,
- sistema de arranque, constituido por:
 - sistema de arranque eléctrico, hasta unos 600 kVA; neumático, para potencias mayores,
 - dos cargadores, con sus baterías,
 - dos sistema de medida de velocidad;
- circuito gasóleo, alimentando el motor por gravedad,

- circuito de engrase, controlado por dos termostatos,
- dos circuitos de ventilación,
- refrigeración por agua con circuito cerrado, y, además, con un circuito de enfriamiento con agua corriente de la red de distribución,
- dos unidades de mando y control.

■ Dispositivo de conmutación de fuentes

El interruptor automático de «socorro» con un contactor en paralelo, que actuará por orden de la unidad de mando y control (US) en caso de fallo del conmutador de fuentes.

■ SAI

Los cálculos demuestran que es necesario prever una redundancia mínima del 10%, supuesto un equipo modular cuya potencia total supere la potencia nominal.

5.3 Disposiciones relativas al mantenimiento

- Electrónica: una tarjeta de cada tipo para la US y UC.
- Potencia: un subconjunto que corresponda a cada elemento crítico para la consecución del objetivo, y esto, para toda la línea que participa en la alimentación de las salidas de disponibilidad aumentada.

Composición del conjunto de mantenimiento:

■ Mantenimiento preventivo

Se trata de las acciones solicitadas por el sistema, o como resultado de pruebas o por la atención de alarmas diferidas ligadas a los ciclos de funcionamiento (por ejemplo, el cambio de aceite del GE).

■ Mantenimiento correctivo

Se refiere a las acciones de reparación que hay que efectuar debido a la aparición de una alarma.

Deberá actuarse de forma que las reparaciones se hagan de la forma más rápida posible; en efecto, la tasa de 10^{-5} corresponde a un tiempo de buen funcionamiento antes de la primera reparación y procede del mantenimiento preventivo.

Si, por negligencia, la alimentación de alta disponibilidad ha de pasar a mantenimiento correctivo, la tasa de no disponibilidad va a empeorar. En efecto, el tiempo de reparación medio va a sumar 6 minutos.

Por tanto, serán determinantes la composición del lote de mantenimiento y eficacia del departamento de mantenimiento.

5.4 Demostrar la disponibilidad especificada

El cálculo detallado es excesivamente complejo para explicarlo aquí. Simplificando mucho y partiendo de los datos de la **figura 12**:

- la probabilidad de fallo de la tensión, a nivel del interruptor automático general BT es de 450 min/año, o sea, $ID = 10^{-3}$,
- la probabilidad de corte aguas abajo del conmutador de fuentes corresponde a la probabilidad de tener simultáneamente un corte de red y además:
 - el GE fuera de servicio a los 5 minutos,
 - o
 - el conmutador de fuentes fuera de servicio.

La probabilidad es aquí muy próxima a la tasa de fallo del conmutador de fuentes, que es

común (punto de paso obligado) y que es del orden de 100 minutos/año, que equivalen a $ID = 2 \cdot 10^{-4}$. La redundancia del conmutador de fuentes mediante un contactor mejora este valor hasta $0,5 \cdot 10^{-4}$. Con el SAI y su contactor estático, que evitan los microcortes, apoyados por un contactor electromagnético, la probabilidad de corte a nivel de utilización llega a ser del orden de 10^{-5} .

Refiriéndonos al cuadro de la **figura 8**, esta solución corresponde a un MTTF de 261 000 h, teniendo en cuenta los tiempos de reparación. Por tanto, para el conjunto de la instalación, el MTBF es del orden de 100 000 h, o sea, una no disponibilidad media de 6 minutos por año.

6 Conclusión

La generalización de la gestión técnica de los procesos, de los servicios de los edificios y de la distribución de la electricidad supone la existencia de una alimentación permanente de estos sistemas en energía, tanto de los sistemas de mando y control, como, y cada vez más, de los circuitos de potencia.

Dominar la disponibilidad de la energía es hoy una necesidad para el electricista.

Este Cuaderno Técnico demuestra que este objetivo puede lograrse mediante:

- un enfoque global, que pasa por la definición:
 - de los objetivos (necesidades),
 - de los criterios de funcionamiento,
 - de las condiciones de explotación (formación, vigilancia, mantenimiento),
 - y una acción sobre:
 - la fiabilidad de los componentes,
 - la tolerancia a los defectos,
 - la redundancia de los componentes,
- y, ciertamente,

□ el tratamiento de la información, en otras palabras, en la inteligencia del mando y control.

Para mejorar la disponibilidad, hemos visto que conviene centrar los esfuerzos esencialmente:

- en las fuentes de socorro próximas a la utilización,
- en los circuitos de aparatos de uso común (que son un camino obligado de la energía),
- en el mantenimiento preventivo.

Actualmente es posible obtener una tasa de no disponibilidad del orden de 10^{-6} (menos de un minuto por año) gracias especialmente a los SAI, incluso para potencias de varias centenas de kW.

Con los SAI de potencia, se ha asistido al nacimiento de la noción de «red propia y segura».

Bibliografía

Cuadernos Técnicos Schneider Electric

- Nociones básicas de seguridad
P. BONNEFOI, Cuaderno Técnico nº 144.
- La selectividad de las protecciones
F. SAUTRIAU, Cuaderno Técnico nº 13.
- Aproximación industrial a la seguridad de funcionamiento.
H. KROTOFF, Cuaderno Técnico nº 134.
- Selectividad de la protecciones en BT.
El sistema SELLIM.
C. ALBERTIN, Cuaderno Técnico nº 126.

Otras publicaciones

- Un nouveau système d'alimentation à haute disponibilité. C. FRANCON y R. DELOOZE.
Schneider Electric. Congreso SEE.
- The decentralized power DC unit in the energy system for telecommunications equipments.
J.P. LEBLANC y D. MARQUET CNET; G. GATINE
Schneider Electric. Congreso INTELEC 1987.
- The operation of GEODE energy system.
J.P. LEBLANC y D. MARQUET CNET; J.M. ROLLET
Schneider Electric. Congreso INTELEC 1986.
- A new material and data processing design for availability target: the GEODE system.
J.C. CHIGOLET CNET, M.J. GERARD SERI
Renault, C. FRANCO Merlin Gerin. Congreso INTELEC 1985.