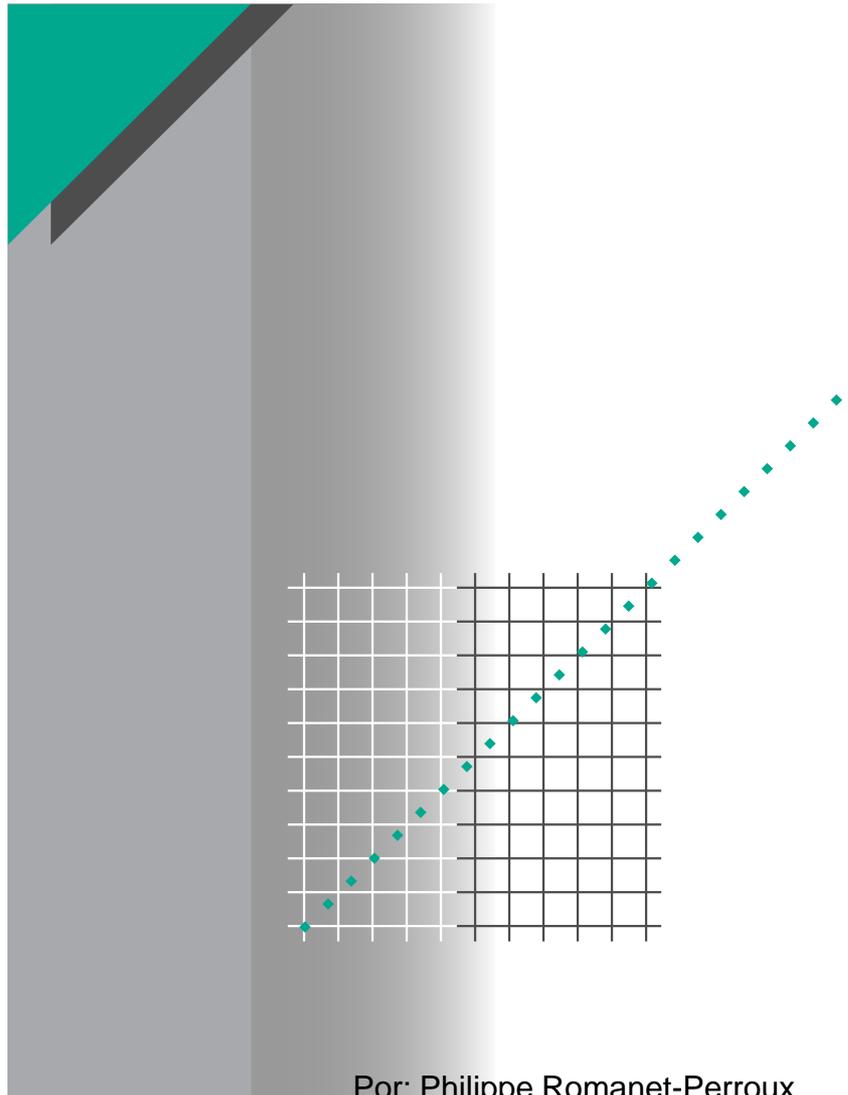


Cuaderno Técnico nº 156

Garantía de funcionamiento y cuadros eléctricos BT



Por: Philippe Romanet-Perroux



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 complementen 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>

Igualmente pueden solicitarse ejemplares en cualquier delegación comercial de **Schneider Electric España S.A.**, o bien dirigirse a:

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**.

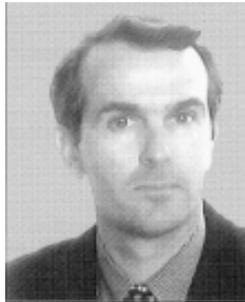
Advertencia

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 contenidas en la presente edición.

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria: «Reproducción del Cuaderno Técnico nº 156 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 156

Garantía de funcionamiento y cuadros eléctricos de BT



Philippe Romanet-Perroux

Ingeniero diplomado por el Institut National Polytechnique de Grenoble y por l'Ecole Supérieur des Affeires, entra en Merlin Gerin en 1983.

Después de dedicarse al estudio de las redes eléctricas, participa en el desarrollo de productos y pasa a ser responsable de proyecto en el grupo de desarrollo de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI o UPS). Actualmente es responsable del soporte técnico para la actividad de Equipos y sistemas BT.

Trad.: José M^a Giró

Original francés: octubre 1998

Versión española: septiembre 2000

Merlín Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

Schneider
 **Electric**

Terminología

Aparato inteligente: Aparato que tiene medios propios de tratamiento de datos y una cierta autonomía de funcionamiento respecto al sistema informático del que depende.

AT: Alta Tensión.

BT: Baja Tensión.

BUS medio: Conexión que permite intercambiar datos digitales en los diferentes elementos que están conectados con él.

CEI: Comisión Electrotécnica Internacional.

Central de cuadro: Producto destinado a agrupar el conjunto de informaciones disponibles en un cuadro y en su entorno directo para realizar el proceso de estos datos y unirse con un sistema de comunicaciones para convertir el cuadro BT en inteligente.

CP (o PE): Conductor de Protección.

ES y EDS: «Conjunto Serie» y «Conjunto Derivado de Serie» son equipos de BT definidos por normas, que les imponen diferentes características técnicas y normas de diseño y ensayos.

GTB: Gestión Técnica de Edificios.

GTC: Gestión Técnica Centralizada.

GTE: Gestión Técnica de la Electricidad.

GTP: Gestión Técnica de Procesos.

IP: Grado de protección de los cuadros de baja tensión.

MCC: Centro de Control del Motor, cuadro BT que reagrupa los elementos de control-mando de varios motores.

MT: Media Tensión.

MTBF (Mean Time Between Failure): Tiempo medio entre fallos.

MTTR (Mean Time To Repair): Tiempo medio para reparar.

Protocolo: Secuencia de normas a seguir para establecer y mantener intercambios de información entre estaciones a través de un BUS.

Red de comunicaciones: Equivalente al término BUS de comunicaciones; la palabra «BUS» se prefiere a la de «red», porque ésta suele referirse a la red eléctrica.

TGBT: Cuadro General Baja Tensión.

TGI: Cuadro de gestión integrada (o cuadro general de BT inteligentes); equipo que agrupa la aparatenta electrotécnica de la distribución de potencia y una central de cuadro; el conjunto está conectado mediante un BUS de datos para efectuar el control y mando de la distribución eléctrica.

SAI (o UPS): Sistema de Alimentación Ininterrumpida, también denominado ondulator.

Garantía de funcionamiento y cuadros eléctricos de BT

1	Introducción	p.	6
2	Funcionalidad de los cuadros	p.	7
	2.1 El cuadro y sus funciones	p.	8
	2.2 La garantía funcional del cuadro	p.	11
3	Seguridad en función de la necesidad	p.	12
	3.1 Características de la garantía de funcionamiento	p.	16
	3.2 Conceptos de seguridad industrial	p.	24
	3.3 Niveles de seguridad requeridos	p.	26
4	El cuadro, perspectivas de futuro	p.	26
	4.1 La Gestión Técnica de la Electricidad	p.	27
	4.2 La GTE aporta un «plus» a la seguridad	p.	28
	4.3 La tecnología	p.	28
	4.4 El cuadro «inteligente»	p.	30
5	Conclusión	p.	30
Anexo	Bibliografía	p.	31

1 Introducción

Este Cuaderno Técnico trata sobre la seguridad de las redes de Baja Tensión -BT- en la industria y en el sector terciario. Su objetivo es aportar los elementos que responden a la pregunta «¿cómo debe de ser una instalación respecto a la necesidad de disponibilidad de la energía eléctrica?».

El estudio se desarrolla aquí en referencia a los cuadros eléctricos BT.

Se responde a cuestiones como éstas:

- ¿cuáles han de ser sus funciones para conseguir paliar cualquier fallo del sistema de distribución BT?
- ¿cómo utilizarlos?
- ¿de qué aparataje dotarlos?
- ¿en qué entorno de red (número de fuentes y de receptores, tipo de esquema de conexión del neutro a tierra o régimen del neutro)?

Y teniendo en cuenta una realidad importante: los cuadros BT son el centro de mando de la energía eléctrica.

Este documento permite tanto a los usuarios, como a los proyectistas de instalaciones eléctricas:

- dejar claros los puntos a los que hay que prestar especial atención, desarrollándolos a partir de las elecciones técnicas expresadas en el apartado «conceptos de seguridad industrial». Estos estudios se refieren a los niveles de fiabilidad calculados sobre casos concretos, que ofrecen respuestas válidas en cuanto al tipo de materiales. Se hace un resumen en el apartado «niveles de seguridad requeridos»,
- hay que destacar la creciente importancia que aporta la Gestión Técnica de la Electricidad -GTE- en la seguridad al nivel del cuadro BT.

2 Funcionalidad de los cuadros

El cuadro eléctrico es el punto de paso ineludible de la corriente eléctrica.

En él se instala un conjunto de aparatos que aseguran:

- la distribución de la energía eléctrica y la protección de los circuitos,
- la protección de las personas,
- el control y mando de la instalación.

Los recientes estudios de esta parte de control-mando hacen del cuadro el centro vital de una instalación: de su seguridad depende la seguridad del conjunto de la instalación; de su «capacidad de evolución» depende la supervivencia de toda la actividad industrial o terciaria que alimenta.

Esta seguridad de funcionamiento de la distribución eléctrica se traduce en:

- probabilidad, muy baja, de averías (fiabilidad),
 - ausencia de fallos peligrosos (seguridad),
 - el mayor tiempo posible de funcionamiento correcto (disponibilidad),
 - reparación rápida (mantenibilidad),
- ... y esto, durante toda la vida de la instalación.

Estos conceptos de seguridad de funcionamiento y de capacidad de evolución deben de tenerse en cuenta ya desde la fase de diseño del cuadro.

La gestión de la instalación debe ser descentralizada (CT 186). Los automatismos de conexión y desconexión, de conmutación, los aparatos de medida, de protección... se colocan lo más cerca posible de la utilización, lo que permite:

- una modularidad óptima, obtenida por la disposición de los diferentes elementos,
- un aumento de la fiabilidad, pues una avería local no debe paralizar el conjunto de la instalación,
- una cierta comodidad para el usuario, en cuanto a las posibilidades locales de mando-

control sobre los cuadros de distribución finales y en cuanto al cuadro central de supervisión: el diálogo entre estos diferentes niveles de la distribución es hoy en día mucho más fácil con los buses de transmisión de datos.

Como consecuencia de esta descentralización, una parte de «la inteligencia» se reparte integrándola en los diferentes cuadros de BT de una instalación que reúnen todos los órganos activos, entre el transformador y la utilización final (**figura 1**).

Así se diseña un sistema de cuadros, incluyendo:

- el TGBT (Cuadro General de Baja Tensión),
- MCC (Centro de Control de Motores),
- los cuadros intermedios de distribución,
- los armarios de utilización final.



Fig. 1: Actualmente, la inteligencia está integrada en los cuadros BT (Digibloc - Merlin Gerin).

2.1 El cuadro y sus funciones

Un cierto número de componentes o especificaciones del «cuadro» consiguen y/o garantizan su funcionalidad.

En cuanto a la funcionalidad, hay un cierto número de componentes o especificaciones particulares que hacen posible y hasta garantizan el conseguirla:

- La arquitectura de la red BT

Ésta se concreta en una distribución en diversos niveles de cuadros y armarios... adecuadamente dispuestos; este aspecto se desarrolla al hacer el plan de la instalación.

A continuación, se definen diversas zonas dentro del cuadro:

- apartamentas,
- juego de barras -JdB-,
- conexiones,
- elementos auxiliares.

Ya desde este momento deben de respetarse las distancias de aislamiento y de seguridad mínimas.

- Las unidades funcionales

Permiten realizar las maniobras y funciones eléctricas correspondientes a las necesidades del usuario. Cada unidad abarca la apartamentas destinada a cubrir una función, por ejemplo, la protección de una salida o de un conjunto de salidas, el mando de un motor, la llegada de corriente al cuadro, ...

- La envolvente

Es la que concreta el volumen eléctrico. Asegura simultáneamente:

- la protección de los materiales eléctricos de su interior contra las influencias externas,
- la protección de las personas contra los choques eléctricos (contactos directos e indirectos).

- Protección del material

Queda asegurada contra la penetración de cuerpos extraños sólidos y líquidos mediante la mayor o menor estanqueidad de la envolvente.

Elemento	Cifra	Significado para la protección del material	Significado para la protección de las personas
Primera cifra característica	0	contra la penetración de cuerpos sólidos extraños: (no protegido)	contra el acceso a partes peligrosas con: (no protegido)
	1	de diámetro ≥ 50 mm	dorso de la mano
	2	de diámetro $\geq 12,5$ mm	dedo
	3	de diámetro $\geq 2,5$ mm	herramienta
	4	de diámetro $\geq 1,0$ mm	alambre
	5	protegido contra el polvo	alambre
	6	estanco al polvo	alambre
Segunda cifra característica	0	contra la penetración de agua con efectos perjudiciales: (no protegido)	–
	1	gotas de agua verticales	
	2	gotas de agua (15° de inclinación)	
	3	lluvia	
	4	proyección de agua	
	5	proyección con lanza de agua	
	6	proyección potente con lanza	
	7	inmersión temporal	
8	inmersión prolongada		
Letra adicional (opcional)	–	–	contra el acceso a partes peligrosas, con:
	A		dorso de la mano
	B		dedo
	C		herramienta
Letra suplementaria (opcional)	D		alambre
	H	información suplementaria específica con: material de alta tensión	–
	M	movimiento durante el ensayo con agua	
	S	parado durante el ensayo con agua	
	W	intemperie	

Fig. 2: Criterios que definen el grado de protección IP según la norma CEI 60529.

□ Protección de personas

Queda asegurada por:

- la interconexión de todas las partes metálicas (armadura, tapas, incluida la puerta), que están conectadas a tierra mediante el conductor de protección -CP-,
- la minimización de los orificios (de aireación, de paso de cables, ...) que no han de permitir tocar ninguna parte con tensión, ni directamente ni con herramientas (destornillador, por ejemplo),
- la utilización eventual de pantallas, a fin de evitar todo contacto con las partes activas cuando la puerta está abierta.

□ Grado de protección (IP)

La norma CEI 60 529 (1 989-11) define los distintos grados de protección de las personas (contra los contactos directos) y del material (**figura 2**), por medio de dos cifras y de dos letras. La resistencia al choque, que estaba caracterizada por la tercera cifra del IP, se expresa actualmente por un índice separado IKx, según la norma EN 50 102 (1 995).

□ Adaptabilidad

La envolvente debe estar adaptada a los volúmenes de la aparata que contiene, así como al tamaño de los locales y de las vías de acceso. Al montar unidos los diversos módulos funcionales se obtienen los cuadros necesarios para cada usuario.

Según el caso, las conexiones pueden hacerse por arriba o por debajo, por delante o por detrás.

■ Las separaciones interiores

Para una mayor seguridad, las celdas o armarios pueden estar divididas por tabiques o pantallas (metálicas o no).

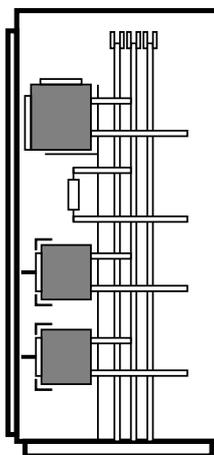
Los materiales y el cableado se colocan en el cuadro de tal manera que su funcionamiento no se vea comprometido por influencias mutuas, por ejemplo, campos electromagnéticos, vibraciones, o los arcos que pudieran producirse. Los separadores permiten evitar la mayor parte de estas interferencias; además, una buena ventilación soluciona los problemas térmicos.

Los tabiques, separadores y pantallas contribuyen también a:

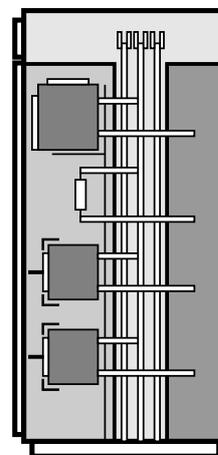
- la protección contra contactos con las partes activas pertenecientes a unidades funcionales adyacentes,
- la limitación de los riesgos de cebado,
- la protección contra el paso de cuerpos sólidos de una unidad funcional a otra.

Los niveles de seguridad correspondientes se cuantifican o miden más adelante en este mismo Cuaderno Técnico.

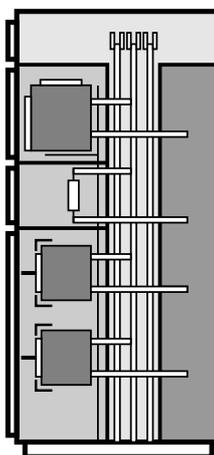
Forma 1



Forma 2b



Forma 3b



Forma 4b

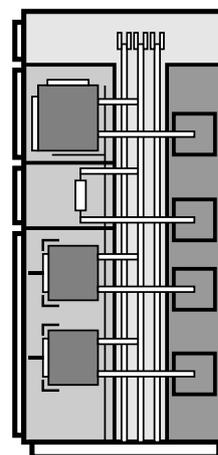


Fig. 3: Las «formas» definidas por las normas CEI 60 439 y EN 60 439 definen la delimitación de las zonas dentro de un cuadro.

Estos tabiques están a menudo collados a la estructura del cuadro y delimitan así las diferentes zonas: aparata, juego de barras, conexiones y elementos auxiliares. Esta separación de los diferentes elementos o funciones de un cuadro (**figura 3**) está definida en las normas CEI 60 439-1 (1 992).

- forma 1: sin ninguna separación,
- forma 2: separación del juego de barras de las unidades funcionales,
- forma 3: igual que la forma 2, pero con separación de las unidades funcionales entre sí aunque no de los bornes de salida,
- forma 4: igual que la forma 3, pero con separación de los bornes de salida entre sí.

Nota: cada una de las formas 2, 3 y 4 se subdivide en dos, con los subíndices «a» o «b».

■ Las conexiones eléctricas dentro del cuadro Están formadas por conductores (juego de barras y cables) en el interior de la envolvente y materializan la distribución de la corriente conforme al esquema de la instalación.

□ Su número y sección varían en función de las corrientes nominales. Pero sus características dependen también de otros parámetros que hay que tener en cuenta en su construcción, como por ejemplo la corriente asignada de resistencia al cortocircuito de un cuadro que es igual al valor eficaz de la corriente que puede soportar el cuadro durante un segundo (norma CEI 60 439-1).

□ También los soportes deben de «aguantar» los esfuerzos electrodinámicos correspondientes y resistir las sollicitaciones térmicas. Es necesario, además, que respeten las distancias mínimas de seguridad para evitar fugas.

□ En lo que se refiere a los circuitos de mando, su coexistencia con el circuito de potencia se hace habilitando zonas de paso específicas y empleando una conexión apropiada. Asimismo los elementos auxiliares (a partir de la elección de la forma 3) están aislados de las otras unidades; además están sometidos a un entorno menos severo en el plano térmico y electromagnético.

■ La conexión de la aparatenta

Esta función básica tiene importancia en la disponibilidad y el mantenimiento. Dos factores que dependen del tipo de instalación de la aparatenta: **fija, seccionable o desenchufable**.

Recordemos que:

□ un aparato se denomina fijo cuando se necesitan herramientas para desconectarlo de la red,

□ un aparato se denomina seccionable, sobre zócalo o sobre chasis (para un aparato pesado), cuando puede desplazarse hasta una posición en la que queda una distancia de seccionamiento entre los elementos de conexión aguas arriba y aguas abajo,

□ un aparato desenchufable es el que tiene su conexión aguas arriba seccionable y su conexión aguas abajo fija.

Asimismo, estos modos de conexión están ligados a la tecnología de los cuadros, que pueden ser fijos, seccionables (por racks) o desconectables (**figura 4**).

Por ejemplo: un aparato seccionable puede hacerse o bien en un bastidor de racks que sostengan aparatos fijos, o bien en un cuadro fijo que soporte aparatos seccionables (sobre zócalo o sobre chasis).

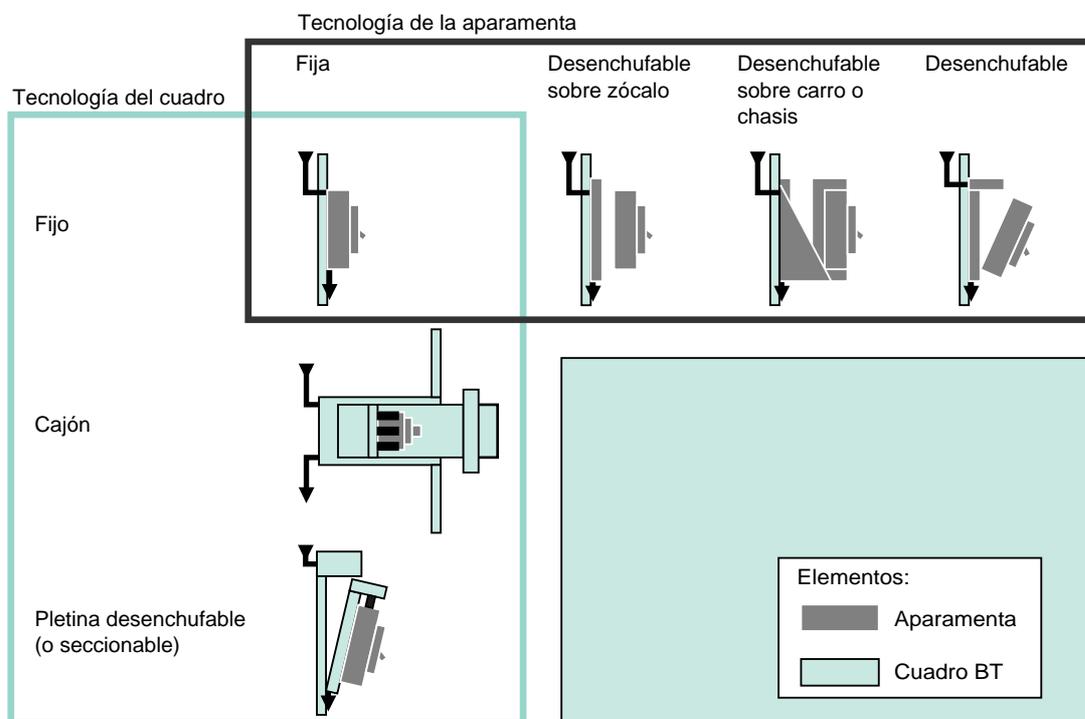


Fig. 4: Los diversos montajes posibles de la aparatenta en un cuadro BT.

2.2 La garantía funcional del cuadro

En el diseño de un cuadro hay que hacer referencia a las **normas** que regulan el ámbito general de la BT y además, específicamente, a las normas que se refieren a los montajes (armarios, pupitres, ...). El respeto a estas normas es la garantía mínima para un nivel determinado de calidad y seguridad.

Las normas CEI 60 439-1, EN 60 439-1 definen las disposiciones constructivas, las características técnicas y los ensayos a efectuar para el diseño y montaje de conjuntos denominados «tipo»:

- los equipos fabricados conforme a los tipos, se denominan «Montajes Serie» -ES-,
- los equipos que se derivan (por ejemplo por el cálculo) se llaman «Montajes Derivados en Serie» -EDS-.

Se hace referencia a las normas en el Cuaderno Técnico nº 145, que trata de los estudios térmicos de los cuadros eléctricos BT.

El dominio de las **transferencias térmicas** dentro de un cuadro permite tener la seguridad de que no se alcanzarán las temperaturas límite en materiales instalados. Este problema se resuelve con la mejora de la ventilación y, eventualmente, con la selección técnica de la aparamenta. Una vez resuelto el problema, la fiabilidad queda en su valor nominal.

Estos estudios térmicos forman parte del conjunto de trabajos actualmente desarrollados por los servicios técnicos de Merlin Gerin, destinados a dominar las características técnicas de los cuadros BT, destacando los siguientes aspectos:

- **las conexiones de potencia** (que definen un cierto número de parámetros en función de la corriente),
- **las resistencias mecánica y térmica al cortocircuito**, antes citadas, (que se hace a partir de su modelización en el ordenador),
- **la instalación de control-mando** (por medio de estudios y de ensayos),

- **la seguridad** de la red de baja tensión (obtenida de los datos de tablas).

Otro de los diferentes trabajos para dar como válida la teoría y garantizar el funcionamiento de un montaje es el que los cuadros se someten a numerosos ensayos, (ver las normas antes citadas):

- verificación de los límites de calentamiento,
- verificación de las propiedades dieléctricas,
- la resistencia a los cortocircuitos,
- continuidad del circuito de protección,
- distancias de aislamiento y de línea de fuga,
- funcionamiento mecánico,
- grado de protección.

Igualmente, para satisfacer las necesidades, así como asegurar que se mantenga el nivel de calidad deseado, el proyecto, el proceso de industrialización y la fabricación en sí misma de los cuadros BT deben de hacerse con respeto a las normas, metodologías y controles de calidad (**figura 5**).

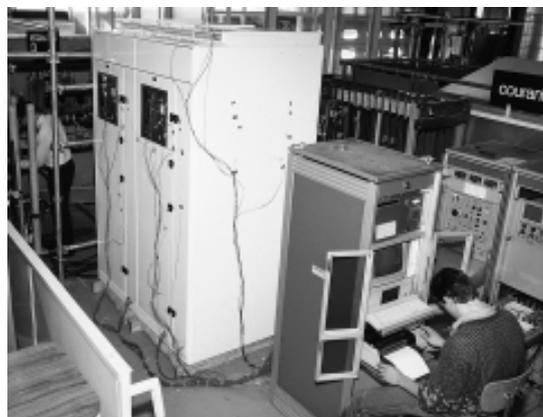


Fig. 5: Un equipo de BT durante los ensayos «...para cumplir la necesidades y las prestaciones de calidad exigibles» (servicio de equipos BT, Merlin Gerin).

3 Seguridad en función de la necesidad

La disminución de la aparición de fallos, y del tiempo de interrupción que de ello se deriva, mejoran la seguridad y la productividad de la empresa.

Además, actualmente los usuarios reclaman un nivel de seguridad «a la medida», en resumen, una instalación adaptada a sus

necesidades. La noción de optimización es, pues, capital y se trata de responder al justo nivel exigido y al mejor precio.

Para hacer posible esta adecuación, los constructores, los instaladores y los proyectistas deben dominar los parámetros de seguridad de funcionamiento de una instalación.

3.1 Características de la garantía de funcionamiento

■ Las magnitudes de la garantía de funcionamiento

Las nociones de garantía de funcionamiento (la fiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad y la seguridad) no son independientes las unas de las otras (figura 6).

□ La **fiabilidad** es la capacidad de un sistema de funcionar correctamente el mayor tiempo posible. El **MTTF** (Mean Time To Failure) tiempo medio de buen funcionamiento antes del primer fallo es un modo de cuantificar la fiabilidad.

□ La **disponibilidad** es el porcentaje de tiempo durante el que el sistema funciona correctamente. El **MTBF** (Mean Time Between Failure) tiempo medio entre dos fallos de un sistema reparable es un medio de cuantificar la disponibilidad.

□ La **mantenibilidad** es la aptitud de un sistema para ser reparado rápidamente. El **MTTR** (Mean Time To Repair) duración media de reparación es un medio de cuantificar la mantenibilidad.

□ La **seguridad** es la capacidad de un sistema para no poner en peligro a las personas.

■ La seguridad de funcionamiento aplicada a los conjuntos o instalaciones.

Un estudio de garantía de funcionamiento tiene los 4 pasos siguientes (figura 7):

□ expresión y análisis de las necesidades.

Búsqueda de criterios de garantía representativos de las preocupaciones del cliente (disponibilidad, seguridad...), de los puntos de la red donde estos criterios se analizarán (puntos estratégicos de la red - Cuadernos Técnicos 144 y 184).

□ análisis funcional.

Descripción del objeto de la red y sus elementos constituyentes.

□ análisis de disfunciones:

– búsqueda de los tipos de fallo de cada uno de los elementos que compone la red y sus consecuencias en el sistema (análisis de los modos de fallo),

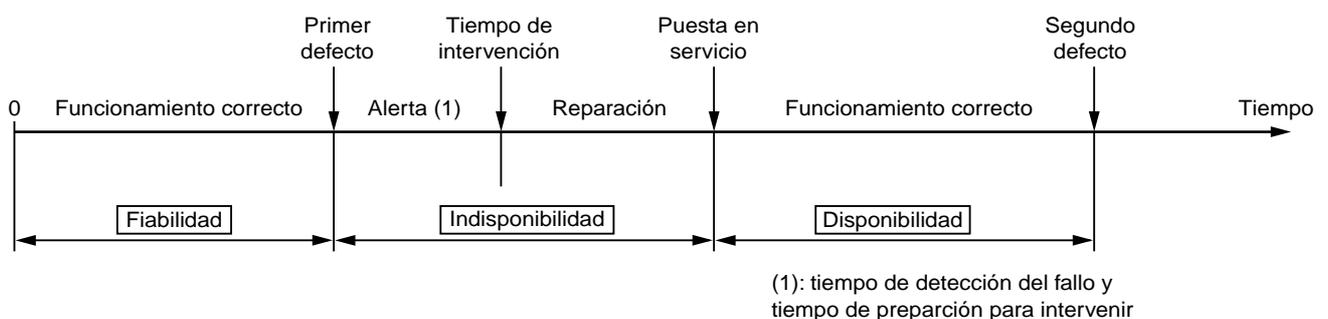


Fig. 6: Nociones de fiabilidad y disponibilidad.

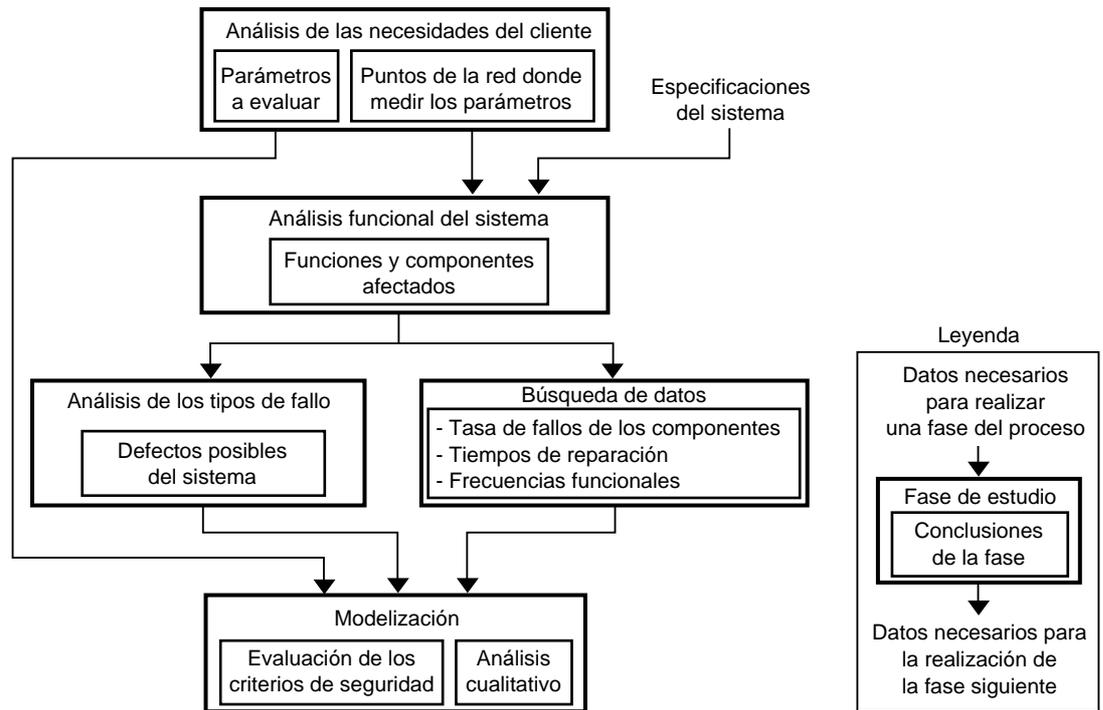


Fig. 7: Fases cronológicas de la realización de un estudio sobre garantía de funcionamiento.

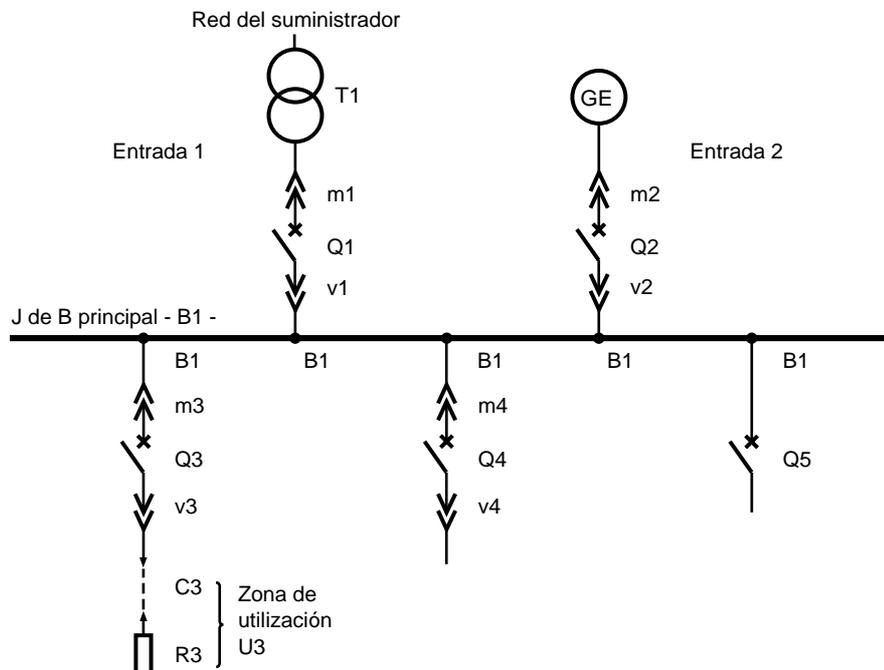


Fig. 8: Ejemplo de red de distribución eléctrica.

– modelización de las disfunciones del sistema.

Un modelo es una representación gráfica de la combinatoria de fallos posibles del sistema que lleva a descubrir los defectos de funcionamiento que interesan;

□ el análisis de la arquitectura a través de un análisis cualitativo y/o cuantitativo:

- búsqueda de los puntos débiles de la red,
- búsqueda del impacto de la política de mantenimiento sobre las prestaciones del sistema,
- estudio del compromiso coste/prestaciones para poder hacer un estudio comparativo de la arquitectura y la política de mantenimiento.

En función de las expectativas del cliente y de los datos de entrada disponibles, se pueden hacer dos tipos de análisis (Cuaderno Técnico 184):

- estudio rápido o primera aproximación es un estudio pesimista que permite hacer rápidamente elecciones técnicas y comparar las arquitecturas,
- estudio detallado es un estudio que permite cuantificar la red a analizar, con valores menos pesimistas y más próximos a las prestaciones reales.

■ Ejemplo de análisis cuantitativo de una arquitectura.

□ En la instalación a considerar, lo fundamental es la disponibilidad de la energía eléctrica de utilización en U3 de la **figura 8**.

□ Los análisis de disfuncionamiento se hacen elaborando un árbol de fallos que representa gráficamente los fallos que llevan a un suceso no deseable, la ausencia de energía en U3 (**figura 9**).

Los defectos que llevan a un suceso indeseable se pueden clasificar en cuatro grupos:

- no-disponibilidad de la entrada. Cada entrada puede alimentar sólo el conjunto de la red de BT del que depende la utilización. El grupo electrógeno está ahí para suplir los cortes de red del distribuidor;
- no-disponibilidad entre el juego de barras principal B1 y la utilización. Agrupa el conjunto de no-disponibilidades de los elementos que se encuentran en la línea aguas arriba, desde el juego de barras principal hasta el punto U1;
- no-disponibilidad debida a desconexiones por cortocircuito. Se llama desconexión por

cortocircuito a todo cortocircuito que se produzca en una salida paralela a la salida considerada, y cuya interrupción, realizada en un nivel superior a estas salidas, lleva a quedarse sin tensión.

Es pues necesario sumar todas las probabilidades de cortocircuito, descendiendo por cada una de las derivaciones de salida paralelas, hasta el primer órgano de protección.

Aguas abajo, una desconexión por cortocircuito sólo es posible si se produce un cortocircuito y un fallo de la protección, lo que corresponde a una probabilidad despreciable.

– no-disponibilidad por «mantenimiento fijo». El mantenimiento fijo es el término empleado para indicar que el tiempo de reparación depende del tipo de instalación (fija o seccionable) e influye en la explotación de otras salidas.

Ejemplos (**figura 8**): la utilización de U3 queda afectada por la reparación de Q5, que, montado de forma fija, necesita el corte de la alimentación de entrada; en tanto que, la reparación de Q4, seccionable, puede hacerse con el JdB bajo tensión y, por tanto, sin repercusión en la utilización de U3.

Resultados

Los resultados que se dan a continuación son los que corresponden a valores habitualmente encontrados de fiabilidad y de MTTR para todos los elementos de la red.

Los resultados se presentan como partes de la no disponibilidad de cada uno de los cuatro grupos de fallo indicados antes.

- entrada 49%
- entre el JdB y la utilización 44%
- desconexiones por cortocircuito 1%
- mantenimiento fijo 6%

La política de mantenimiento influye también en las prestaciones del sistema. Por ejemplo, si el tiempo medio que se tarda en poner en funcionamiento una sección después de un fallo pasa de 48 a 24 horas, el número de horas de no-disponibilidad en U3 se divide por 2.

Este análisis aclara los diversos puntos que se pueden tener en cuenta para hacer un análisis cuantitativo.

El capítulo siguiente estudia puntos citados anteriormente y los que se suelen tratar en un análisis cuantitativo.

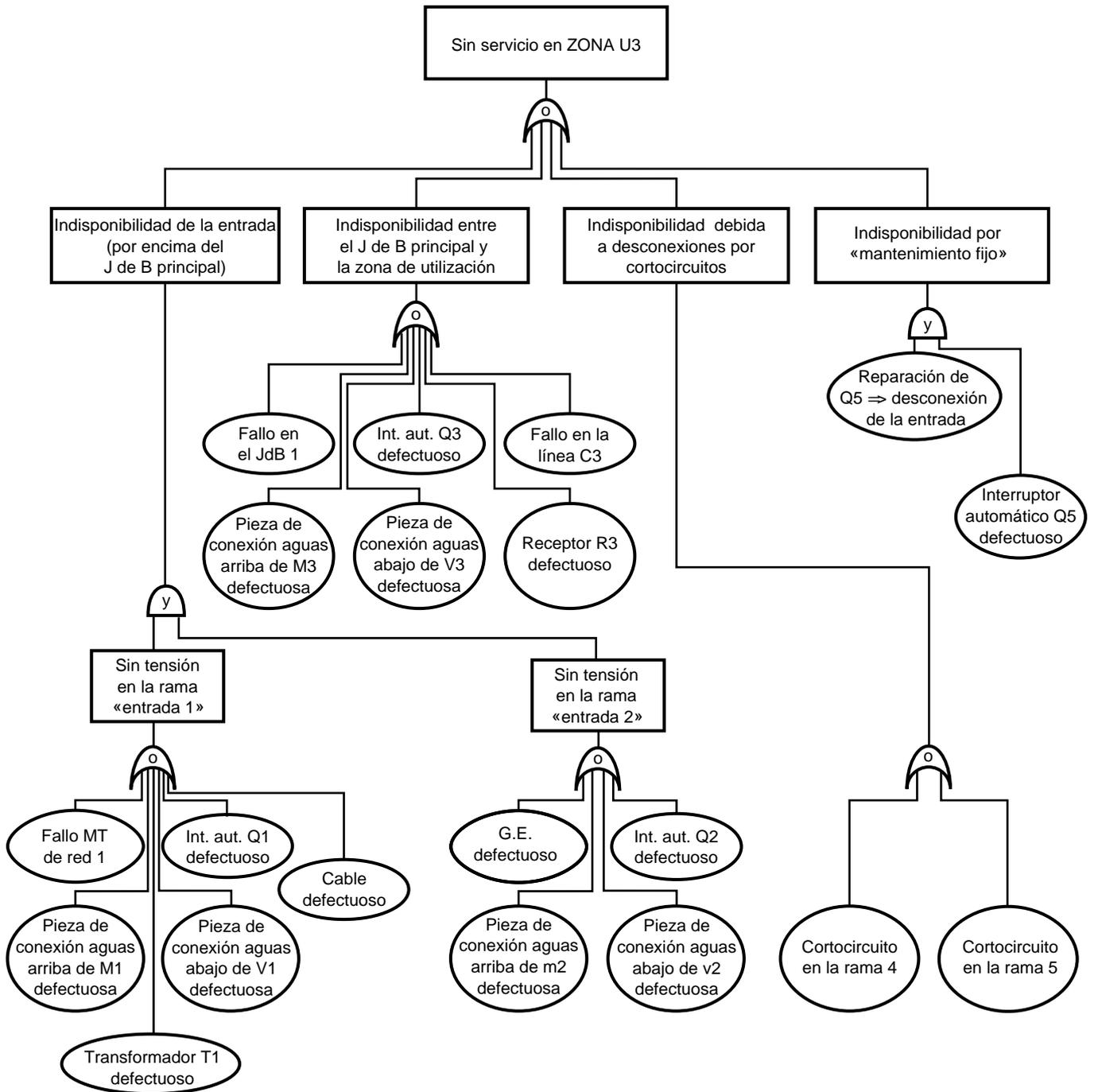


Fig. 9: Árbol de fallos del esquema de la figura 8.

3.2 Conceptos de seguridad industrial

El diseño de una red debe de responder a las exigencias específicas del cliente. En todo sistema, basta que haya un elemento débil, para que la seguridad del conjunto quede en entredicho.

Así, para no encontrarse al volante de un fórmula 1 «a pedales», es aconsejable valorar la importancia de diversas soluciones técnicas en lo que se refiere a la seguridad, y:

- el esquema (acometida, utilización final, esquema de conexión del neutro),
- las conexiones,
- los arcos eléctricos,
- los «tipos de cuadro» (forma, conexiones, aparatenta fija o seccionable, IP...),
- las salidas a motor en rack extraíble,
- los elementos auxiliares de mando y control.

La seguridad ya desde el esquema

El elemento más importante para el trazado de una red eléctrica es el esquema de la acometida.

Otros elementos, como el tipo de receptores, el número de interruptores automáticos de mantenimiento fijo o el esquema de conexión a tierra, pasan a un segundo término.

- El esquema de la acometida

La seguridad del suministro repercute en todos los receptores, críticos o no, y se demuestra que es importante, en la medida de

lo posible, conseguir una configuración de entrada coherente con las necesidades aguas abajo. (Figura 10).

La solución adoptada dependerá del entorno donde se use. Por ejemplo:

- en ciertas zonas, es posible disponer de dos entradas MT derivadas de centros de transformación diferentes. Esto reduce el modo común debido a la no disponibilidad de AT;
- en una zona aislada, esta solución puede ser impensable; en este caso se puede proponer una producción autónoma con grupo electrógeno de emergencia;
- determinados sectores industriales (químico, petroquímica, papeleras, ...) por su fabricación ya disponen de energía (a menudo en forma de vapor) que utilizan para accionar grupos turbo-alternadores. La red de distribución pública es entonces utilizada como soporte.

Nota: en el caso de que la entrada considerada no pueda soportar cortes breves, puede resultar imprescindible recurrir a un SAI. Pero no hay que olvidar que este tipo de aparato tiene limitada su autonomía a la de su batería, que suele ser de 15 minutos.

- Separación en salidas preferentes y no preferentes. La búsqueda de una buena disponibilidad de la energía lleva, casi siempre, a separar los consumidores en dos tipos:

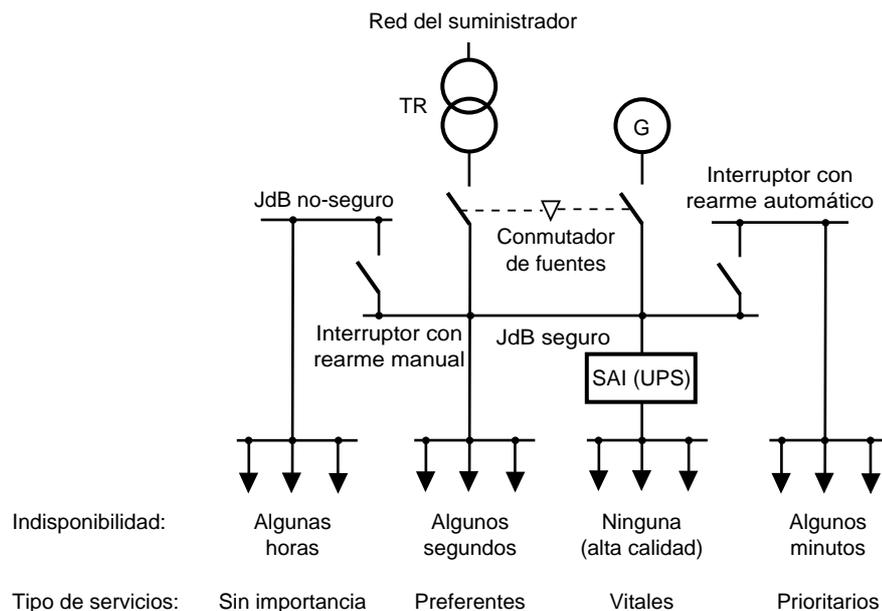


Fig. 10: Esquema simplificado de una red.

- los preferentes,
- los no-preferentes.

En caso de sobrecarga o corte en la fuente principal, los suministros no-preferentes quedan desconectados y los preferentes acceden a la potencia disponible en una fuente alternativa (una segunda entrada MT o un grupo electrógeno).

□ Dispositivos de conmutación

En caso de fallos, la conmutación puede hacerse sobre fuentes de reserva, no utilizadas en funcionamiento normal, o sobre las fuentes de salida no-preferentes, con la desconexión de estas últimas.

Así se pueden considerar tres tipos de conmutaciones (Cuaderno Técnico nº 161):

- síncrona:

La fuente principal y la fuente de reemplazo son o tienen la posibilidad de estar sincronizadas, lo que permite realizar una conmutación sin corte de la alimentación a los receptores. Este procedimiento es utilizado en las instalaciones de alto nivel de seguridad.

- con tiempo muerto:

Es el tipo de conmutación más usado. Con duraciones de conmutación que varían de 0,4 a 30 segundos, es muy utilizado en la industria y los servicios.

- pseudo-síncrona:

Se usa un dispositivo de conmutación rápido (60 a 300 ms), por ejemplo, en sectores como:

- químico,
- petroquímico,
- centrales térmicas.

■ La utilización final

En el caso de las redes usadas en este ejemplo (figura 8), la no-disponibilidad debida a la de los receptores es del 5% (figura 11a). Según las características de los receptores utilizados, la parte de no disponibilidad debida a ellos puede variar entre el 5 y el 70%.

Es necesario, pues definir bien las características técnicas de los receptores frente a sus condiciones de empleo, así como los procesos de mantenimiento destinados a prevenir cualquier fallo.

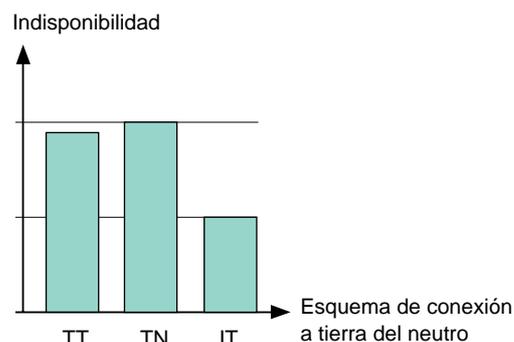
La mayor parte de los fallos eléctricos de los motores se deben a defectos fase/masa que aparecen en el momento del arranque del motor. El control del aislamiento cuando el motor está parado, especialmente con el Vigilohm SM 21 de Merlin Gerin, permite:

- programar un mantenimiento preventivo,
- evitar un deterioro irreversible del motor.
- Esquemas de conexión del neutro a tierra (Cuadernos Técnicos nº 172 y 173).

A) Distribución de la no-disponibilidad en la salida



B) No-disponibilidad en la salida en función del esquema de conexión a tierra



N.B. : en régimen IT, la indisponibilidad se calcula considerando la reparación obligatoria del primer defecto

Fig. 11: La no-disponibilidad de una entrada puede representar una parte muy importante de la no-disponibilidad total, aquí, un 50%.

Los tres esquemas de puesta a tierra del neutro son:

- el esquema TT (neutro a tierra y conductor de protección eléctrica a tierra),
- el esquema TN (neutro a tierra y conductor de protección eléctrica al neutro),
- el esquema IT (neutro aislado y conductor de protección eléctrica a tierra).

El esquema de puesta a tierra del neutro tiene influencia sobre la disponibilidad y la facilidad de mantenimiento por el hecho del corte o no del circuito al primer defecto (en el caso de los esquemas TN y TT). Además, la corriente de defecto a tierra depende del esquema de conexión y condiciona la importancia de los daños ocasionados a la instalación y, sobre todo, a los receptores (**figura 12**).

El histograma de la **figura 11b** representa los resultados de un estudio de fiabilidad. El esquema de conexión IT, con un dispositivo de búsqueda rápida (automático) del primer defecto, es el que ofrece la mejor disponibilidad, porque permite:

- no interrumpir la explotación (continuidad del ciclo de producción en curso),
- la reparación del defecto durante una fase de no funcionamiento,
- la preparación de los trabajos de reparación durante la producción, y por tanto, ganancia en facilidad de mantenimiento.

Además, el esquema de conexión IT es aconsejable en los casos siguientes:

- existencia de receptores sensibles a las corrientes de defecto importantes,
- riesgos de incendio importantes,
- utilización de grupos electrógenos de socorro (para evitar el deterioro del alternador con defecto interno),
- necesidad de un alto nivel de seguridad (disponibilidad + seguridad), por ejemplo, en la sala de operaciones de un centro médico, donde, además, es obligatorio.

Nota: en el esquema de conexión IT, la probabilidad de desconexión como consecuencia de un segundo defecto (si éste se produce durante el tiempo de búsqueda y supresión del primer defecto) es menor que en

el esquema de conexión TN o TT, porque necesita la presencia simultánea del primer y del segundo defecto sobre fases distintas.

Se ha visto antes que el estudio del régimen de neutro es importante. Una vez fijado éste, queda por escoger los materiales (cuadro y aparamenta), buscando una cierta homogeneidad en las fiabilidades de los diferentes eslabones que determinan la no-disponibilidad final.

La seguridad y las conexiones

Puesto que un cuadro eléctrico tiene un gran número de conexiones es importante interesarse en los fallos que pueden provocar.

Se tiene un fallo de conexión cuando ésta no transporta la energía eléctrica para la que ha sido dimensionada. En este caso, se produce un calentamiento local que puede provocar la destrucción del aparato y/o de los cables.

La importancia de controlar bien los problemas de las conexiones se ilustra en la **figura 13**.

La mayor parte de las causas de no disponibilidad se debe a diversos fallos (acometidas, aparamenta...). La parte debida a las conexiones no es despreciable.

Conviene distinguir las conexiones realizadas en fábrica de las realizadas «in situ»; estas últimas, estadísticamente, son las que más fallan.

De la práctica se deduce que la seguridad puede ser notablemente mejorada por:

- superficies de contacto bien dimensionadas (recubrimiento),
- estado cuidadoso de estas superficies (planas, limpias),
- un par de apriete adaptado a los materiales.

La seguridad y los arcos eléctricos

■ No-disponibilidad debida a los arcos

En los cuadros, los arcos eléctricos pueden deberse a causas muy diversas, por ejemplo, la intrusión de pequeños animales (ratas y hasta reptiles), la presencia de objetos olvidados en los trabajos de mantenimiento, la degradación de los materiales por el calor, o incluso, los depósitos de polvo conductor.

esquema	TT	TN	IT
acción después de un defecto de aislamiento	desconexión inmediata	desconexión inmediata	<ul style="list-style-type: none"> ■ prosigue la explotación ■ búsqueda del defecto ■ preparación antes desconexión
importancia de la corriente de defecto (condiciona daños de la instalación)	algunas decenas de amperio	varios kiloamperios (cortocircuito)	algunas decenas de miliamperios (1 ^{er} defecto)

Fig. 12: La elección del esquema de conexión del neutro a tierra afecta directamente a la seguridad y a la fiabilidad de la instalación.

Los daños debidos a los arcos son a menudo importantes. Suponen un tiempo de parada que puede alcanzar algunos centenares de horas para un cuadro «ordinario». En tanto que, para un cuadro «mejorado», este valor se hace despreciable, puesto que estas paradas quedan limitadas solamente al tiempo de reordenación de la distribución (apriete de los cables, limpieza de las superficies carbonizadas...) o sea, aproximadamente una hora. Para evitar esta no-disponibilidad, conviene actuar sobre los tres puntos siguientes:

- riesgos de aparición de los arcos,
- duración del arco,
- propagación de los arcos eléctricos dentro del cuadro.

Aparte de que estas acciones llevan a reducir el tiempo de reparación, tienden, también a disminuir la importancia de los desperfectos debidos a los arcos.

■ Evitar la aparición de los arcos eléctricos

Más vale prevenir que curar, y por tanto, actuar sobre las causas de la aparición de los arcos eléctricos, así:

- los cebados de arcos por perforaciones dieléctricas no se producen, si:
 - se eligen bien los materiales,
 - se respetan las líneas de fuga y las distancias de aislamiento.
- la penetración de objetos o cuerpos extraños, incluido polvo conductor y la entrada de pequeños animales son el origen de

numerosos arcos eléctricos en los armarios BT. Para evitarlos, las envolventes deben de estar pensadas:

- estudio de la forma,
- elección del IP,
- colocación de filtros...
- después de la ruptura (caso de un cortocircuito o de una sobrecarga) salen a presión del aparato de protección gases ionizados. Estos gases pueden provocar un cebado, por ejemplo en un juego de barras que se halle en su proximidad. Este riesgo se evita con una estructura bien pensada y/o con pantallas juiciosamente dispuestas,
- una conexión defectuosa puede provocar la aparición un arco. Para evitarlo, las conexiones deben estar adecuadamente apretadas (ver § «la seguridad y las conexiones»).

■ Limitar la duración del arco

Conviene reducir al máximo el tiempo de arco para limitar los daños que ocasiona. A tal efecto se pueden tener en cuenta diversas soluciones:

- regular al mínimo el ajuste de «retardo» en los interruptores automáticos (protección contra los cortocircuitos), pero manteniendo la selectividad. Estos tiempos denominados de «corto-retardo», destinados a conseguir una selectividad cronométrica, retardan la desconexión de los interruptores automáticos en caso de cortocircuito y con ello alargan la duración del arco.

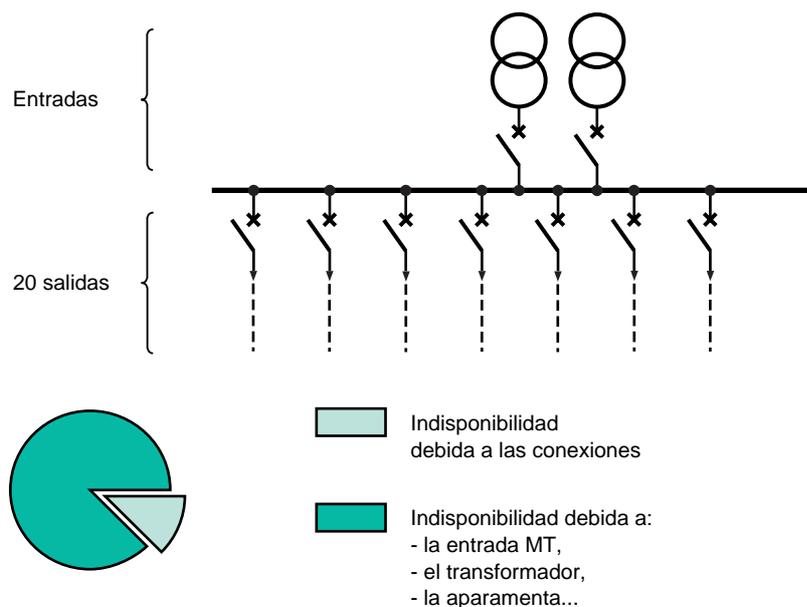


Fig. 13 : Las no-disponibilidades debidas a las conexiones representan una parte no despreciable de las causas de no disponibilidad del sistema.

Hay que destacar que, cuando puede emplearse la selectividad lógica, constituye la mejor solución, por cuanto permite una selectividad absoluta con retardos mínimos, cualquiera que sea el nivel de la distribución.

□ emplear aparatos limitadores

Estos aparatos cortan muy rápidamente las corrientes de cortocircuito, limitando así la corriente de defecto. Esto tiene el efecto de reducir la duración del arco y con ello limitar los efectos térmicos.

□ Escoger una protección con un tiempo «de caída» importante (y un aparato que guarde en memoria los defectos transitorios).

El arco tiene la particularidad de ser un defecto transitorio por dos razones:

– por una parte, un arco puede apagarse rápidamente por la disposición de los elementos en el cuadro. Pero los gases ionizados que se generan pueden provocar recibidos en otras partes con tensión. Se

pueden producir muchas secuencias de extinción y de recibido,

– por otra parte, su impedancia varía en función de su velocidad de desplazamiento y de los obstáculos que encuentra.

Sin embargo, cada vez que aparece, todo el equipamiento sufre diferentes esfuerzos que, además, suelen sumarse.

La respuesta a este problema se halla en los sistemas de protección que integran el defecto en el tiempo: cuando aparece un defecto y después desaparece (o pasa por debajo del umbral antes de la desconexión del aparato de protección) esta «información», en tiempo y en intensidad, debe conservarse a nivel de la protección para provocar una desconexión si el defecto se repite, o si se presentan breves sobrecorrientes. Así, un interruptor automático BT puede guardar en su memoria el cortocircuito y no «reinicializarse» más que progresivamente (**figura 14**).



Fig. 14: Un interruptor Masterpact de tipo «abierto» dotado de una unidad de control STR 68 mantiene temporalmente en memoria los cortocircuitos.

■ Impedir la propagación en el cuadro

Las leyes de la física hacen que el arco se aleje de su origen y se desplace rápidamente. Al objeto de reducir las consecuencias para la explotación, el arco no debe extenderse a todo el cuadro. Conviene controlar el arco durante toda su duración:

- tabicando completamente las diferentes zonas del cuadro; los tabiques y travesaños aislantes evitan que el arco, por sí mismo o por sus gases ionizados, se propague,
- creando trampas de arco que hagan posible su extinción, tales como:
 - envolver el juego de barras con materiales aislantes,
 - geometrías del JdB que alarguen el arco.

La seguridad y las «opciones» del cuadro

La forma de acceder a las conexiones (por delante, o por detrás), el modo de instalación de los aparatos (fijo o seccionable) y el grado de protección son otras tantas de las opciones posibles en la realización y/o la compra de un cuadro BT.

Todas estas posibilidades de elección son importantes para la disponibilidad de la energía en una salida determinada.

Recordemos las formas citadas al principio de este Cuaderno (**figura 3**).

Comparemos la forma 1 «aberturas no tapadas» con una forma 2 «aberturas de acceso de los cables tapadas».

La expresión abreviada «aberturas de acceso de los cables tapadas» significa que el usuario ha tenido el cuidado de hacer pasar los cables a través de un fondo de chapa provisto de pasa-cables.

Nota: esta disposición se considera en el empleo de una forma al menos igual a la forma 2.

Con este ejemplo es fácil comprender que una elección juiciosa de la forma mejora la disponibilidad, pues afecta a:

- la probabilidad de aparición de defectos (hace imposible la entrada de roedores),
- la propagación de un arco (presencia de una barrera).

Para una buena disponibilidad es por tanto interesante prever un cierre de los cuadros BT (forma 3) y aún más a nivel de las conexiones de los cables exteriores (forma 4) por cuanto, como se ha visto antes, éstas son el origen de la mayor parte de los fallos (ver § «la seguridad y las conexiones»).

■ Conexiones por delante o por detrás

El lugar reservado al equipamiento eléctrico, durante el diseño de los locales, condiciona muy a menudo el tipo de conexiones a realizar en el cuadro. Esta exigencia influye sobre la disponibilidad.

Un cuadro con las conexiones por delante es, a menudo, de difícil acceso, lo que provoca tiempos de reparación importantes comparados con la doble accesibilidad obtenida con una conexión por detrás (**figura 15**).

a) Cuadro con conexionado por la parte delantera; cuadro adosable a la pared.

b) Cuadro con conexionado por la parte delantera y con un pequeño pasillo de servicio.

c) Cuadro con conexionado por la parte posterior, con el imprescindible pasillo de servicio técnico.

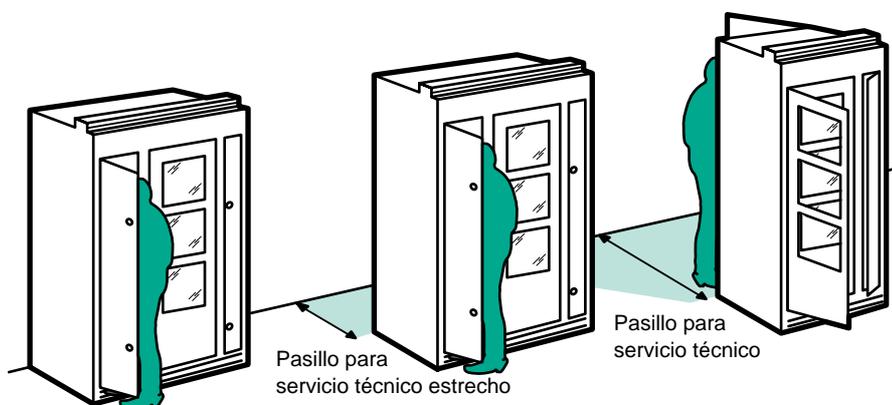


Fig. 15: Un buen compromiso entre la mantenibilidad y la superficie ocupada puede conseguirse con un cuadro con el conexionado por la parte delantera y con un pequeño pasillo de servicio por la parte posterior.

Hay que destacar que la no-disponibilidad de un cuadro que tiene las conexiones por delante es todavía más importante si los aparatos se han montado «fijos» y se necesitan herramientas para desmontarlos.

Para mejorar la facilidad de mantenimiento de un cuadro con conexiones por delante, previsto para quedar adosado a una pared, conviene prever un estrecho pasillo técnico por detrás.

■ Fijo o seccionable

La disponibilidad puede mejorarse con la elección de un aparato seccionable. A parte del hecho de que su mantenimiento es más rápido, es necesario también considerar que no tiene influencia alguna en las salidas próximas.

En efecto, el seccionamiento se hace sin carga (circuito abierto), pero con tensión, con lo que no es necesario cortar aguas arriba e interrumpir así la alimentación de otras salidas en paralelo.

Sin embargo, la opción «seccionable» puede no presentar ventajas cuando los cortes son frecuentes (fuentes poco fiables, cables de alimentación únicos y con riesgos...), o cuando, debido a un mantenimiento muy fácil, no se influye en las otras salidas.

Por el contrario, en el caso de un cuadro con conexiones por delante de forma 2, el interés de utilizar interruptores automáticos «seccionables» es evidente.

■ Grado de protección (figura 2)

Sólo se consideran en este párrafo las dos primeras cifras características del IP (penetración de cuerpos sólidos y de líquidos).

La primera cifra indica el tamaño máximo de los objetos o de las partículas susceptibles de penetrar en el cuadro y limita con ello el tamaño de acceso a las partes con tensión. Esta cifra (del 1 al 6) es tanto más alta cuanto más pequeño es el tamaño.

La segunda cifra se refiere a los líquidos e indica el nivel de estanqueidad obtenido por:

□ tejadillos, casquetes, o pasos en zig-zag contra las proyecciones verticales u horizontales de líquidos,

□ juntas y dispositivos apropiados que permiten conseguir una estanqueidad total para que las envolventes puedan estar sumergidas.

En conclusión, cuanto mayores sean las dos primeras cifras características del IP, mejor será la protección.

Sin embargo, todos los aparatos eléctricos se calientan y la mayor parte tienen un límite térmico.

Por tanto una estanqueidad excesiva se opone a una buena ventilación del cuadro, por lo que puede ser nefasta para el buen funcionamiento de su aparamenta.

Sectores de ejemplo	Ejemplos	Grado IP
locales (emplazamientos) domésticos	habitaciones aseos	20 27
locales técnicos	servicio eléctrico equipo de aire acondicionado cámara frigorífica	20 24 25
salas de máquinas y locales anexos (potencia > 70 kW)	motores de fuel motores de carbón calderas de carbón	20 60 61
garajes y parkings (superficie > 100 m ²)	talleres zona de lavado	21 25
edificios de uso colectivo	despachos salas deportivas grandes cocinas	20 21 25
locales (o emplazamientos) en las explotaciones agrícolas	almacén de vinos gallinero almacén de forraje	23 35 50
establecimientos industriales	electrólisis fabricación de cartón canteras	03 33 55
locales comerciales y anexos	galerías de arte droguerías panaderías ebanisterías	20 33 50 50

Fig. 16: Ejemplos de grados de protección mínimos (según NF C 15-100 y la guía práctica UTE C 15-103).

Esto es así, a menos que se prevea la evacuación de las calorías y/o se haga una buena elección de los aparatos.

El entorno, más o menos exigente, y las cualidades de los componentes del cuadro fijan la elección del grado de protección. Los niveles de protección requeridos, según el tipo de locales, se recogen en la **figura 16**.

La seguridad y la salida a motor en rack extraíble-seccionable

En las industrias de procesos se utilizan numerosos cuadros MCC, denominados «de racks seccionables» (**figura 17**).

Normalmente, en los casos de mando de motores se exige una buena continuidad de la explotación. El rack extraíble es la solución porque permite un mantenimiento fácil y rápido: una salida defectuosa se reemplaza inmediatamente por un equipo idéntico, manteniendo el cuadro con tensión.

Un rack que alimenta un motor puede estar constituido por un conjunto fusible-contactor-relé térmico, o por un conjunto interruptor automático-contactor-relé térmico.

En cuanto a la disponibilidad, estas dos configuraciones son prácticamente iguales en funcionamiento normal, pero difieren mucho en caso de fallo del contactor.

En efecto, cerca del 20% de los fallos de las salidas se deben a los contactores (los contactos quedan pegados) y con el inconveniente añadido de la extracción de un cajón con el contactor defectuoso. Es entonces necesario abrir el circuito de potencia; lo que es fácilmente posible con una asociación interruptor automático-contactor, pues basta con abrir el interruptor automático. En el otro caso (asociación fusibles-contactor) es necesario cortar la tensión al nivel de interruptor general..., y todas las otras salidas de motor quedan entonces cortadas.

La seguridad y los auxiliares de control-mando

Los fallos de los elementos auxiliares son los de los relés, las conexiones o su alimentación.

La instalación del cableado, hilo a hilo, de estos elementos auxiliares es larga y está sometida a los errores de los montadores, lo que puede originar cualquier tipo de fallo.

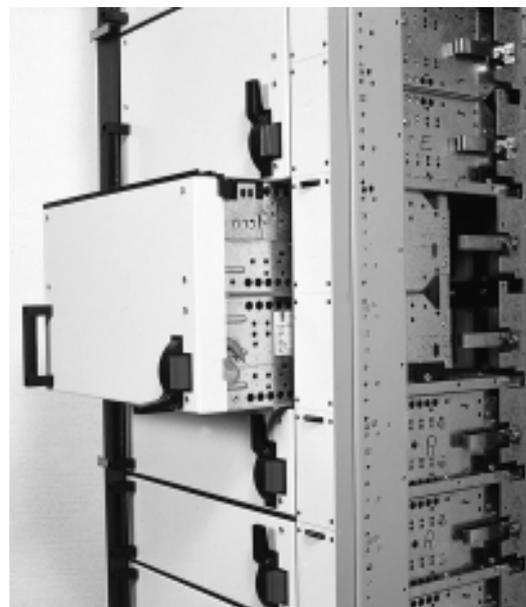


Fig. 17: Vista de detalle de un cuadro BT del tipo MCC con racks extraíbles (modelo MB400 - Merlin Gerin).

Para solucionar esto Merlin Gerin ha normalizado toda esta problemática de conexionado en sus productos (Digibloc, Dialpact, ...). Se trata de tarjetas o módulos de control-mando unidas con cable-cinta de conexión o con conexiones digitales normalizadas. Estos elementos centralizan las informaciones y permiten realizar distintos esquemas de mando.

Las modificaciones de estos esquemas se efectúan, simplemente, configurando estas tarjetas o por la asociación de nuevos módulos.

Con esto se consiguen muchas ventajas:

- ganancia de tiempo de instalación,
- mejor fiabilidad, suprimiendo los errores de cableado,
- tiempo de reparación limitado al tiempo de cambio de una tarjeta o módulo,
- fácil evolución del sistema.

3.3 Niveles de seguridad requeridos

En la construcción de redes BT es posible utilizar numerosas opciones técnicas que ofrecen niveles de seguridad diferentes. Pero ¿con cuál quedarse? Cada una de ellas tiene el efecto deseado cuando se aplica en el sitio adecuado.

A título de ejemplo, el empleo de una forma 4 es muy útil, con la condición de estar exenta de defectos mayores en la instalación.

La respuesta lógica en el diseño de una red BT no será, pues, el elegir e instalar al azar multitud de materiales eficientes y fiables, convencido de que «al menos en esto uno se queda tranquilo».

De hecho cada aplicación o ámbito de utilización de la energía eléctrica de BT requiere un nivel de seguridad adaptado al mismo. Éste depende, por ejemplo, del sector de actividad y de los imperativos de la explotación (**figura 18**):

- El sector-servicios (terciario) está constituido por los pequeños comercios, escuelas..., hasta grandes superficies, bancos, inmuebles de despachos, grandes hospitales.

- La industria agrupa principalmente todas las fábricas (automóviles, aeronáutica, textil, ...). Tiene determinadas necesidades de distribución (protección y estructura de la red) y necesidades ligadas a los procesos de fabricación (mando motor, servidumbres); el proceso es muy importante en la producción continua de la industria petroquímica, las fábricas de cemento, la industria agro-alimentaria...

¿En qué aspecto representan estos sectores necesidades diferentes? Accidentes como el de BHOPAL (diciembre 1984), TCHERNOBYL (abril 1986) y PASADENA (octubre 1989) han demostrado la existencia de riesgos considerables para las personas y sus entornos. De ahí la frecuente pregunta «¿es esto seguro?».

De hecho, no tiene sentido preguntarse «¿es seguro este equipo o este diseño?». Por improbable que sea, un fallo siempre puede producirse; la pregunta correcta es, pues, «¿es esto suficientemente seguro?».

Para todos los sectores esto se traduce en la elección de un nivel aceptable de probabilidad de peligro (en términos de seguridad) y de garantía de funcionamiento (en términos económicos):

- En las telecomunicaciones, France-Telecom tiene una probabilidad de no-disponibilidad de 1 h/siglo para las centrales telefónicas ($\lambda < 10^{-6} \text{ h}^{-1}$).

- En el transporte aéreo, se han fijado dos condiciones de seguridad:

- que todo fallo «global catastrófico» sea extremadamente improbable ($\lambda < 10^{-9} \text{ h}^{-1}$),

- que todo fallo «crítico» sea extremadamente raro ($\lambda < 10^{-7} \text{ h}^{-1}$). Esta cifra se puede comparar con la probabilidad ($\lambda < 10^{-6}$) de que un ser humano pierda su vida en la próxima hora.

- En la banca, los cortes de la alimentación provocan, no sólo la pérdida de datos, sino también registros de operaciones erróneas. Los costes de rastreo y de recuperación de los errores son los elementos de referencia.

- En los hospitales es la seguridad de las personas la que hay que considerar inmediatamente en caso de un fallo. En especial, los quirófanos y salas de reanimación se estudian para ser lugares de alto nivel de seguridad.

- En medios industriales, los fallos tienen también una influencia importante en términos de continuidad de servicio. En un artículo de Y. Lafargue, aparecido en el periódico «Le Monde», se citan dos ejemplos:

- para BSN, 10 minutos de parada provocan la pérdida de producción de 20000 latas,

- para Peugeot, sobre una producción de 1650 vehículos por día, 1 hora de fallo informático supone 100 vehículos menos fabricados, o sea se dejan de ganar 4 millones de francos. Esto permite entender el interés que puede tener un industrial en la disponibilidad de la energía eléctrica, dado que es ella la que mantiene toda la actividad de su empresa.

Así pues, sea en el sector servicios o en el industrial, los fallos pueden tener repercusiones económicas y ocasionar daños e incluso peligros. Todo lo dicho puede afectar a nuestra vida diaria, para la cual un buen servicio, en el 99% de los casos ($\lambda = 10^{-2}$), se traduciría en:

- falta de electricidad o de agua durante algunas decenas de horas cada año,

- el teléfono y la televisión estarían fuera de servicio más de 10 minutos por semana,

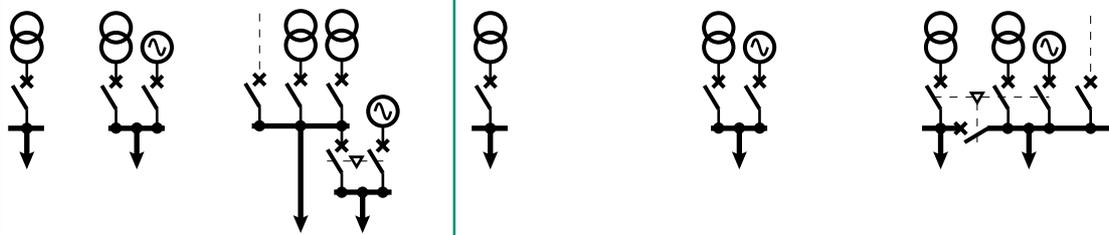
- 400 cartas por hora no llegarían jamás a su destino.

Mediante estos ejemplos imaginarios se evidencian las consecuencias de la elección de un nivel de seguridad. La tabla de la **figura 18**, sin ser exhaustiva, da la elección más adecuada para una red de BT y para diversos sectores de actividad. Para concretar esta elección es necesario definir las necesidades y poner en servicio los conceptos de seguridad vistos en el capítulo precedente.

Sector de actividad					
Terciario			Industrial		
Comercio	Hopitales		Talleres	Fábricas	Cadenas de fabricación

Problema a tratar:

Tipos de esquemas de acometida



Exigencias de explotación

Muchos receptores móviles y portátiles, modificaciones frecuentes de la alimentación desde redes públicas.	Continuidad servicio para ciertos sectores, riesgo de incendio, utilización de grupos de emergencia.	Circuitos de tierra inseguros (canteras), alimentación desde red pública.	Continuidad servicio para ciertos sectores, utilización de grupos de emergencia.	Continuidad servicio para la mayor parte de las explotaciones. Riesgo de desperfectos importantes cuando hay defectos de aislamiento (motores, automatismos) riesgo de incendio.
--	--	---	--	--

Esquema de conexión del neutro a tierra propuesto

TT	IT	TT	IT	IT
		Numerosos ctos. auxiliares, (máquinas-herramientas), receptores con mal aislamiento.		Ambiente y/o receptores que favorecen el riesgo de defecto de aislamiento.
		TN	Con red TN	

Soluciones a adoptar:

Tipo de aparata	Fija o desconectable o desenchufables		Fija o desconectable o desenchufables	Fija
Tipo de cuadro	Fijo		Fijo o con pletinas desconectables o racks extraíbles	Con racks extraíbles
Forma del cuadro	Forma 1 a forma 4		Forma 2 a Forma 4	
Grado protección IP (dos primeras cifras)	2 a 5		2 a 5	3 a 5
Aparata de mando de motor				
- de cadencia baja	Asociación fusible - contactor			
- de cadencia elevada	Asociación interruptor automático - contactor			
Tecnología de los elementos auxiliares de control-mando	Tradicional (hilo a hilo)	Estandarizada (modulares y conectables)	Tradicional	Estandarizada

Fig. 18: Los sectores de actividad y las exigencias de explotación llevan a escoger esquemas de conexión del neutro a tierra; las soluciones a adoptar dependen entre otras de las formas de armarios utilizadas y de los grados de protección exigidos.

4 El cuadro, perspectivas de futuro

La evolución de la tecnología del cuadro eléctrico está muy influida por el desarrollo de la GTE (Gestión Técnica de la Electricidad). Por eso, en este Cuaderno Técnico se analizan las implicaciones de la GTE en la seguridad de funcionamiento. Se demuestra

en los párrafos siguientes que la GTE incrementa la seguridad de la instalación, por la integración de la electrónica y por el tratamiento de la información en el cuadro BT que se convierte en «inteligente».

4.1 La Gestión Técnica de la Electricidad

La GTE (Gestión Técnica de la Electricidad) ya se utiliza en la Gestión Técnica de los Edificios, que sustituye y democratiza la Gestión Técnica Centralizada. En todo tipo de edificios industriales, de servicios e incluso doméstico, se hace referencia a la Gestión Técnica de Edificios, que permite la vigilancia y el control-mando de las funciones y de los servicios, que son generalmente:

- la calefacción y la climatización,
- la seguridad contra incendios,
- la protección contra intrusos,
- el control de los accesos y de los horarios de trabajo,
- los ascensores y el alumbrado,
- la gestión «tarifaria» de la energía.

Ambas, la Gestión Técnica de la Electricidad y la Gestión Técnica de los Edificios, corresponden a una gestión cada vez más descentralizada por razones de disponibilidad, convivencia y modularidad (ya citados en el capítulo 1).

El papel de la GTE es la gestión de la distribución de la energía eléctrica. Ésta viene a complementar las funciones tradicionales realizadas a nivel de los equipos eléctricos (protecciones, automatismos de desconexión automática, conmutación de fuentes y auxiliares de socorro), gestionando numerosas funciones del campo control-mando eléctrico.

A título de ejemplo:

- reconexión automática y progresiva de las salidas después de un defecto,
- ajuste del consumo a las posibilidades del suministro de energía en ese momento (desconexión, reconexión, arranque o parada de los grupos),
- optimización de las fuentes en función del consumo para obtener el mayor partido del contrato del suministro de energía con tarifas diferenciadas,
- optimización del funcionamiento de las baterías de condensadores,
- participación en la selectividad (coordinación de las protecciones).

Permite igualmente:

- el control-mando local y a distancia (señalización, alarmas, mando y modificación de las regulaciones...),
- la supervisión (representación gráfica del estado de la red, memoria de los sucesos y gobierno de la instalación).

La GTE es tanto más necesaria cuanto más importante es la necesidad de disponibilidad, y, en general, de seguridad.

La GTE se ha desarrollado con la generalización del empleo de los microprocesadores, que a la vez permiten la apertura hacia una «inteligencia» mayor y mejor repartida.

4.2 La GTE aporta un «plus» a la seguridad

Cuando se produce un fallo, la GTE se apoya en dos principios:

- la distribución eléctrica puede seguir en marcha. Pero ésta no queda comprometida por el fallo de un módulo de gestión, sino que queda encauzada, entre otras causas, por el empleo de aparatos biestables para el mando de potencia, tales como interruptores, relés automáticos e interruptores automáticos.

- los sistemas de protección mando y control siguen independientemente activos. De esta forma es posible continuar una operación en marcha degradada. Este principio deja a salvo el objetivo primero de la seguridad aún cuando ciertas funciones de confort se pierdan momentáneamente. Asimismo, aunque la supervisión falle, una función de protección puede continuar cumpliendo su misión y la central del cuadro puede seguir operativa.

Además, el funcionamiento de la GTE refuerza la garantía de buen funcionamiento de la red BT en cuanto a:

- **Fiabilidad:**

- la GTE reduce las intervenciones humanas que representan el mayor riesgo de fallos,

- suprime los riesgos de errores de gestión de la red al proporcionar una información completa.

- **Facilidad de mantenimiento:**

Como complemento de la fiabilidad, obtenida gracias a un diseño riguroso, los productos deben mantenerse «seguros» por el dominio del mantenimiento.

Éste se descompone en dos partes:

- el mantenimiento preventivo está destinado a prevenir los problemas y con ello limitar los riesgos de una parada por un fallo (prevención de los defectos),

- el mantenimiento operativo, destinado a poner de nuevo rápidamente «en servicio» el sistema (localización de los defectos).

El mantenimiento preventivo es anterior al mantenimiento operativo, pues evita los problemas durante la explotación. Sólo es posible con la condición de conocer bien la vida de los productos y de ser capaz de detectar posibles fallos. Así, las experiencias y los ensayos de los materiales son primordiales para conocer las circunstancias que predicen un fallo. La GTE permite explotar mejor estos conocimientos:

- se lleva a cabo un sistema de mantenimiento preventivo para limitar las intervenciones por fallos, lo que se consigue:

- contando el número de maniobras,
- midiendo la resistencia de aislamiento...

- un sistema de mantenimiento operativo realizado a partir de un dispositivo de localización de fallos,

- dos sistemas, el telemantenimiento y el telediagnóstico, mejoran considerablemente la explotación del cuadro:

- el telemantenimiento permite conservar la vigilancia sin necesidad de tener en el emplazamiento una sala de control y permanentemente en el lugar un equipo de mantenimiento. El registro a distancia de informaciones relativas a los fallos evita las visitas demasiado frecuentes a los diferentes puntos de suministro de electricidad,

- el telediagnóstico permite realizar un diagnóstico a distancia gracias a la transmisión por telecomunicación de los parámetros cuantificables, con lo que se reducen, evidentemente, los tiempos de intervención, sobre todo en el caso de que sean servicios exteriores los que cuiden de la gestión y del mantenimiento de la instalación. Así, el dominio del fallo se consigue desde la primera intervención.

- **En términos de disponibilidad**

La disponibilidad es la consecuencia lógica de la fiabilidad y de la facilidad de mantenimiento, pero también:

- de la prevención de sobrecargas, con la solución de desconexiones y reconexiones para evitar cortes,

- de la gestión de las fuentes (conmutación, conexión y arranque de grupos),

- la selectividad de las diferentes etapas de protección que, como se ha explicado antes, tiene un papel importante en la disponibilidad de una instalación.

- **En términos de seguridad**

- la seguridad de las personas se garantiza con aparatos de protección de desconexión automática (situados lo más cerca posible del defecto), que aún participando del sistema de gestión, tienen un funcionamiento independiente en presencia de un defecto,

- las intervenciones son menos numerosas, o distanciadas en el tiempo. Se hacen, pues, sin carácter de urgencia,

- se da al personal de explotación una protección adicional señalizando el estado de los aparatos, justo en las zonas de intervención, así como con los avisos de fallos potenciales.

4.3 La tecnología

Toda «inteligencia» de mando y control debe de organizarse con las suficientes precauciones para que dé un buen nivel de seguridad de funcionamiento. En particular, necesita la puesta en servicio:

- de una electrónica de calidad,
- de una red de comunicaciones por BUS fiable,
- de programas reconocidos como fiables, que controlen el conjunto.
- Electrónica de calidad

La electrónica utilizada actualmente es cada vez más fiable, gracias a sus múltiples avances en los campos espacial, militar, nuclear y de consumo. El dominio de su nivel de fiabilidad está probado; las leyes de la estadística de fiabilidad asociada a los componentes se aplican perfectamente, y los cálculos de fiabilidad de los conjuntos de montajes están bien controlados.

El apoyo en los puntos críticos se hace por la redundancia de todos o parte de los módulos electrónicos o por el empleo de componentes fiabilizados.

■ Una red de comunicaciones por BUS fiable

Son los buses los que han permitido el desarrollo de sistemas inteligentes descentralizados, constituyendo la verdadera columna vertebral. Las conexiones «serie» que constituyen estos buses, permiten, en efecto, transferir los datos hacia múltiples puntos a través de un solo cable (coaxial o de pares retorcidos). Su fiabilidad ha evolucionado recientemente con la posibilidad, hoy día, de aislarlos de las perturbaciones de tipo electromagnético exteriores y por la utilización de protocolos que incluyen un control del intercambio de datos. Este tema se desarrolla en el Cuaderno Técnico n° 147 «Iniciación a las redes de transmisión de datos».

■ La seguridad del sistema pasa también por la de los programas que controlan el conjunto. En esto no hay revolución, sino una carrera sistemática de rigor en todos los niveles, desde su diseño hasta su puesta en servicio (métodos de especificación, de desarrollo, herramientas particulares, procesos muy exigentes de verificación y de ensayo).

4.4 El cuadro «inteligente»

El cuadro «inteligente» integra una parte importante de la GTE (**figura 18**), en particular:

- la aparamenta electrotécnica «inteligente»,
- sistemas específicos (ej. el control del aislamiento),
- la central de control del cuadro,
- los buses digitales.

Gracias al empleo de los micro-procesadores la inteligencia está repartida hasta el nivel de los aparatos (interruptores automáticos, interruptores, ...). Éstos, además de su función básica, tratan distintas informaciones y dialogan con la central, lo que permite:

- la «secuencialidad» de las acciones (secuencia lógica y en el tiempo),
- capacidad de cálculo y de tratamiento de numerosos datos procedentes de estos aparatos, de captadores y de sistemas específicos,
- la teletransmisión por BUS «serie» que permite el diálogo de control-mando con el usuario y/o el sistema de supervisión,
- el control y el mando, tanto local como a distancia, así como la supervisión (las órdenes se transmiten por el BUS).

El cuadro eléctrico se hace así «inteligente» y según el grado de complejidad de la instalación a gobernar, la GTE se hará con una mayor o menor integración de «la inteligencia»: una distribución de energía eléctrica en una pequeña empresa de servicios puede no necesitar más que una visualización de las medidas y de los estados en el frontal del cuadro. En tanto que, en un gran inmueble, será necesario prever telemandos (alumbrado, socorros...).

La GTE se usa hoy día en los servicios de MT y de BT con la ayuda de diversos componentes. Estos elementos, cada vez más

normalizados y conocidos por los instaladores electricistas, serán objeto de gamas de productos cada vez más extensas.

Diseñados para funcionar conjuntamente, los diferentes componentes del cuadro inteligente permiten, por su coherencia tanto a nivel «hard» como a nivel «soft», una mayor facilidad en su puesta en servicio y utilización.

Un cuadro «inteligente» bien diseñado en su conjunto y constituido por elementos coherentes, racionalizado y de serie permite obtener una GTE eficaz y, por tanto, un dominio real de la energía eléctrica con la máxima seguridad.

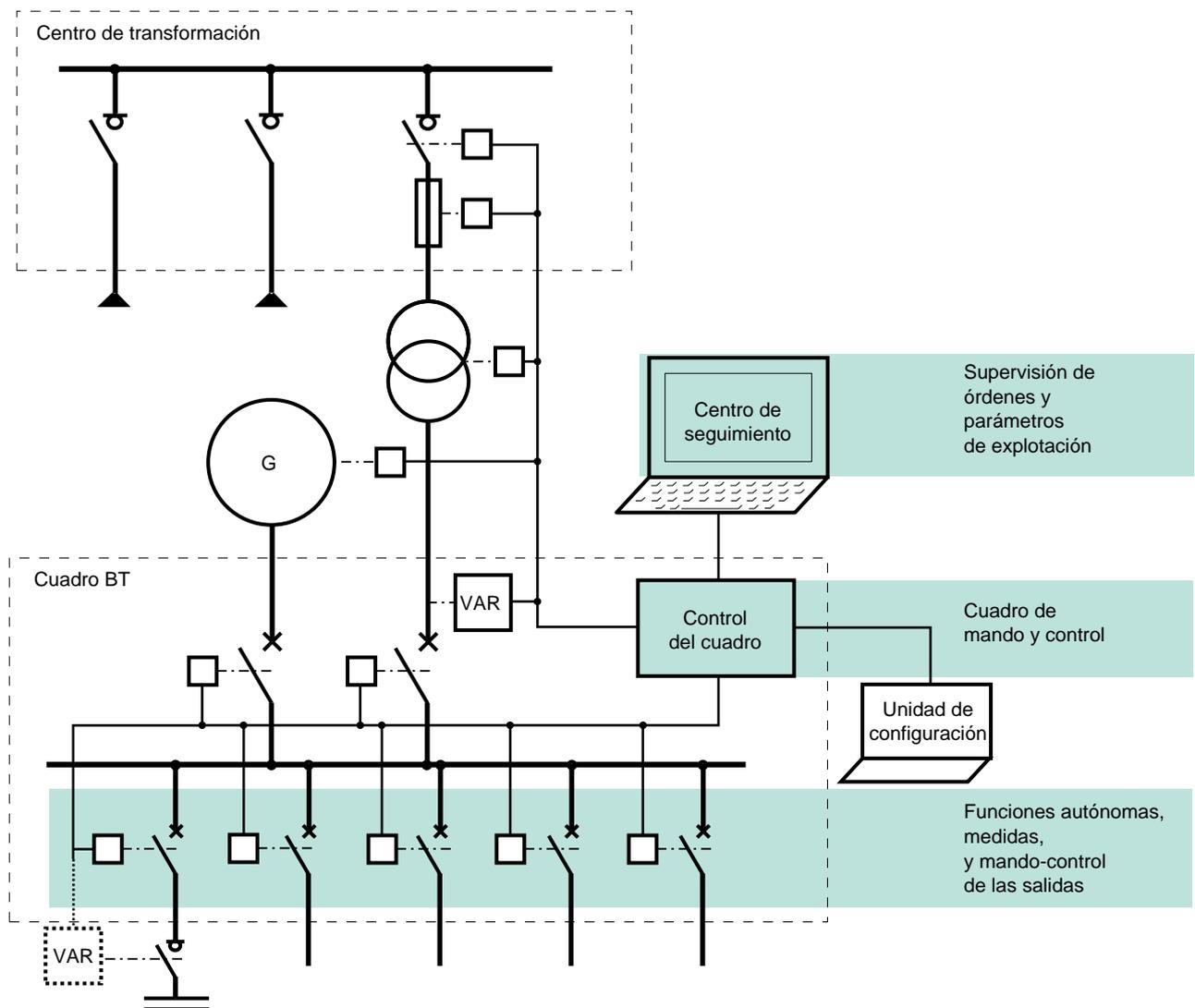


Fig. 19: Esquema de conjunto de mando y control de una instalación eléctrica y sus conexiones (BUS).

5 Conclusión

La distribución de la energía eléctrica debe responder a exigencias crecientes de:

- garantía de funcionamiento,
- capacidad de evolución con la instalación,
- integración con la explotación.

Esto obliga a los proyectistas a prever instalaciones «inteligentes», independientes, comunicables, modulares, fiables y de mantenimiento fácil.

La respuesta a todos estos criterios es la descentralización. Las funciones de base (protección y mando) se aseguran lo más cerca posible de la utilización. Sólo la supervisión tiene una posición «central». Ésta juega un papel importante en el control de la distribución en términos de la relación hombre/sistema.

La descentralización se encuentra en el diseño de cada producto, en sus enlaces (definidos entre ellos) y en la estructura que los agrupa.

Todos estos elementos (aparamenta de gran potencia, control-mando y las conexiones eléctricas) se hallan integrados en el cuadro BT; por esto su papel es vital en toda la distribución; debe, en efecto, garantizar la seguridad de funcionamiento del conjunto, sabiendo que:

- el esquema de la acometida y la fiabilidad de los receptores finales son los puntos que pueden perjudicar más la seguridad de funcionamiento,
- el esquema de la puesta a tierra del neutro influye en la disponibilidad de los receptores finales: por tanto, debe de estar bien adaptado a la explotación,
- las conexiones tienen una importancia preponderante sobre la fiabilidad del cuadro: su estudio y su realización deben de ser muy cuidados,

■ la tecnología del cuadro, forma, grado de protección, conexión..., deben de adaptarse al entorno en el que está emplazado el equipo (nivel de polución de los locales, cualificación de los que intervienen, ...),

- se utiliza aparamenta seccionable cuando se desea un mayor margen de seguridad,
- la salida a motor en rack extraíble se utiliza, sobre todo, por la flexibilidad y el aumento de disponibilidad que aporta,
- los elementos auxiliares, en los que las conexiones y la puesta en servicio están normalizados, hacen más fiable el control-mando de una instalación.

La seguridad es la preocupación de todos, del proyectista (en su despacho de estudios), del instalador (instalando conforme a las recomendaciones del constructor y las normas del oficio), y de los servicios de mantenimiento (vigilancia y mantenimiento preventivo de los puntos críticos).

Este Cuaderno Técnico muestra cómo atender los objetivos de seguridad y cómo responder al nivel de seguridad requerido por la selección de opciones, particularmente las tecnológicas.

El cuadro de BT «inteligente», unido a la Gestión Técnica de la Electricidad, responde especialmente a los criterios de seguridad y de integración con la explotación. Es la respuesta a las previsiones actuales y a las de futuro. Según la complejidad de la instalación, la integración de la «inteligencia» es más o menos importante.

En caso de modificación de la distribución, la modularidad del cuadro y el simple replanteo del sistema de control-mando contribuyen mucho a facilitar la evolución: los estudios y ensayos no tienen porqué repetirse para cada aplicación, puesto que ya se han hecho antes las pruebas.

Anexo: Bibliografía

Normas

- NF C 12-101 (1988-11): Protection des travailleurs dans les bâtiments qui mettent en oeuvre des courants électriques.
- NF C 15-100 (1991-05 + dos anexos), partes comunes con CEI 60 364-1 a 5 : Règle pour les installations électriques BT.
- NF C 20-010 (1992-10); CEI 60 529 (1989-11): Classification des degrés de protection procurés par les enveloppes.
- NF C 20-015 (1995-06); EN 50 102 (1995): Degrés de protection procurés par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes.
- NF C 20-030 (1996-08) + add. 1, no equivalente a CEI 60 536 (1976-01): Protections contre les chocs électriques, règles de sécurité.
- NF C 20-040 (1996-08) no equivalente a CEI 60 664-1 (1992-10): Lignes de fuites et distances d'isolement dans l'air.
- NF C 63-421 (1994-10), EN 60 439-1 (1994-01); CEI 60 439-1 (1992-11): Ensembles d'appareillage à basse tension.

Cuadernos Técnicos Schneider

- Introducción al diseño de la garantía de funcionamiento. Cuaderno Técnico nº 144. P. BONNEFOI
- Estudio térmico de los cuadros eléctricos BT. Cuaderno Técnico nº 145. Ch. KILINDJIAN
- Iniciación a las redes de comunicación digitales. Cuaderno Técnico nº 147. E. KOENIG
- Distribución eléctrica de alta disponibilidad. Cuaderno Técnico nº 148. G. GATINE, A. LONCHAMPT

- Cálculo de corrientes de cortocircuito. Cuaderno Técnico nº 158. B. de METZ-NOBLAT, G. THOMASSET
- Conmutación automática de alimentaciones en redes AT. Cuaderno Técnico nº 161. G. THOMASSET
- Los esfuerzos electrodinámicos en los juegos de barras BT. Cuaderno Técnico nº 162. CH. KILINDJIAN, J.P. THIERRY
- Los esquemas de conexión a tierra en BT (regímenes de neutro). Cuaderno Técnico nº 172. R. CALVAS, B. LACROIX
- Los esquemas de conexión a tierra en el muno y su evolución . Cuaderno Técnico nº 173. R. CALVAS
- Estudio de la garantía de funcionamiento en las instalaciones eléctricas. Cuaderno Técnico nº 184. S. LOGIACO
- Cuadro general BT inteligente. Cuaderno Técnico nº 186. A. JAMMES

Publicaciones diversas

- Les automates programmables sont-ils plus fiables que les relais?. Revue J3E - octobre 1990 .F. SAGOT
- An experience of a critical software development. IEEE Fault tolerant computing symposium 20 -90/ 26-28 june. New Castle. C. SAYET, E. PILAUD (Merlin Gerin).
- Risque et sécurité dans le domaine du transport. Revue Maintenance - novembre 1990. J-C. LIGERON
- Les Cahiers Gimelec:
 - Les tableaux électriques basse tension.
 - Les tableaux à gestion intégrée (TGI).