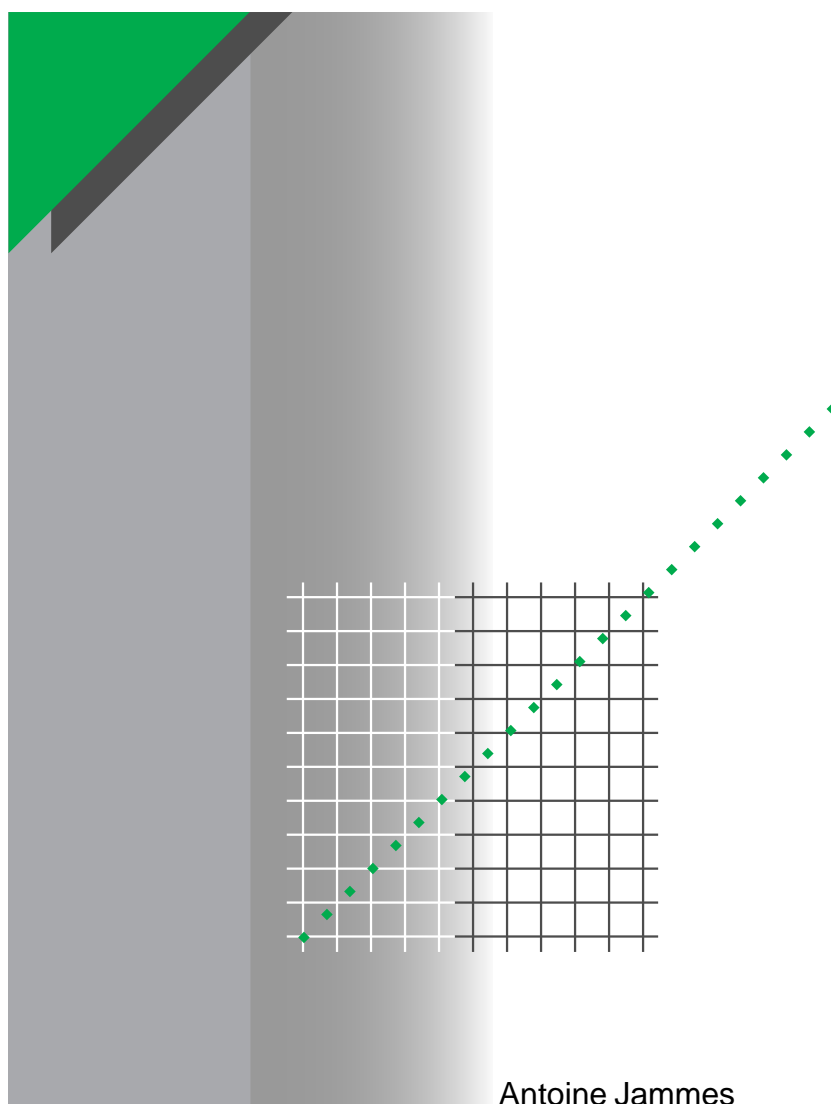


Cuaderno Técnico nº 186

Cuadro general BT inteligente



Antoine Jammes



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>

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 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 186 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 186

Cuadro general BT inteligente



Antoine Jammes

Ingeniero ENSEM 1979 (Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique de Nancy), entró a colaborar con MELIN GERIN en 1980. Ha participado en el desarrollo de software de protección en el departamento de Sistemas y Aparatos Electrónicos de Seguridad. Desde 1991 participa en el Ámbito de Actividad Estratégica BT de Potencia en el que ha sido uno de los principales impulsores del desarrollo de la inteligencia en los cuadros eléctricos.

Trad.: J.M. Giró

Original francés: abril 1997

Versión española: enero 2001



Terminología

Abonado: Dispositivo electrónico conectado a un bus mediante una interface de comunicación. Término equivalente: estación.

Aplicación: Conjunto de funciones realizadas con hardware y software.

Arquitectura: Organización de los componentes hardware y/o software de un sistema; forma de repartir las funciones y los tratamientos.

BT: Baja Tensión.

Bus o medio (bus): Conexión utilizada para el intercambio de información digital (numérica) entre los diversos elementos conectados.

CCM: Centro de Control de Motor(es). Cuadro BT que agrupa los elementos de control y monitorización de varios motores, válvulas, etc.

CGBT: Cuadro General de Baja Tensión.

CGI: Cuadro de Gestión Integrado en el Cuadro General Baja Tensión Inteligente.

CSMA (Carrier Sense Medium Access): Método de acceso aleatorio a la red de comunicación.

Estación: Dispositivo de tratamiento de la información o proceso de datos conectados a un bus.

GTB: Gestión Técnica de los Edificios.

GTC: Gestión Técnica Centralizada. Sistema que agrupa todas las aplicaciones de una misma instalación, por ejemplo el control del proceso industrial, el control de las fuentes de energía, la GTE y la GTB.

GTE: Gestión Técnica de la distribución Eléctrica. El CGI es un elemento importante de la GTE.

Inteligente: Sistema que posee los medios propios de proceso o tratamiento de la información y un cierto nivel de autonomía de funcionamiento respecto al sistema informático al que está conectado.

Maestro/esclavo: Un maestro interroga cíclicamente a sus esclavos y les da órdenes.

Proceso distribuido: Se dice del tipo de proceso descentralizado en el que el proceso se ejecuta en varias unidades de proceso que tienen una cierta autonomía y que son capaces de comunicarse entre sí.

Proceso o tratamiento descentralizado: Sistema en el que una parte de la información se procesa junto al punto de utilización.

Protocolo: Secuencia de normas que se han de seguir para establecer y mantener los intercambios de informaciones entre unidades o estaciones conectadas a un bus.

Puerta de comunicación (gateway): Equipo destinado a establecer intercambios de datos entre dos redes de comunicación diferentes, sin tratamiento local.

Red de comunicación: Equivalente al término bus de comunicación. Aquí se prefiere a la palabra bus porque se usa para referirse a la red eléctrica.

Seguridad de funcionamiento: Concepto que agrupa la fiabilidad (de los sistemas de mando y monitorización), la disponibilidad (de las unidades y máquinas), la mantenibilidad (de las herramientas y recursos de producción) y la seguridad (de personas y bienes).

Tiempo real: Califica un sistema de mando y monitorización cuya velocidad de reacción está adaptada a la dinámica del proceso.

Unidad de control de cuadro (switchboard central unit): Equipo destinado a centralizar el conjunto de las informaciones disponibles en el cuadro y su entorno directo y a procesarlas y transmitir las al sistema de supervisión para hacer al cuadro BT «inteligente».

Cuadro general BT inteligente

Actualmente, la distribución de la energía eléctrica, en todos los edificios y sin importar la actividad que se desarrolle en ellos, ha de responder a exigencias cada vez mayores de seguridad y de eficacia.

La energía ha de estar disponible para la seguridad y el confort de los usuarios, pero también para evitar los costes que producen los cortes de energía. Por tanto, las instalaciones eléctricas deben de tener un sistema de supervisión y ser capaces de reaccionar automáticamente para optimizar la distribución de la energía, lo que es posible gracias al proceso de datos o tratamiento de la información.

Así, los sistemas digitales de mando y monitorización, utilizados ya en MT industrial y pública, se convierten en una realidad en las redes BT.

Este Cuaderno Técnico, a partir del análisis de las necesidades, tiene el objetivo de explicar qué es la gestión técnica de la distribución eléctrica BT y cómo funciona. Se ha puesto un énfasis especial en la descentralización y la distribución de la inteligencia tanto en el propio cuadro general BT como en su entorno y elementos próximos y relacionados con él. Finalmente, se presentan algunos ejemplos de instalación.

1 La necesidad de control y monitorización	1.1 Introducción	p. 6
	1.2 Las necesidades	p. 6
	1.3 Las funciones	p. 9
2 Las soluciones actuales	2.1 Las soluciones utilizadas actualmente	p. 11
	2.2 Ventajas y desventajas de estas soluciones	p. 12
3 El cuadro inteligente	3.1 Arquitectura descentralizada e inteligente distribuida (definiciones)	p. 15
	3.2 Descentralización de las funciones en una instalación eléctrica	p. 17
	3.3 Arquitectura descentralizada y proceso distribuidos (ventajas)	p. 21
	3.4 Conclusiones sobre la descentralización de las unidades de proceso en un cuadro BT	p. 22
	3.5 Un bus para cuadro adaptado a las aplicaciones eléctricas	p. 24
4 Ejemplos de instalación	4.1 Centro informático	p. 28
	4.2 Hospital	p. 29
5 Conclusiones y perspectivas de futuro		p. 32
Bibliografía		p. 33

1 La necesidad de control y monitorización

1.1 Introducción

Cada vez es más importante, para cualquier tipo de instalación, sea un edificio de gran altura, un banco, un hospital, un supermercado, un aeropuerto, un túnel o una gran instalación industrial, vigilar y controlar las instalaciones eléctricas, y esto por diversas razones:

- seguridad,
- disponibilidad de la energía,
- control de la energía consumida y de su coste (según la política tarifaria de las empresas suministradoras),
- disminución de los costes de explotación y de mantenimiento,
- confort de la explotación,
- facilidad de mantenimiento y capacidad de evolución y crecimiento de la instalación eléctrica.

La Gestión Técnica de la Electricidad (GTE) es un sistema digital de mando y monitorización cuyo objetivo es responder a estas necesidades.

La GTE se puede asociar con la gestión de otras utilidades:

■ la Gestión Técnica de los Edificios (control de accesos e intrusos, climatización y calefacción, iluminación...),

■ el mando y monitorización de los procesos industriales y de producción.

Dada la gran diversidad de las necesidades y la evolución de la tecnología en los últimos años, los diseñadores cuentan con un amplio abanico de posibilidades a la hora de escoger la mejor solución para supervisar y controlar sus instalaciones eléctricas. También es posible encontrar el compromiso justo entre sus necesidades y las soluciones aplicadas gracias a los buses digitales de comunicación y a la integración de microprocesadores en el equipamiento eléctrico.

El Cuaderno Técnico nº 156 explica cómo se ha de diseñar la parte de potencia de un cuadro eléctrico para que responda a las necesidades de seguridad.

El objeto de este Cuaderno Técnico es contribuir en el diseño perfecto de la GTE (Gestión Técnica de la Distribución Eléctrica) de las instalaciones eléctricas BT.

El primer paso es revisar las necesidades de los diversos usuarios y explotadores.

1.2 Las necesidades

Las necesidades de explotación y utilización de las redes eléctricas difieren según que los edificios se destinen a actividades terciarias,

industriales o de infraestructuras, por ejemplo un aeropuerto. Estas necesidades se pueden jerarquizar (**figura 1**).



Ejemplos:

Control de fuentes

Gestión tarifaria

Automatismo normal/emergencia

Protección de personas

Fig. 1: Jerarquía de las necesidades en la distribución eléctrica BT.

En un pequeño edificio de oficinas, los criterios predominantes son el coste de la energía y la facilidad de uso para el personal no especializado.

Por el contrario, en un hospital o en una gran industria de producción, lo más importante será la continuidad del servicio.

Seguridad de las personas y de los bienes

En una instalación eléctrica se debe de distribuir la energía teniendo en cuenta la seguridad de los bienes y de las personas. La GTE no sustituye a las funciones primarias de protección (automáticas) de la aparamenta. Pero, por su capacidad de comunicación, memorización y tratamiento de la información, ayuda al usuario proponiéndole los ajustes de las protecciones, informándole del tipo de fallo que se ha producido, de la actuación del dispositivo de protección y del estado de la instalación antes de la desconexión, etc.

Además, la GTE puede llegar a abarcar las funciones de protección global; por ejemplo, puede llevar a cabo el control de aislamiento propio del régimen de neutro IT, avisando al usuario de un primer fallo, lo que permite localizarlo y eliminarlo sin perder la continuidad del servicio (**figura 2**).

La evolución de la tecnología le permite ir reduciendo el tiempo que duran las averías de la instalación y la probabilidad de aparición del segundo defecto. Se puede conocer permanentemente la medida del aislamiento en diversos puntos de la instalación y seguir su evolución en el tiempo. De esta manera por ejemplo es posible llevar a cabo un mantenimiento preventivo. El control del aislamiento es una función autónoma que se puede calificar de descentralizada en el marco de la GTE.

Disponibilidad

Cada sector de actividad tiene sus propias exigencias en cuanto a la continuidad del servicio:

- en los hospitales, las salas de operación y de reanimación se han de diseñar para ser lugares con un nivel de seguridad muy alto,
- en los edificios de servicios, la generalización de sistemas informáticos ha obligado a muchos usuarios a utilizar SAI's o redes de energía de alta calidad,
- en la industria, los cortes en el suministro de energía se traducen en pérdidas de producción. Así, para BNS, una parada de 10 minutos se convierte en la pérdida de 20 000 unidades de yogurt.

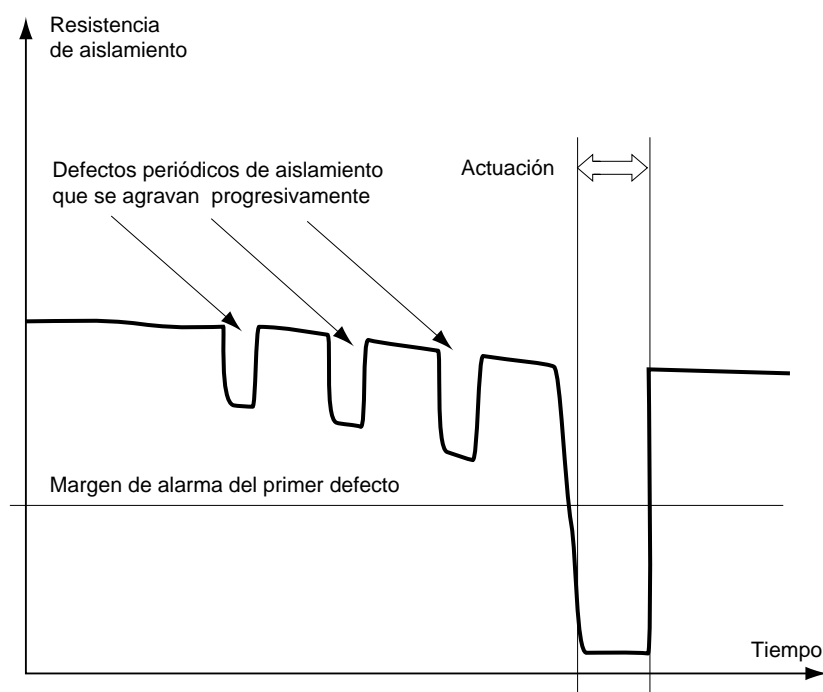


Fig. 2: Evolución del aislamiento en una derivación de salida de un cuadro (régimen de neutro IT).

La necesidad de disponibilidad determina la elección tecnológica del equipo eléctrico (aparellaje desenchufable, cuadro desenchufable o desconectable, forma y disposición de los cuadros...) y de la distribución eléctrica cuyo esquema ha de distinguir entre alimentación sin corte, preferente y no-preferente, eligiendo detenidamente el régimen de neutro (o esquema de conexión a tierra) más adecuado.

En este entorno, los cuadros eléctricos BT tienen la misión de gestionar las fuentes. La reacción ante cualquier incidente, para ser eficaz, ha de ser automática e inmediata.

La GTE es precisamente la que tiene la función de controlar la alimentación.

Coste de la energía

Disminuir la factura energética es una preocupación constante en todas las empresas y se pueden reducir realmente los costes actuando a dos niveles: controlando el consumo en sí mismo y eligiendo la tarifa adecuada. Para poder realmente reducir costes hay que conocer con precisión la evolución diaria y estacional de las potencias y del consumo.

Un sistema de medida digital y con la posibilidad de analizarlo desde una pantalla u ordenador permite hacer el seguimiento de estas variables y conseguir un equilibrio rentable.

De este modo es posible:

- llevar a cabo las acciones adecuadas ante cualquier situación,
- verificar el efecto de las medidas tomadas,
- poder facturar por taller, por servicio...
- Disminuir el consumo

Según el tipo de aplicación, hay muchas posibilidades diferentes:

- cortar la iluminación y la calefacción en los locales que no estén ocupados,
- utilizar motores de velocidad variable en la industria,
- usar compensadores y/o de filtros para reducir las pérdidas debidas a las corrientes armónicas y capacitivas, en los cables y en los transformadores.
- Reducir la factura del distribuidor

Un sistema inteligente es capaz de optimizar el contrato contratado gracias a acciones como la desconexión de cargas, la disminución de los picos horarios del consumo (alisado), conexión no simultánea de cargas con gran potencia:

□ usar baterías de condensadores para evitar la facturación de la energía reactiva,

□ escoger adecuadamente las tarifas y programar, dentro de las horas de tarifa reducida, las fases de producción industrial que impliquen más consumo eléctrico. Estos periodos se pueden establecer de forma diaria, estacional o anual:

□ distribuir el consumo de manera que pueda disminuirse la potencia contratada evitando las penalizaciones por sobrepasarla,

□ usar las fuentes de energía de sustitución, lo que permite, además de disponer de una fuente de emergencia, aguantar con energía propia las puntas de consumo o las tarifas.

Administrar el consumo y el coste de la energía eléctrica es otra misión de la GTE.

Confort de explotación

Ciertas instalaciones se gestionan a distancia, ya sea desde un cuadro de control en el interior del mismo edificio, ya sea en un centro de vigilancia común a varios edificios (televigilancia).

Esta centralización permite una optimización de los recursos humanos y una mejora de sus condiciones de trabajo, gracias a elementos informáticos ergonómicos y a la posibilidad de realización automática de operaciones repetitivas (preprogramación de gamas de funcionamiento de la climatización o de la calefacción de las oficinas...).

Por otra parte, en los edificios de oficinas y las pequeñas industrias, el personal que se encarga de la instalación cada vez está menos especializado. A menudo es el vigilante o la recepcionista del edificio la persona que se encarga del cuadro eléctrico. Por razones de eficacia, pero también de seguridad, la comunicación con estas personas necesita un diálogo «persona/cuadro eléctrico» lo más ergonómico y simple posible.

La noción de confort se traduce en la práctica, para una instalación eléctrica, en darle la máxima autonomía posible (que se gestione ella misma).

Mantenibilidad

La primera misión que se encarga al equipo de mantenimiento de una empresa es mantener la instalación operativa mientras se está trabajando.

Hay dos tipos de intervenciones:

- actuaciones correctivas, después de un fallo de funcionamiento,
- actuaciones preventivas periódicas.

Es posible aumentar la eficacia del mantenimiento actuando en dos sentidos:

■ privilegiando el lado preventivo respecto al correctivo, lo que suele provocar cortes en la continuidad del servicio,

■ privilegiando en el preventivo, pero a condición de que sea sistemático: la continuidad será tanto mejor cuanto más se trabaje en un mantenimiento preventivo y basado en la supervisión (**figura 3**).

Según las aplicaciones, el plazo máximo de intervención así como su duración pueden ser muy diferentes. En las industrias con proceso de fabricación continuo, se puede conseguir que sea muy corto, pero hay que tener permanentemente en fábrica el personal y el stock de componentes de recambio. En cambio, el tiempo de no disponibilidad puede ser mucho más largo si se trata de un edificio de oficinas, con una empresa de mantenimiento ajena y exterior y con un stock de respuestos muy limitado.

Pero además, la rapidez de la intervención está siempre relacionada con la preparación de este personal:

■ en caso de avería, un conocimiento rápido y preciso del incidente y de los parámetros de funcionamiento de la instalación antes del fallo, permiten llevar a cabo un buen diagnóstico y preparar enseguida los elementos que se han de sustituir,

■ en caso de mantenimiento preventivo, un buen conocimiento del estado de la instalación permite seleccionar pertinentemente los elementos en los que se tendrá que intervenir.

Un mantenimiento eficaz ha de disponer de antemano de información adecuada del estado de la instalación.

Facilitar información para el mantenimiento es una de las ventajas de la GTE.

Evolución

Una instalación eléctrica, cuanto más se acerca al usuario final, más capacidad de evaluar ha de tener: en los talleres, el cuadro eléctrico sigue el ritmo de las modificaciones de cada elemento de producción; en los edificios, los cambios de negocio, la generalización de uso de la informática o la instalación del aire acondicionado suelen ser causa de cambios importantes en la instalación eléctrica.

La mejora de la disponibilidad y la reducción del coste de la energía consumida obligan a hacer cambios en las redes eléctricas.

Administrar adecuadamente los cambios requiere conocer la instalación y su funcionamiento.

La GTE puede contribuir a todo ello de manera importante.

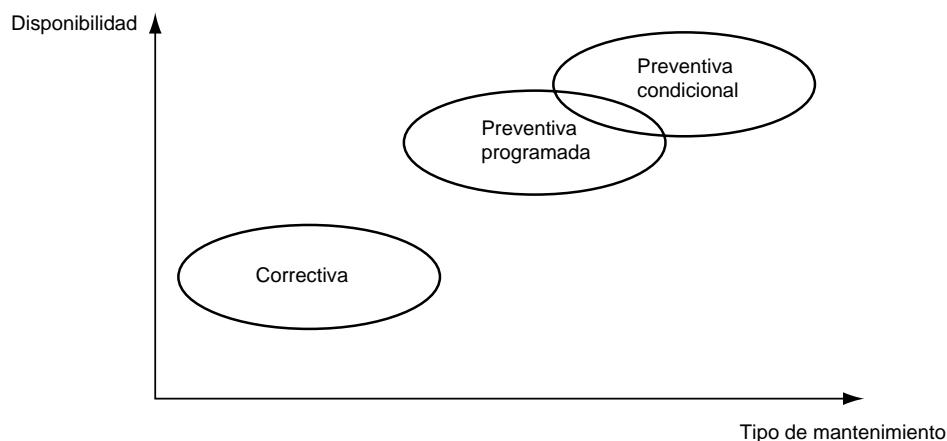


Fig. 3: Disponibilidad operacional en función del tipo de mantenimiento.

1.3 Las funciones

Para cubrir todas estas necesidades, la GTE necesita que en las instalaciones eléctricas se utilicen dispositivos que de manera global permitan:

■ realizar las **acciones automáticas**,

■ permitir al usuario, local o remoto, acceder a las **informaciones** necesarias **para prevenir o gestionar** la instalación.

Esto se traduce en que hay que hacer funciones que no siempre puede llevar a cabo un instalación ya existente.

Automatismos

- La gestión de las fuentes de energía: alimentar a los consumidores según la disponibilidad de energía en los puntos de llegada (conmutación de fuentes, grupos normal/emergencia...).
- La gestión de las derivaciones de salida: suministrar energía a los consumidores más importantes, cuando la demanda excede la potencia disponible en las entradas (funcionamiento con grupo, por ejemplo).
- La programación de tiempos: gestionar la instalación para disminuir el consumo.
- La gestión de las tarifas: administrar la instalación para optimizar el contrato establecido con el suministrador.
- El control del factor potencia: controlar las baterías de condensadores escalonadas.
- La seguridad de un cuadro (temperatura demasiado elevada, arcos internos...).
- La supervisión del aislamiento y la búsqueda de defectos con el esquema IT.
- La protección de la red: en las grandes instalaciones industriales con grandes motores, las perturbaciones de la red (bajadas o cortes breves de tensión) pueden provocar inestabilidad dinámica. Esta última función provoca las desconexiones necesarias para evitar la caída de toda la red.

Información para prevenir y actuar

Todas las funciones descritas tienen la finalidad de convertir al CGBT en autónomo, dotando a éste de los recursos que le han de hacer capaz de superar las diversas eventualidades asegurando la continuidad del servicio y una óptima explotación.

La segunda gran función de un cuadro inteligente es la de poder comunicar las informaciones para «prevenir y actuar»:

- estado de los aparatos de corte (Abierto/Cerrado),
- medida: U, I, P, $\cos \varphi$,
- conocimiento de los ajustes de actuación de las protecciones.

Todo esto necesita un conjunto de conexiones:

- con el escalón superior del sistema GTE (Gestión Técnica de la Electricidad), cuyo papel es controlar el conjunto de la instalación eléctrica MT y BT,
- con un armario de mando y monitorización local o a distancia, y eventualmente,
- con los cuadros de distribución secundarios,
- con el sistema de control del proceso industrial.

En efecto, para que el usuario esté informado y pueda actuar (reconfiguración de la red por acción voluntaria, mantenimiento, confort), el cuadro eléctrico ha de comunicar con un sistema superior a disposición del técnico electricista o de quien supervisa el correcto funcionamiento de los servicios del edificio o de la fábrica.

Si en condiciones normales es importante contar con un CGBT inteligente (y, por tanto, con capacidad de comunicación) para controlar y administrar la instalación eléctrica, todavía es más importante para «prevenir y actuar» en situación de emergencia cuando se produce un fallo.

El **mantenimiento correctivo** es más eficaz si cada uno de los elementos implicados dispone rápidamente de la información pertinente. Tomemos el ejemplo de la información de que se dispone al disparar un interruptor automático con sistema de comunicación a través del CGI (cuadro de gestión integrado):

- en el aparato: un indicador mecánico señala el disparo,
- junto al aparato: un piloto rojo indica el aparato con fallo,
- en una pantalla, en la parte alta del cuadro, un mensaje de alarma en forma de texto: «10 h 32' 23" - derivación del ascensor 2 - columna 8 - posición 12b - disparo por cortocircuito»,
- en el centro de control, en la pantalla de supervisión del responsable eléctrico: el mismo mensaje,
- en el supervisor general (conserje o personal de vigilancia ...), mensaje de alarma en forma de texto: «10 h 32' 23" - Ascensor 2 no disponible a causa de un fallo eléctrico - llamar el servicio eléctrico, número 347».

Recordemos que «prevenir y actuar» también permite el mantenimiento preventivo a condición de que se disponga:

- de informaciones referentes a la aparatada de protección y de mando integrado en los cuadros BT; por ejemplo, para un aparato de corte: contador del número de maniobras o, mejor aún, indicador de mantenimiento elaborado a partir de datos tales como la suma de las corrientes cortadas, el número de maniobras, etc.,
- de informaciones relacionadas con la instalación eléctrica: número de horas de funcionamiento de los consumidores alimentados, bajadas o defectos de aislamiento...

2 Las soluciones actuales

2.1 Las soluciones utilizadas actualmente

Las funciones presentadas en el capítulo 1 se han aplicado, total o parcialmente, mediante diversas soluciones tecnológicas:

- en la industria, aplicando a la gestión eléctrica los recursos ya instalados para el control del proceso industrial,
 - en los edificios dedicados a actividades terciarias, integrando la Gestión Técnica Centralizada o la Gestión Técnica de Edificios a todo el sistema de la distribución eléctrica.
- Examinemos las soluciones aplicadas en el ámbito de un CCM (Centro de Control de Motores) o de un CGBT (Cuadro General BT).

Solución basada en autómatas (PLC)

- Solución automática cableado hilo a hilo

La primera etapa hacia el cuadro inteligente ha sido la utilización de los PLC (Programmable Logic Controllers o autómatas programables industriales) en los cuadros. Estos autómatas sirven de interfaces entre el cuadro y el sistema de gestión técnica y efectúan ciertas funciones propias de los automatismos. Montados en racks con tarjetas de entradas/salidas, estos PLC están conectados hilo a hilo a los diversos sensores y accionadores de un cuadro eléctrico. Los programas los desarrolla un especialista: cada aplicación necesita un programa o desarrollo específico. Los límites de este tipo de solución son los siguientes:

- el cableado con hilos finos, muy importante en el recorrido desde el cuadro hasta el PLC, implica:
 - coste importante de cableado,
 - gran cantidad de regletas de bornes, lo que produce un aumento de la superficie del cuadro en el suelo,
 - gran riesgo de averías latentes debido al gran número de puntos de conexión,
 - riesgo de fallo de funcionamiento debido a los grandes campos magnéticos que produce un cortocircuito en una salida,
- la capacidad de evolución de la instalación es mala debido al carácter específico de la programación de los autómatas, normalmente poco conocido por el servicio eléctrico,

□ un sistema de proceso de datos poco adaptado: la principal tarea del PLC es la supervisión permanente del estado de los aparatos cuando algunos de ellos permanecen en la misma posición durante todo el año.

- Solución automática con entradas/salidas remotas

Desde hace algunos años, los constructores de autómatas han sacado provecho de la disminución del coste de la microelectrónica y de los buses de comunicaciones para desarrollar los módulos remotos de entradas/salidas; el objeto es el de disminuir la cantidad y el coste del cableado.

Esta solución no se ha extendido mucho en el diseño de cuadros eléctricos porque no se acaba de adaptar bien a sus exigencias: condiciones térmicas y perturbaciones electromagnéticas, necesidad de mando local de la aparamenta...

Solución cuadro automatizado

En los años 80 aparecieron numerosas ofertas desarrolladas por los grandes fabricantes de cuadros para las aplicaciones en la industria de proceso continuo o los grandes edificios terciarios.

Estas diversas ofertas se distinguen de las soluciones anteriores a base de autómatas en dos aspectos:

- desarrollo de módulos especializados unidos hilo a hilo con la aparamenta y conectados con el automático instalado en la cabeza del cuadro mediante una conexión paralelo o un bus serie. Estos módulos, diseñados para integrarse en cuadros pensados por los cuadristas, se colocan en el frontal del cuadro e integran las funciones locales de mando y señalización,
- desarrollo de funciones repetitivas para los automatismos eléctricos (por ejemplo, la conmutación normal/emergencia con la conexión/desconexión de las derivaciones de salida).

Estas soluciones se caracterizan por la descentralización del proceso de datos en el cuadro y por el control manual que tiene el electricista de estas funciones. Sin embargo,

han contribuido a una reducción muy importante del cableado en el interior del cuadro.

El éxito, limitado, de este tipo de soluciones se debe al uso de estos módulos con autómatas sólo en los cuadros hechos por estos mismos fabricantes.

Aparamenta con sistema de comunicación

El uso generalizado de los microprocesadores ha hecho que los fabricantes de material eléctrico los utilicen:

- para mejorar las prestaciones de sus productos. Un buen ejemplo es la generalización progresiva del uso de relés electrónicos en los interruptores automáticos, que cada vez tienen más posibilidades de transmitir, mediante buses digitales, los datos que procesan.

- para enriquecer su oferta con nuevas funciones; por ejemplo, medición de la

potencia y de la energía en un punto de la red con posibilidad de transmisión de estos datos. Paralelamente, van añadiendo nuevas posibilidades de autonomía al cuadro, como la automatización de funciones de la conmutación de fuentes (normal/emergencia) o la regulación automática del factor de potencia.

La proliferación de estos productos y módulos en un cuadro eléctrico aumenta el flujo de datos que se pueden transmitir a un sistema de supervisión centralizado. Hoy en día, en las aplicaciones de gran envergadura, el ingeniero responsable del sistema completo aún se ve obligado a desarrollar una arquitectura de comunicaciones compleja con estados intermedios, cuyo objetivo es doble:

- clasificación y síntesis de las informaciones disponibles,

- pasarelas de comunicación entre diversos buses.

2.2 Ventajas y desventajas de estas soluciones

En los últimos diez años se han desarrollado estas tres familias de soluciones para dar respuesta a una parte de las necesidades que hemos presentado en el capítulo 1.

Sus puntos fuertes y sus limitaciones se resumen en la tabla de la **figura 4**.

En conclusión, las soluciones más utilizadas actualmente son las siguientes:

- una tendencia, que se ha ido aplicando desde ya hace tiempo, a la descentralización de los automatismos y del tratamiento de la información a nivel del cuadro,

	Soluciones con de autómatas	Soluciones con cuadros automatizados	Aparamenta comunicante
Límites	Específica para cada aplicación; poca capacidad de evolución	Solución reservada a los grandes cuadros	Soluciones para una sola función
	Volumen de cableado importante	Instalación con autómatas especializados	Multiplicación del número de módulos
	Instalación con autómatas especializados		Instalación con técnicos especialistas en comunicaciones
Ventajas	Material probado y utilizado en grandes instalaciones industriales	Principio de descentralización	Tecnología utilizada con bus de terreno
	Soluciones perfectamente adaptadas a las necesidades de utilización de cada cliente	Control de las funciones por el electricista	Equipos industrializados que soportan las exigencias CEM del cuadro
		Funciones estandarizadas con capacidad evolutiva según las necesidades	

Fig. 4: Ventajas y limitaciones de las soluciones tradicionales para dar respuesta a la necesidad de mando y monitorización.

- una estructura jerárquica para la circulación de los flujos de información,

- una necesidad de diseños específicos y, en consecuencia, propios de especialistas.

En el entorno del cuadro eléctrico, la descentralización del tratamientos de la información o proceso de datos se convierte en realidad gracias a los buses digitales, como por ejemplo:

- en el control de proceso, donde los autómatas con algunos centenares de conexiones entrada/salida van dejando paso progresivamente, después del uso de las entradas/salidas remotas, a las redes de

autómatas y de microautómatas situados lo más cerca posible de los sensores/accionadores que controlan. Y ya se perfila la llegada de redes a nivel de sensores y accionadores «inteligentes»,

- en Gestión Técnica de Edificios, cuyas funciones están ya estandarizadas y las realizan productos específicos perfectamente adaptados a las necesidades.

Así, el control de procesos (GTP), el control de los edificios (GTB) y el control de la distribución eléctrica (GTE) constituyen hoy en día sistemas dedicados, con arquitectura descentralizada y que incorporan progresivamente la inteligencia distribuida (**figura 5**).

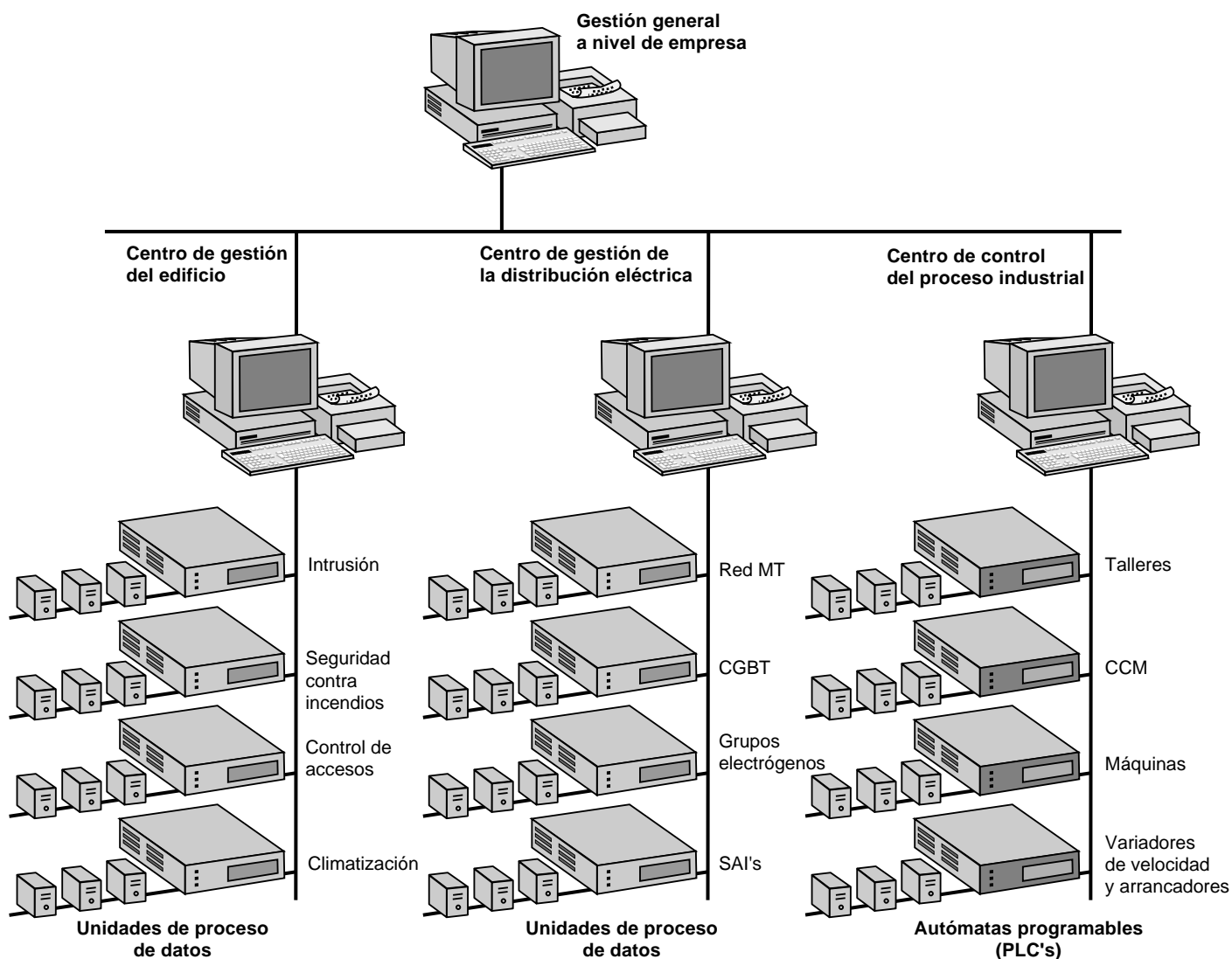


Fig. 5: Arquitectura descentralizada en GTB, GTE y GTP.

Los cuadros eléctricos BT se caracterizan por su diversidad de tamaño y por las funciones que han de cumplir.

Con las soluciones que se están utilizando y que hemos descrito en este capítulo, se han desarrollado actualmente un conjunto de principios que permiten definir y especificar lo que se llama «cuadro inteligente» y el sistema de mando y monitorización correspondiente:

- el cuadro inteligente se define por su capacidad de tratar de manera autónoma las funciones que se le asignan, y de integrarse en el sistema de control de una instalación eléctrica,
- el sistema, para responder a la diversidad de las instalaciones, ha de estar construido a partir de los siguientes principios:
 - ha de ser modular tanto en el hardware como en el software,

- la descentralización de la transmisión de la información ha de estar optimizada,

- las funciones y unidades han de ser estandarizadas y diseñadas para que las instale un electricista y para que puedan quedar integradas en las condiciones severas del entorno de un cuadro eléctrico.

- el cuadro inteligente ofrece a los usuarios, para cubrir sus necesidades de automatización y de información:

- un buen nivel de seguridad de funcionamiento y de capacidad de evolución,
- estandarización de las soluciones incluso para grandes instalaciones,
- reducción de los costes y simplificación de la instalación,
- facilidad de explotación y mantenimiento.

3 El cuadro inteligente

El cuadro inteligente, tal y como se ha definido en el capítulo anterior, se basa en la idea de arquitectura descentralizada con inteligencia repartida.

Después de haber aclarado estos términos, veremos cómo se pueden descentralizar las diversas funciones de una instalación eléctrica

y cómo se pueden repartir de la mejor manera posible en una instalación completa (GTE), en un cuadro BT o en una derivación de salida.

Seguidamente explicaremos los criterios que determinan la elección de un bus de comunicación interna en el cuadro BT adaptado a estas necesidades.

3.1 Arquitectura descentralizada e inteligente distribuida (definiciones)

■ Una comparación con el funcionamiento de nuestras sociedades permitirá comprender mejor estos términos.

En las organizaciones centralizadas, todas las decisiones las toma el «jefe»; los subordinados le transmite todas las informaciones y esperan sus órdenes para ejecutarlas.

En una organización realmente descentralizada, el jefe delega la mayor parte de las decisiones en sus subordinados: cada uno, dentro de los límites de su delegación, actúa de forma autónoma y da cuenta de forma resumida a su superior. Sólo se centralizan las

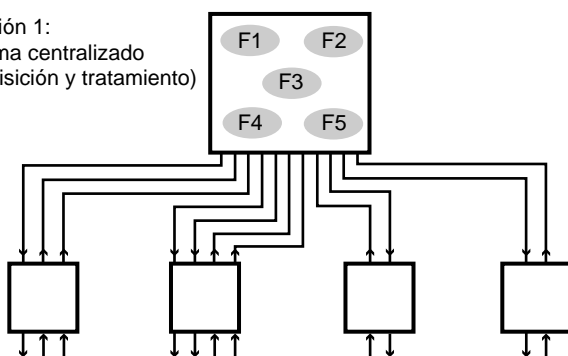
funciones que afectan a todos los individuos: la paga por ejemplo.

Una misma función se puede repartir entre diversos subordinados, lo que implica intercambios de información y una cierta autonomía del equipo.

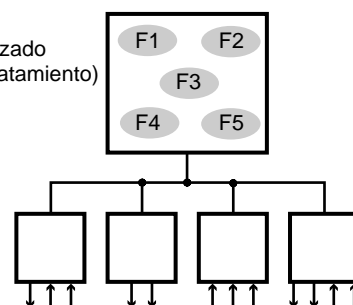
■ La **figura 6** muestra cómo puede ser una función:

- totalmente descentralizada,
- parcialmente descentralizada: la ejecución de la función se descentraliza, pero el conjunto de parámetros permanece centralizado y es común a diversas funciones,

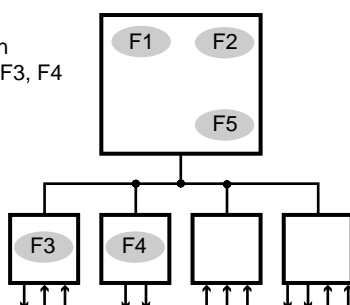
Solución 1:
Sistema centralizado
(adquisición y tratamiento)



Solución 2:
Sistema centralizado
(adquisición y tratamiento)



Solución 3:
Descentralización
de las funciones F3, F4



Solución 4:
Tratamiento distribuido
de las funciones F2, F5

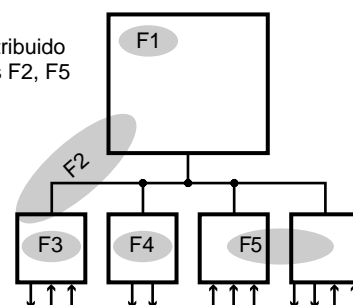


Fig. 6: Del sistema centralizado al sistema descentralizado de inteligencia distribuida.

□ repartida entre grupos de un mismo nivel jerárquico.

■ La descentralización que aplican las empresas puede aplicarse también de manera análoga en el mando y supervisión de una instalación eléctrica: el concepto de GTC (Gestión Técnica Centralizada), basado en un funcionamiento centralizado, deja paso al de GTE (Gestión Técnica de la distribución Eléctrica), basado en una arquitectura descentralizada en forma de árbol con un

proceso de datos y de órdenes distribuido. Hay que destacar que la distribución de potencia (arquitectura y protección) sigue estos mismos principios; lo que permite una buena coherencia entre los sistemas de las grandes corrientes (potencia) y de pequeñas corrientes (señal) (figura 7).

A continuación presentamos una serie de ejemplos de aplicación de estos conceptos a diferentes funciones eléctricas.

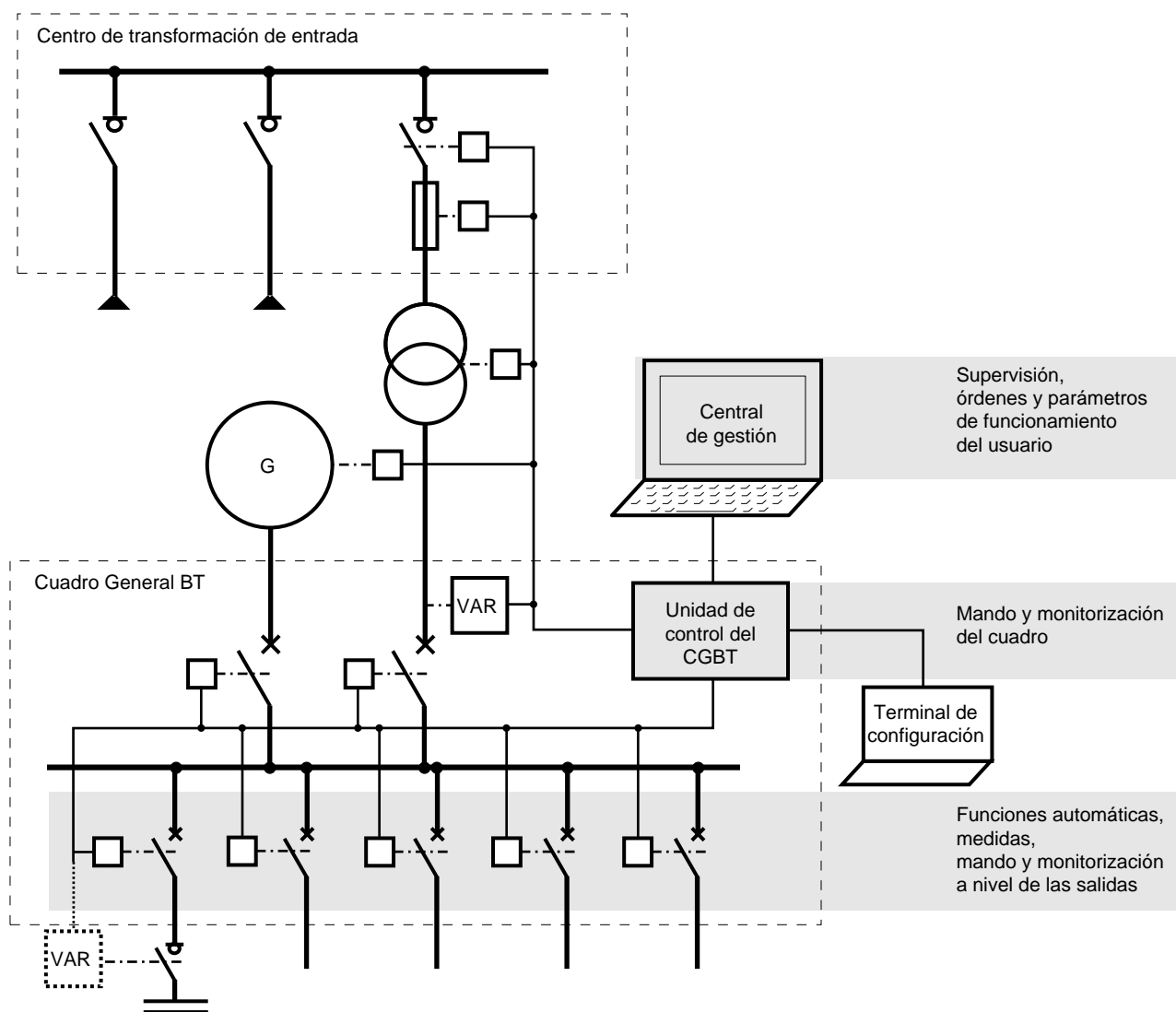


Fig. 7: Instalación de pequeña o media potencia con un sistema de mando y monitorización (GTE) en el que lo esencial está situado en el TGBT.

3.2 Descentralización de las funciones en una instalación eléctrica

Gestión del contrato

Una función como ésta necesita una visión global de la instalación.

En muchos casos (pequeñas y medianas instalaciones) el cuadro BT es el punto central de la instalación. Entonces, esta función (la gestión del contrato) la trata la central de este cuadro BT, con un conjunto de parámetros manipulados local o remotamente (desde un centro de supervisión). Si la planta es importante (con red MT), los cuadros reciben las órdenes de funcionamiento desde un sistema de nivel superior.

Gestión de tiempo de las derivaciones de salida

Tradicionalmente, en los sistemas de gestión centralizados, esta función la desarrolla el supervisor que gestiona a la vez los períodos de funcionamiento de las salidas y las órdenes de conexión de los aparatos.

El ajuste de estos tiempos se ha de hacer desde la central de supervisión, porque el usuario realizará sus ajustes de parametrage después de esa central superior.

Por el contrario, en una GTE (Gestión Técnica de la distribución Eléctrica), la ejecución de estas órdenes se efectúa a nivel de la central del cuadro aunque incluso podría hacerse a nivel de cada aparato o dispositivo. Para ello es suficiente recibir el conjunto de órdenes de actuación y tener un reloj interno sincronizado periódicamente con el supervisor.

La **figura 8** ilustra los flujos de información de una solución tradicional centralizada y una solución descentralizada. Se puede apreciar en ella que cuanto más descentralizado está el proceso de la información, menores son los

flujos de información permanentes; por el contrario se necesitan nuevos intercambios de información, mucho menores, para poner periódicamente al día los diversos relojes internos y transmitir un nuevo programa de órdenes de funcionamiento.

Gestión de las fuentes

Esta función actúa sobre los interruptores automáticos de entrada, integrados en el cuadro en función de informaciones elaboradas en el cuadro o cerca de él. Es pues lógico que los procesos de información asociada a esta función se ejecuten en el cuadro eléctrico. Hay que destacar que, en los sistemas de relés, las regletas con los relés están instaladas en el cuadro y los esquemas los ha hecho un cuadrista. Ésta ha sido precisamente la ventaja de una nueva tecnología, que no todos los cuadristas dominan, que ha trasladado todo este tratamiento de información sobre un autómata centralizado.

Si el esquema de las entradas es simple, por ejemplo el clásico normal/emergencia, esta función está totalmente descentralizada y la realiza un equipo estándar autónomo; cuando el esquema de entradas es más complejo o se necesita una conmutación programada de salidas, la unidad de control se instalará en un cuadro u otro:

- si la fuente de emergencia alimenta sólo el CGBT, será la central de cuadro BT la que gestionará de forma autónoma la conmutación de fuentes (**figura 9**),

- por el contrario, si la fuente de emergencia alimenta las barras MT y/o hay varios CGBT, la unidad de control de la conmutación se repartirá entre control del cuadro MT y las unidades de control de los diversos cuadros BT.

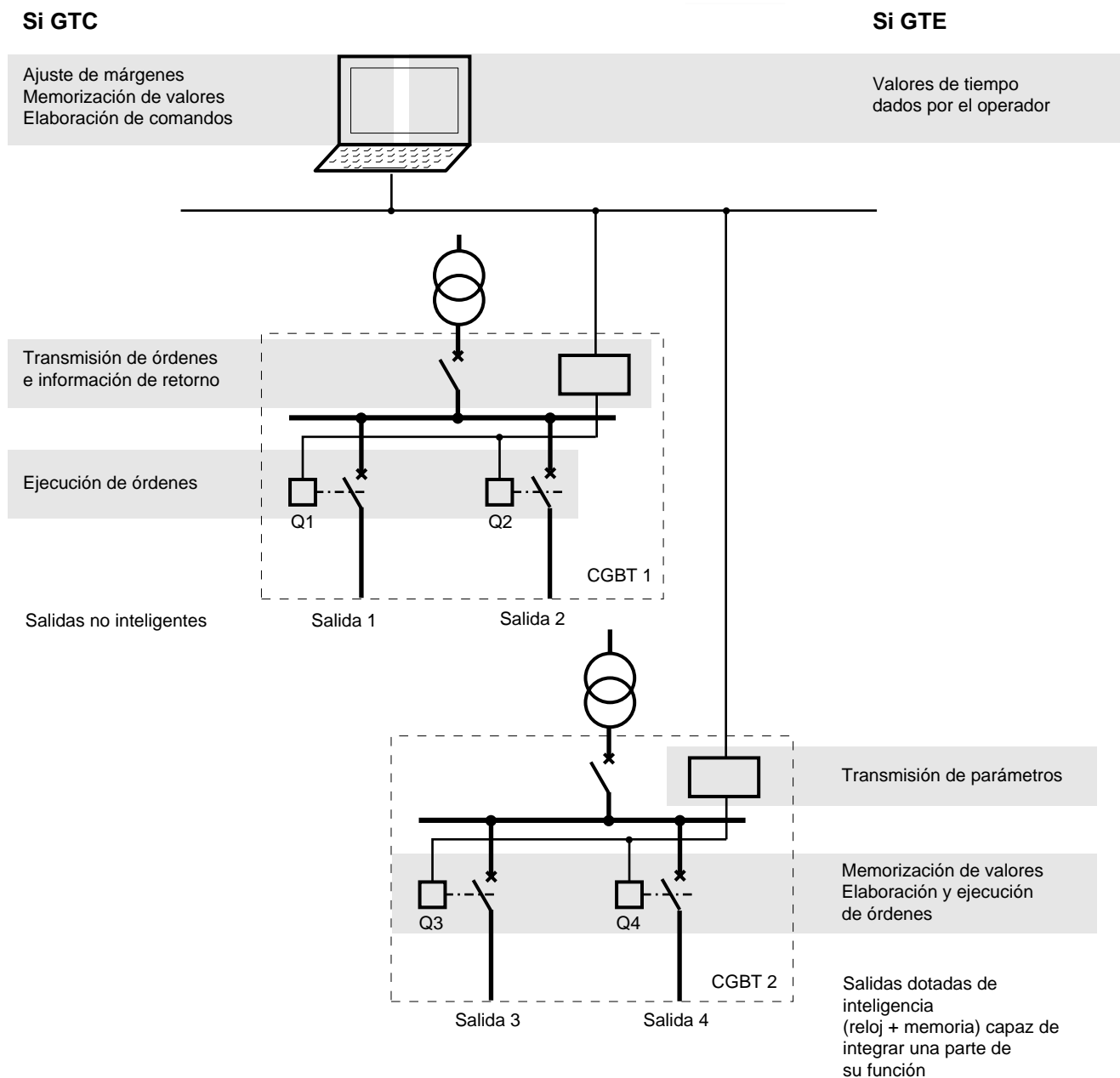


Fig. 8: Gestión temporal de las salidas, según que esta gestión esté centralizada (GTC) o descentralizada y distribuida (GTE).

Regulación de la energía reactiva

La regulación del factor de potencia mediante el control de grupos de condensadores es un automatismo independiente implantado en un aparato llamado regulador de potencia reactiva. Este regulador funciona de forma autónoma en más del 90% de las instalaciones. Un regulador de energía reactiva «comunicante» puede integrarse ventajosamente en un sistema de GTE, pudiendo realizar además otras funciones complementarias:

- introducción de los parámetros de funcionamiento desde una central de supervisión,
- la explotación de alarmas de mal funcionamiento tratadas por la central del cuadro,
- la explotación de las informaciones de mantenimiento en el cuadro del mantenimiento global del cuadro,

■ la coordinación de la función de regulación de la potencia reactiva con otras funciones del cuadro: por ejemplo, en el caso de funcionamiento con GE, es necesario desconectar los condensadores. Esto se puede hacer abriendo el interruptor automático que alimenta los bancos de condensadores o transmitiendo una orden de parada al regulador cuando éste se conecta mediante un bus a la central del cuadro que administra o vigila la conmutación de fuentes.

Desconexión al sobrepasar un límite

En ciertas situaciones (baja tensión debida a un incidente en la red, fallo o caída de una fuente, sobrepasar la potencia disponible en la fuente que alimenta el cuadro...) puede ser necesario desconectar rápidamente un grupo de salidas no preferentes (para evitar problemas de estabilidad dinámica, por ejemplo).

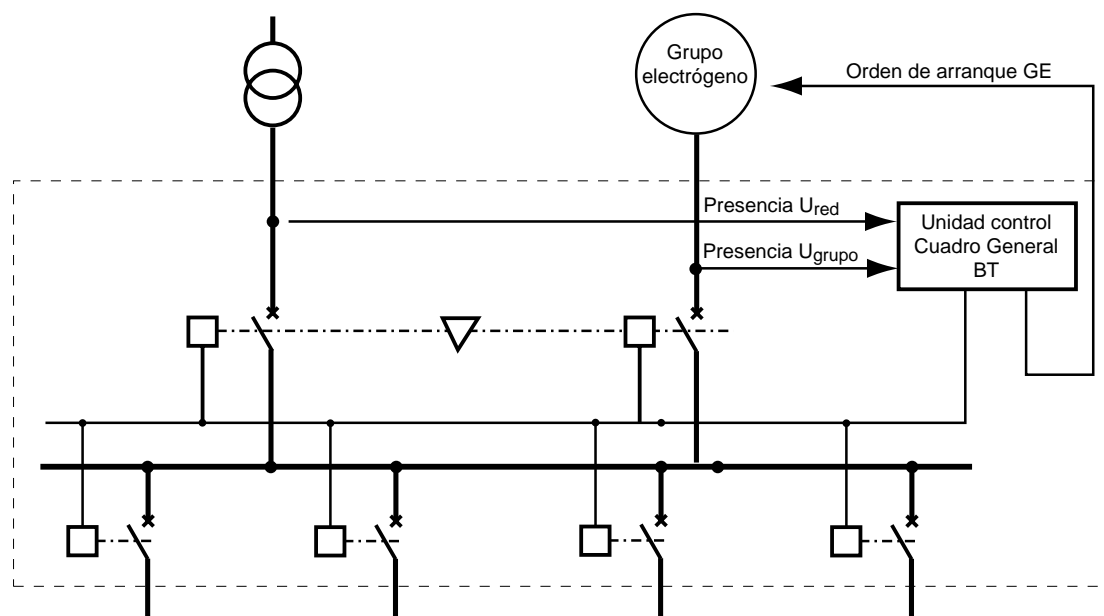


Fig. 9: Ejemplo de gestión de las fuentes. En esta solución, la central gestiona las salidas: restablecimiento progresivo de las salidas prioritarias en funcionamiento en GE. La definición de las salidas como prioritaria y no prioritaria es programable. No es necesario separar el juego de barras en dos partes ahorrándose así la apareamiento de acoplamiento y conmutación. Finalmente, esta solución permite tratar con comodidad los esquemas con varias entradas.

La **figura 10** muestra el proceso descentralizado de desconexión de salidas no preferentes, a causa de una sobrecarga en la potencia distribuida por el CGBT. Se puede ver cómo el flujo de informaciones es reducido: la central recibe información, envía una orden al bus y los interruptores automáticos afectados la ejecutan.

Gestión de una salida o de una entrada

La gestión de una salida (o de una entrada) puede necesitar todas o algunas de las siguientes funciones:

- mando y monitorización (mando del aparato e información sobre su estado),
- medida (intensidad, potencia, energía, ...)
- interface con el operador, local o remoto,
- comunicación con la central de cuadro.

La distribución de las funciones en diversos módulos (**figura 11**) es una solución que permite resolver las siguientes exigencias:

- no todas las salidas necesitan del conjunto de las funciones antes citadas,
- la interface de usuario puede ser remota,
- la interface se ha de poder adaptar al usuario (lenguaje, nivel de competencia...).

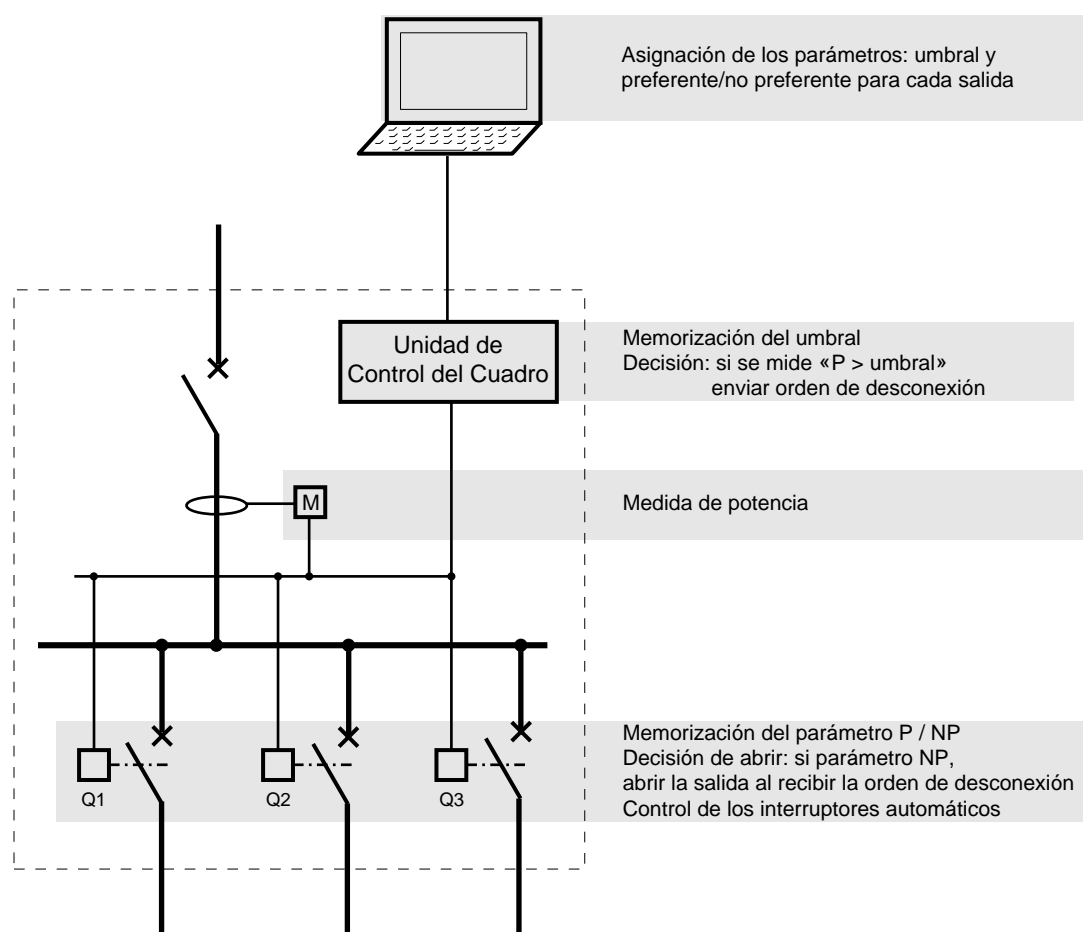
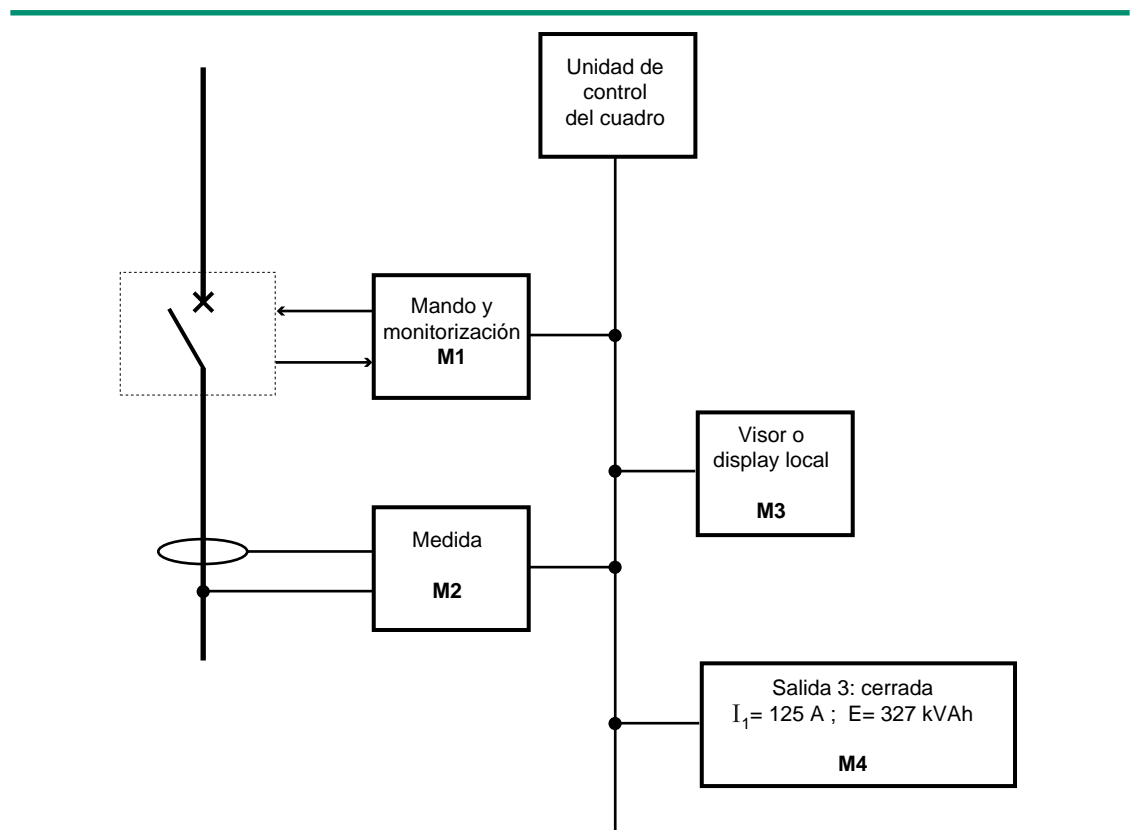


Fig. 10: Ejemplo de tratamiento descentralizado de la orden de desconexión de potencia.



El módulo M1 soporta el control del aparato y la lectura de sus estados.

El módulo M2 mide las corrientes y las tensiones y elabora las informaciones de potencia y de energía.

El módulo M3 visualiza a nivel local en la parte anterior del cuadro los estados y medidas de la salida y además puede controlarlas.

El módulo M4, idéntico al módulo M3, es un visor remoto, fuera del local eléctrico. El modo de visualización puede ser diferente del de M3.

Fig. 11: Ejemplo de distribución del tratamiento de la información aplicado a la gestión de una salida.

3.3 Arquitectura descentralizada y proceso distribuidos (ventajas)

Control de la complejidad

Normalmente, un problema complejo puede descomponerse en una suma de problemas elementales simples. Así, el control de una instalación eléctrica puede resultar complicado por la importancia y número de funciones que se han de tratar. Descentralizando una parte importante de las funciones, la mayoría de los procesos se pueden confiar a unidades más pequeñas: de esta manera se pueden controlar y estandarizar mejor. La noción de Conjunto de Serie, ya utilizada en el apartado dedicado a la potencia de los cuadros eléctricos, se aplica a partir de ahora a las funciones de la GTE. Además, la unidad de nivel superior se queda notablemente aligerada y se puede dedicar a los procesos que realmente le corresponden.

Exigencias técnico-económicas

Como ya hemos visto en el capítulo anterior, la multiplicación del flujo de informaciones lleva a desarrollar arquitecturas jerárquicas. Del mismo modo que en una instalación muy extensa se jerarquiza la distribución de la energía (CGBT, cuadros secundarios, cajas terminales...), la jerarquización del proceso de datos e informaciones es la mejor solución:

- las exigencias (tiempo de respuesta, entorno, rendimiento) no son las mismas en el interior de un cuadro que en el conjunto de la instalación,
- todas las informaciones útiles para una función no son necesariamente útiles a nivel superior; asimismo, todas las informaciones disponibles localmente no interesan necesariamente al usuario:

Información	Utilización	
	Mantenimiento local	Centro de supervisión
Posición del aparato	X	X
Salida con defecto	X	X
Medida de la energía		X
Salidas no disponibles (síntesis)		X
□ aparato desenchufado/bloqueado	X	
□ aparato no alimentado	X	
Ajuste del relé	X	
Conmutación en carga	X	X

Fig. 12: Ejemplo de selección de las informaciones disponibles según su destino.

- ciertas informaciones se usan para mantenimiento,
- otras informaciones se sintetizan para evitar ahogar al usuario con una avalancha de informaciones (**figura 12**),
- el coste de programación se reduce usando «códigos» o rutinas estandarizados para la mayoría de funciones.

Continuidad de servicio

En un sistema centralizado, una avería lleva a un corte del servicio en el conjunto de la instalación. Al contrario, en un sistema descentralizado, la misma avería queda reducida a un subsistema en concreto y permite que el resto de la instalación continúe operativa, con un funcionamiento temporalmente degradado. Por ejemplo, en caso de una intervención para mantenimiento de la central del cuadro, gracias a la descentralización, las funciones locales internas del cuadro siguen operativas.

Mantenibilidad

Puesto que un sistema descentralizado cuenta con un gran número de unidades de proceso de información, su tasa de fallos no son acumulativas.

El número limitado de puntos de conexión minimiza las averías.

La tasa de cobertura de averías se acerca al 100%, gracias a las posibilidades de autotests de los equipos digitales y de los buses de datos.

Implementación flexible

■ Poner en marcha una nueva instalación se alarga frecuentemente durante períodos de tiempos importantes. No es extraño que por razones de presupuesto, la estación de supervisión remota esté lista un año o dos después de que se haya instalado el cuadro. Una instalación descentralizada, con numerosos puntos de tratamiento de información en cada cuadro permite a éstos cuadros funcionar de forma autónoma durante toda la fase provisional.

■ En el supuesto de renovación de instalaciones existentes, la fase de reinstalación y adaptación se puede planificar igualmente en varios años. La descentralización simplifica la recolocación de un cuadro: el nuevo cuadro puede probarse en fábrica y una sola conexión en serie basta para conectarlo al sistema de control.

3.4 Conclusiones sobre la descentralización de las unidades de proceso en un cuadro BT

Los ejemplos tratados en este tercer capítulo indican que las funciones gestionadas en el ámbito del CGBT inteligente pueden ser más o menos distribuidas entre las diversas unidades de tratamiento de información:

- Algunas funciones las asume la central del cuadro cuando:
- el proceso de datos es complejo y no se puede llevar a cabo en un módulo autónomo

estándar (ejemplo: gestión de fuentes en el caso de las entradas múltiples),

□ las funciones pueden requerir tratamientos comunes a otras funciones; por ejemplo, una conmutación de fuente puede deberse a la caída de la red normal pero también por una orden dada por control de tarifas (el reloj de cambio de tarifa, por ejemplo),

□ las funciones han de estar coordinadas con otros equipos, por ejemplo cuando se hace en MT la conmutación de fuentes alternativas.

■ Algunas funciones autónomas las pueden realizar equipos dedicados y optimizados para esta función (es el caso del regulador de energía reactiva o del inversor de fuentes).

Cuando estos equipos autónomos están integrados en un cuadro inteligente, pueden conectarse mediante un bus al centro del control del cuadro; esto aporta funciones complementarias como:

□ aplicación de parámetros a estos equipos mediante utilidades o herramientas más

cómodas, comunes al conjunto de las funciones tratadas en el cuadro,

□ gestión mínima durante los modos de funcionamiento degradados,

□ se tienen en cuenta en las funciones de mantenimiento predictivo y correctivo.

Las diversas funciones citadas en este documento se ubican en el esquema de la **figura 13**:

■ La central de cuadro se encarga de:

□ tratar las funciones globales a nivel del cuadro e interdependientes,

□ coordinar las funciones gestionadas por los módulos aguas abajo,

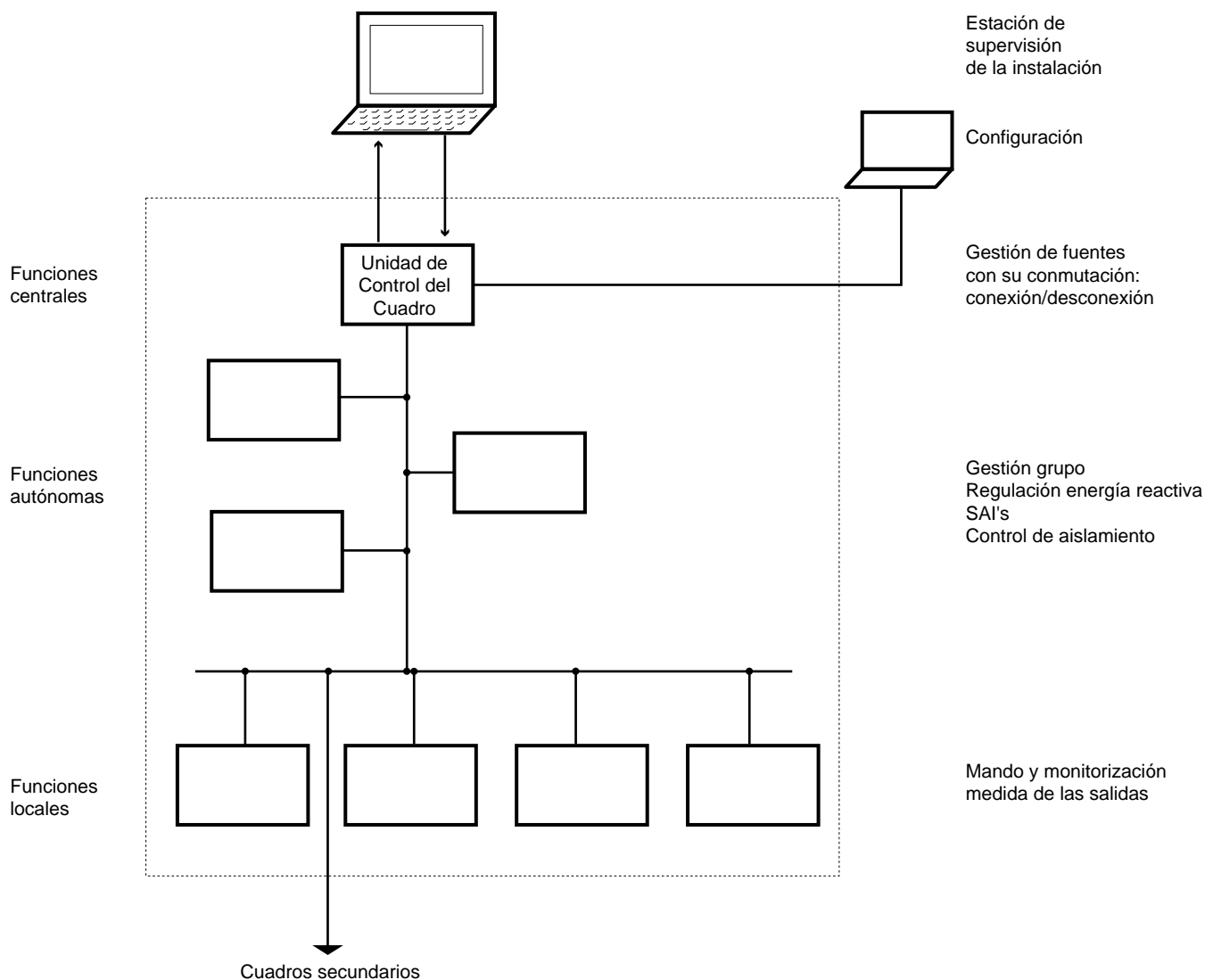


Fig. 13: Distribución de las funciones en la arquitectura de un cuadro.

□ abrirse e integrarse en un sistema de control aguas arriba,

□ dialogar con un terminal destinado al electricista que se ocupe de las operaciones de instalación y de mantenimiento. Este terminal se conecta localmente en el cuadro durante las intervenciones, sin sustituir de ninguna manera la estación de supervisión centralizada a partir de la cual el usuario gestiona su instalación.

■ Algunos módulos se encargan de tratar las funciones autónomas (regulación de la potencia reactiva, control del aislamiento...).

■ Otros módulos se encargan de gestionar una salida o una entrada.

Esta modularidad permite:

□ integrar el mando y monitorización en la noción de «unidad funcional estandarizada y probada»,

□ estandarizar el sistema de conexiones entre el módulo y la apareamiento, reduciendo así los riesgos de averías debidas a las conexiones,

□ intervenir en una salida sin perjudicar a otros elementos del cuadro en caso de avería o modificación de la instalación.

La conexión entre estos módulos y la unidad de control del cuadro se hace mediante bus digital. Recordemos que el uso de buses ofrece numerosas ventajas:

■ reducción masiva del número de hilos que van hasta el cuadro y por tanto de los costes de cableado y del volumen a él reservado,

■ reducción de los riesgos de averías latentes relacionadas con defectos de conexión debidos a fallos del mismo fabricante de cuadros,

■ reducción del tiempo de estudio del cableado por parte del cuadrista,

■ mayor capacidad de evolución de la instalación, por ejemplo, aumento de salidas o de funciones en una instalación existente.

El siguiente capítulo describe los tipos de buses más adecuados al proceso eléctrico.

3.5 Un bus para cuadro adaptado a las aplicaciones eléctricas

Para seleccionar una red de terreno adaptada, es esencial conocer bien las exigencias del proceso eléctrico, como pueden ser: el flujo de informaciones, el tiempo de respuesta, el entorno...

Características del proceso eléctrico

■ Un proceso naturalmente estable y continuo

Una instalación eléctrica tiene la misión de distribuir la energía a cada uno de los consumidores. El objetivo de un CGBT es el de mantener permanentemente las salidas en posición conectado. La apertura de un aparato puede estar relacionada con los siguientes casos:

□ actuación de una protección a causa de un fallo eléctrico,

□ demanda de desconexión de un circuito de un usuario (para mantenimiento, para cortar la iluminación de una zona al final del día, etc...),

□ actuación de un automatismo de desconexión de salidas no preferentes, por ejemplo, a causa de un fallo de la fuente normal.

El cambio de estado de un aparato tiene un carácter excepcional; sus situación natural es la de estar permanentemente en un estado estable. Nótese que los interruptores automáticos son biestables por naturaleza...

■ Situaciones, causas de avalanchas de información.

Por el contrario, algunas situaciones pueden producir una avalancha de informaciones en un espacio muy breve de tiempo. Por ejemplo, al caer una fuente que alimenta al cuadro, los aparatos monoestables, como son los contactores, se van a abrir todos simultáneamente y los automatismos normal/emergencia y de conmutación de fuentes van a actuar sobre los interruptores automáticos.

■ Exigencias en tiempo real limitadas

En una instalación eléctrica, el tiempo de respuesta del sistema a una demanda depende de su naturaleza:

□ bajo una orden del operador desde una cabina de supervisión, el sistema ha de responder en un intervalo «acceptable» para el usuario, unos dos segundos entre que el operador valida la orden con un «click» y el cambio de estado del aparato visualizado en la pantalla,

□ para los automatismos de conmutación de fuentes, no hay ninguna exigencia especial del tiempo de respuesta en relación con el proceso eléctrico; el objetivo es reducir al mínimo el tiempo de corte a los consumidores. Tiempos de respuesta de algunas centenas de milisegundos son aceptablemente admisibles,

□ funcionando con grupo electrógeno, si se sobrepasa la potencia nominal del grupo, es necesario restringir las salidas no preferentes.

El fabricante del grupo, en función de los diversos valores de sobrecarga, determina el tiempo de sobrecarga permitido.

En las instalaciones complejas en las que la producción local está conectada a la alimentación a través de un distribuidor, si esta alimentación falla, se han de desconectar en una fracción de segundo ciertas salidas antes de que las protecciones del alternador puedan actuar.

■ Los flujos de información dimensionados en función de las medidas

Las medidas eléctricas pueden llevar un flujo permanente de informaciones al bus del cuadro: tensiones, corrientes, potencias y energías son los datos más frecuentes.

El dimensionamiento del bus dependerá de la cantidad de informaciones que transmita, pero sobre todo, de la frecuencia de transmisión de estas informaciones:

□ un valor de corriente o de potencia puede servir al usuario para seguir en «tiempo real» la red eléctrica; puede necesitarse una periodicidad de algunos segundos,

□ un valor de energía se calcula para un mínimo de varios minutos; la frecuencia de transmisión de esta medida es por tanto menor.

■ Una instalación que depende de las exigencias del cuadro eléctrico

La instalación de un bus en el interior de un cuadro eléctrico ha de tener en cuenta los siguientes puntos:

□ la red ha de ser insensible a las perturbaciones electromagnéticas importantes que existen en un cuadro BT,

□ ha de ser fácil de instalar mientras se construye el cuadro pero también cuando se modifica éste,

□ finalmente, el cuadro BT se caracteriza por una gran número de puntos de conexión; el coste del punto de conexión es pues un elemento determinante en la elección de la red.

Los protocolos de tipo maestro/esclavo no adaptados

En las soluciones descritas en el capítulo 2, hay normalmente protocolos de tipo maestro/esclavo, ModBus por ejemplo (para más información véase el Cuaderno Técnico nº 147).

Para un cuadro totalmente automatizado, es decir, que sólo gestiona las órdenes e informa de su estado, un protocolo maestro/esclavo permite satisfacer las actuaciones que se le piden. Así, por ejemplo, en un cuadro con 50 salidas y entradas, el rastreo y análisis del estado del conjunto de las salidas y llegadas, a razón de 20 ms por unidad analizada, se puede hacer en más o menos 1 segundo.

Cuando ocurre algo (orden del supervisor o actuación de un automatismo en la central del cuadro), el análisis de los estados se puede interrumpir para enviar las órdenes necesarias.

Por el contrario, si las funciones necesitan la transmisión de medidas, al aumentar el tiempo de ciclo de análisis, este tipo de protocolo se convierte enseguida en inadecuado.

Además, al cambiar de estado un aparato por el disparo de una protección, la central no se enterará hasta el próximo análisis.

Finalmente, este tipo de protocolos es inadecuado para los tratamientos repartidos ya que la central sólo puede actuar como centro de control si todas las informaciones pasan por ella.

El uso de los protocolos CSMA

A diferencia de los protocolos que utilizan el método de acceso maestro/esclavo, los protocolos CSMA (Carrier Sense Medium Access) permiten a las estaciones conectadas a la red emitir libremente sólo en caso de necesidad.

■ Exigencias del CSMA

El acceso aleatorio al bus crea tres exigencias que no existen con un funcionamiento de tipo maestro/esclavo, por naturaleza centralizado. Estas exigencias son fáciles de resolver.

□ El riesgo de colisión: varias estaciones conectadas pueden hablar simultáneamente; los protocolos se establecen para evitar la colisión entre los diversos mensajes.

Hay dos casos:

El CSMA-CD (Collision Detection). En este caso, las estaciones detectan la interferencia en la red entre los dos mensajes y deciden parar su emisión; cada una de ellas intentará más tarde enviar el suyo. Esta solución la utiliza Ethernet.

El CSMA-CA (Collision Analysis). En este caso, un dispositivo hace que la estación que emite la trama menos preferente se retire, dejando que la trama prioritaria siga su emisión. La gestión de las prioridades se hace mediante la codificación de la trama transmitida. Esta solución la utiliza BatiBus (figura 14).

□ El tiempo de respuesta no determinista: según la carga del bus, la demora de transmisión de una trama no es constante. Por eso no es posible garantizar un tiempo máximo de transmisión con este tipo de acceso al medio. De todas maneras, algunos dispositivos y reglas de diseño permiten obtener los tiempos de transmisión máximos con una tasa de fiabilidad cercana al 100%. En BatiBus, las demandas son tramas prioritarias, cosa que permite resolver el problema.

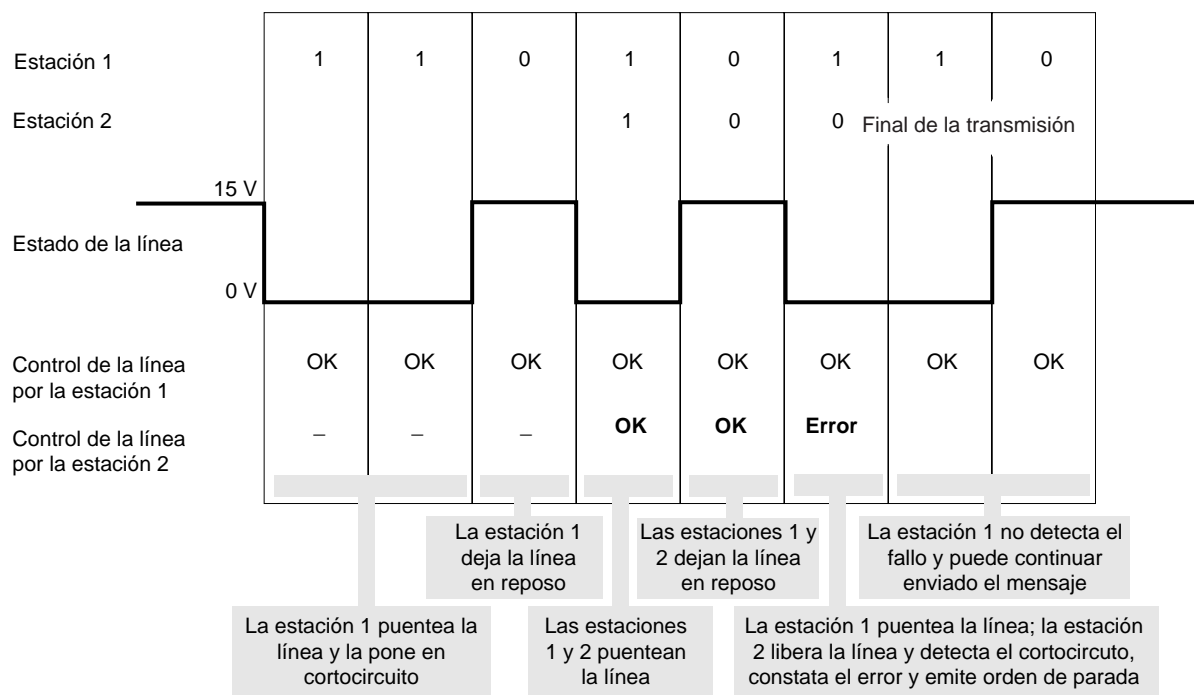


Fig. 14: Ejemplo de un análisis de colisión con BatiBus.

□ Detección de estaciones con avería

En un sistema que utiliza un acceso con el sistema maestro/esclavo, la avería de un esclavo se detecta en el momento en el que el maestro analiza el estado de éstos.

En un protocolo en el que solamente se emiten las tramas útiles no se detectará un módulo averiado. Queda a cargo de cada aplicación prever los dispositivos de vigilancia que permitan asegurar de forma periódica el estado de funcionamiento correcto de cada módulo.

■ Las ventajas de un bus CSMA para una instalación eléctrica

En los párrafos anteriores, se ha demostrado que es posible liberarse de las restricciones propias del bus CSMA.

Las principales ventajas que se obtienen de este tipo de funcionamiento son las siguientes:

□ Optimización de los intercambios: un protocolo de tipo CSMA permite optimizar los intercambios, ya que el bus no está ocupado permanentemente en el análisis de estados. Así, para un proceso estable, como lo es normalmente una instalación eléctrica, con la misma velocidad de transmisión que con un protocolo maestro/esclavo, la cantidad de informaciones útiles es mucho mayor y los tiempos de respuesta pueden ser menores.

□ Reducción de costes: cuanto mayor es la velocidad de transmisión, mayores son las exigencias de instalación para protegerse de las perturbaciones electromagnéticas, y los costes resultan importantes. Puesto que un protocolo de tipo CSMA permite escoger una velocidad más baja, los costes relacionados con la transmisión se reducen.

□ Descentralización del proceso de datos: este tipo de acceso permite tratar perfectamente los tratamientos de información descentralizados y/o distribuidos.

El ejemplo de la **figura 15** (descentralización) muestra la simplificación de los intercambios de información (mensajes a las salidas no-preferentes: apertura) en relación con un dispositivo centralizado maestro/esclavo. En caso de proceso «distribuido», es el módulo de medida el que da directamente la orden de desconexión a los no-preferentes; de la misma manera, en caso de avería de la central del cuadro, la desconexión continua operativa!

Utilización de FIP para las aplicaciones MCC

Algunas aplicaciones del mundo industrial tienen exigencias muy severas de continuidad de servicio y de prestaciones que se traducen, por ejemplo, por un tiempo de respuesta garantizado (determinista) para una orden que

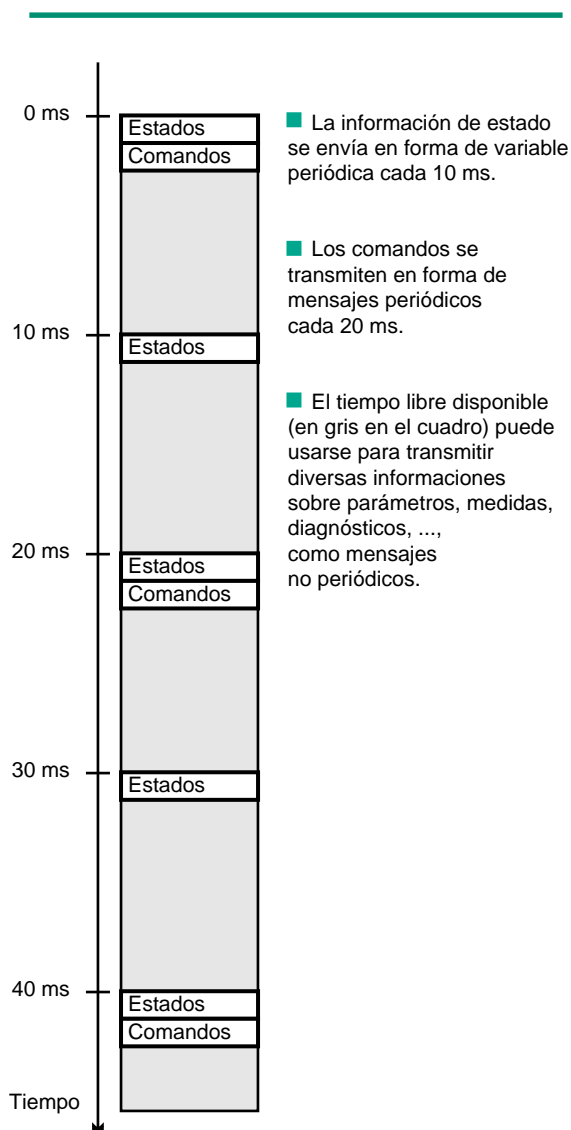


Fig. 15: Diagrama de tiempos de un CCM con FIP.

procede de un automatismo que controla una línea de proceso determinada. Este es el caso de algunos cuadros CCM (Motor Control Centers). En ellos, a diferencia de los CGBT, las órdenes de apertura y cierre de un aparato ya no tienen un carácter excepcional.

En este caso, las prestaciones de una red maestro/esclavo no son suficientes (a menos que se utilicen velocidades de transmisión muy elevadas, que generan sobrecostos importantes) y una red con acceso aleatorio al medio de transmisión es inadecuado.

Precisamente para este tipo de usuarios los industriales y constructores han diseñado la red FIP. Sin detallar aquí su funcionamiento, podemos indicar que tienen la particularidad de tener a la vez las ventajas del maestro/esclavo y del acceso aleatorio:

- el acceso al medio de transmisión lo controla un gestor del bus (localizado en la central de cuadro para el caso de un cuadro BT),
- los datos (órdenes y estados, por ejemplo) pueden ser enviados periódicamente al bus,
- las estaciones pueden pedir al gestor del bus el derecho a emitir las informaciones en caso de necesidad (cambio significativo del valor de una medida...),
- los datos generados por una estación los pueden utilizar otras estaciones, una o varias (en el caso de proceso distribuido),
- finalmente, el protocolo integra diversos dispositivos que permiten garantizar un nivel de seguridad de transmisión muy alto.

Por todo esto se tiene a la vez las ventajas de:

- el maestro/esclavo (tiempo de respuesta determinista y garantizado),
- el acceso aleatorio (transmisión de informaciones útiles o a continuación de un incidente) con las prestaciones elevadas y garantía de cumplir con exigencias de seguridad de funcionamiento muy severas.

4 Ejemplos de instalación

4.1 Centro informático

Las necesidades del usuario

En un centro informático que permanece operativo las 24 horas del día, la primera preocupación del responsable del sistema eléctrico es asegurar una disponibilidad permanente de energía, con una gran capacidad de reacción para el mantenimiento.

Complementando estas necesidades de base, el cliente desea disminuir su factura de energía mediante:

- una acción sobre el $\cos \phi$,

- la suscripción de un contrato ventajoso con la compañía suministradora de energía (doble o triple tarifa,...).

Estas dos opciones, gracias al ahorro en la factura, permiten rentabilizar la instalación en menos de tres años.

La solución aplicada

- Instalación eléctrica

La instalación eléctrica se alimenta a través de un bucle MT de 20 kV, que alimenta a un transformador de 1000 kVA, que a su vez alimenta a un CGBT (figura 16). El CGBT es

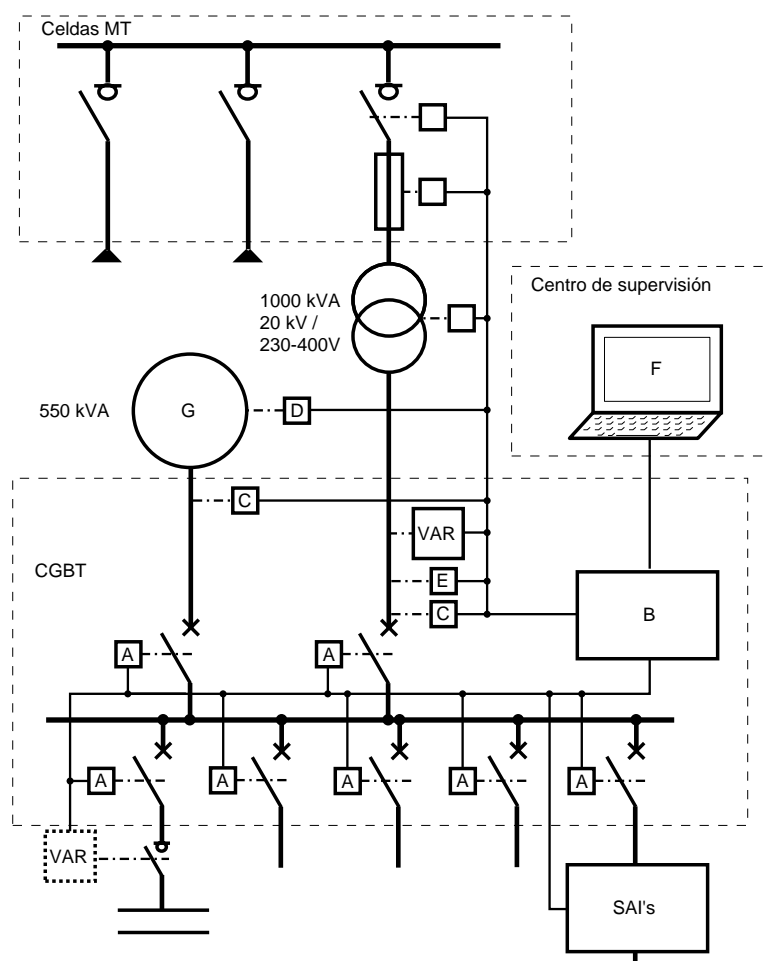


Fig. 16: Solución aplicada a un centro informático.

un cuadro con módulos desenchufables. Alimenta 23 salidas, dos de las cuales están en reserva. Las salidas de gran potencia están equipadas con telecontrol.

Los ordenadores se alimentan con SAI's (UPS's) con redundancia.

Un grupo electrógeno de 550 kVA es capaz de soportar, en estado de emergencia, el conjunto de los equipos eléctricos del Centro.

■ **Funciones a realizar**

□ **Conmutación de la fuente:** en caso de corte de red aguas abajo del transformador MT/BT o señal del maxímetro, la fuente de reserva alimenta automáticamente al cuadro. El armario de control del grupo recibe las órdenes de paro y marcha procedentes del CGBT y asegura el funcionamiento automático autónomo del grupo.

En el momento de la conmutación a grupo, las salidas de gran potencia se desconectan para minimizar el impacto de la carga en el momento de la conmutación, reconectándose después una a una con una temporización individual regulable.

Al volver la tensión a la red, el cuadro vuelve automáticamente sobre la fuente normal y ordena la parada del grupo.

□ **Gestión del contrato:** el CGBT se programa para optimizar el contrato (en potencia, consumo, horario, etc...) con el distribuidor, según las diversas modalidades posibles en los diversos países. Según este programa de actuación, la conmutación de fuentes, la conexión o desconexión de consumidores no preferentes, etc. se hará siempre automática y autónomamente.

□ **Regulación de la potencia reactiva:** una batería de compensación de la energía reactiva de 100 kVAr está pilotada por un regulador de la potencia reactiva.

□ **Supervisión a distancia:** en caso de incidente en la instalación eléctrica, se activa inmediatamente una alarma en la consola de supervisión, transmitiéndole las alarmas temporales del CGBT.

■ **El sistema de mando y monitorización**

□ **Cada entrada y salida del CGBT es controlada mediante un módulo (representado con A en el esquema) que:**

- obtiene el estado de la salida (abierto, cerrado, disparado, desenchufado...),
- indica localmente este estado,
- si son salidas o entradas con telemando, ordena su apertura, cierre o rearme. Estas órdenes se pueden dar localmente o a través del bus del cuadro,
- dialoga con la unidad de control del cuadro a través del bus de comunicaciones digital.

□ **Una unidad de control de cuadro (representada como B en el esquema) situada en el CGBT se encarga de:**

- asegurar el mando y supervisión de las entradas y salidas a través de los módulos representados como A en el esquema,
- adquirir directamente los datos siguientes: presencia de tensión de red o de grupo (a través de los relés representados con C en el esquema), pasar al modo de ahorro de energía (relés representados con E en el esquema),
- transmitir una orden de arranque al armario que controla el GE (representado con D en el esquema),
- gestionar la conmutación de fuentes debida a la falta de tensión de red o un cambio de tarifas,
- generar y transmitir alarmas a la consola de supervisión (representada con F en el esquema) que las visualiza de forma adaptada.

4.2 Hospital

Las necesidades del cliente

En un hospital, la continuidad del servicio de energía eléctrica es primordial. Vamos a examinar el caso de un centro hospitalario de tamaño mediano.

Para gestionar lo mejor posible la distribución eléctrica y satisfacer las necesidades del usuario:

■ Las salidas están clasificadas en tres categorías: seguras, prioritarias y sin corte; cada entrada o salida se supervisa y puede ser controlada a distancia desde el supervisor,

■ el conjunto de la instalación está supervisado a distancia.

La solución aplicada

■ **Instalación eléctrica**

□ La instalación eléctrica se alimenta mediante un bucle MT de 20 kV, que alimenta a tres transformadores de 1000 kVA, que alimentan a un mismo CGBT de distribución,

□ Hay dos grupos electrógenos de 400 kVA con capacidad para soportar, como alimentación de emergencia, algunas instalaciones del Centro,

□ hay también dos onduladores (SAI's) que alimentan las salidas de alta calidad (HQ) y prioritarias,

□ Las salidas están reagrupadas en tres CGBT. El esquema de la **figura 17** ilustra la alimentación de cada derivación del CGBT1.

■ Organización de la GTE

□ Un centro de control (supervisor) permite la vigilancia, mando y control del usuario,

□ El cuadro de distribución «CGBT D»:

- permite el mando y supervisión de los interruptores automáticos de entrada y de salida,
- controla el buen funcionamiento de los relés varimétricos (compensación de la energía reactiva) e inhibe esta compensación cuando hay corte de red (funcionamiento con grupo),
- dialoga con las unidades de control de los SAI,

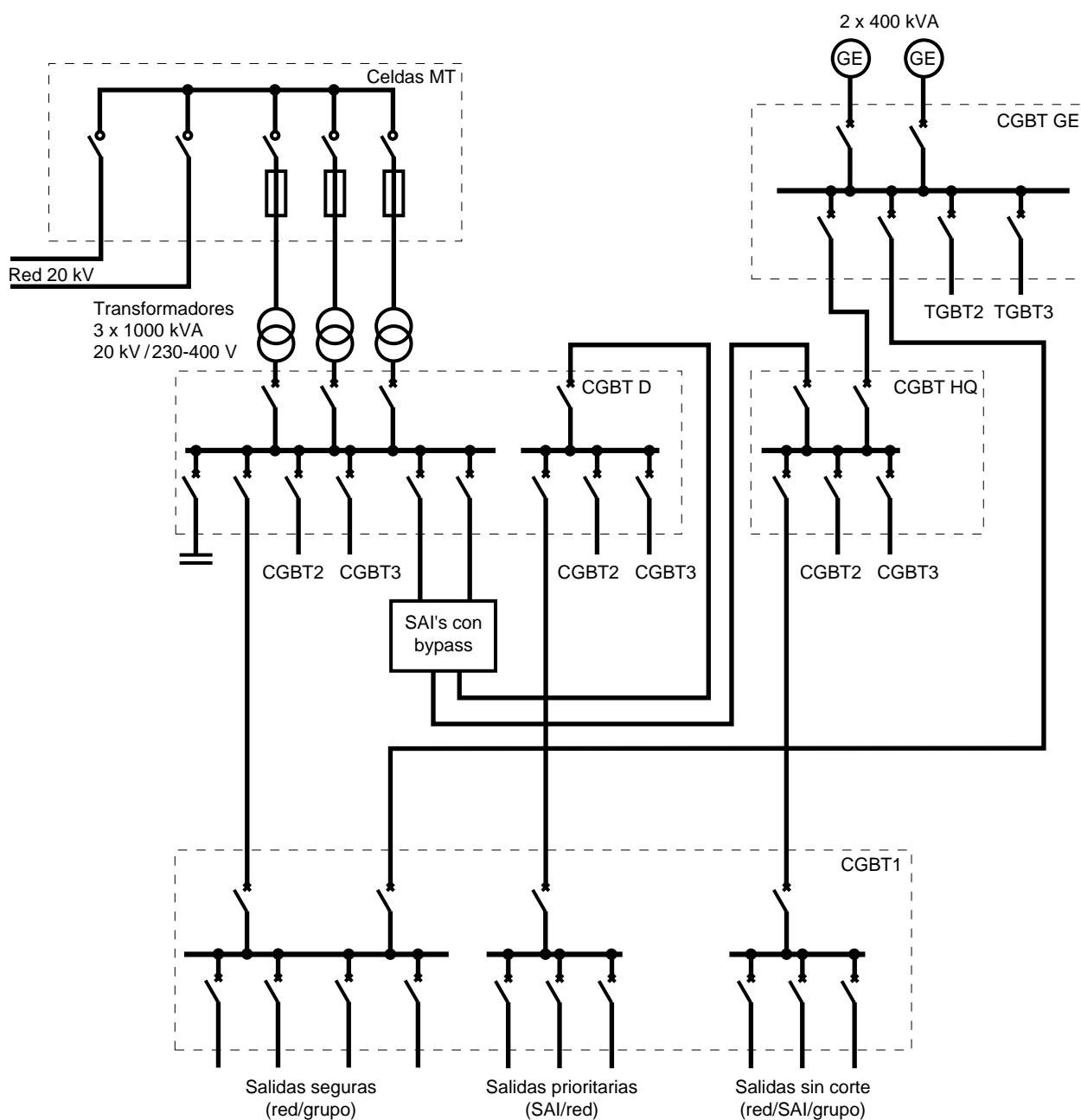


Fig. 17: Solución aplicada a un hospital.

- proporciona la información sobre los transformadores en servicio.

□ El cuadro «CGBT-GE»:

- efectúa el mando y supervisión de los interruptores automáticos,
- dialoga con los armarios de control de los grupos: control y transmisión de las órdenes de marcha y paro,
- dialoga con los cuadros 1, 2, 3 y HQ, que dan una orden de arranque de los GE y reciben una señal de la potencia máxima disponible en función del número de GE en servicio y de los TGBT alimentados (durante las operaciones de mantenimiento, por ejemplo, pueden no estar todos conectados).

□ Las cuadros de derivaciones «TGBT 1-2-3»:

- controlan y supervisan los interruptores automáticos,
- aseguran la función normal/emergencia de las salidas auxiliares a partir de la información dada por los relés de tensión:
 - desconexión de salidas importantes,
 - emisión de una petición de arranque de GE,
 - cierre del interruptor automático de entrada de GE,
- aseguran la regularización de la carga: las salidas auxiliares se clasifican por prioridades de alimentación: las salidas se desconectan o conectan en función de la potencia producida por los grupos (1 ó 2) o suministrada por la

conexión simultánea de uno o varios transformadores.

- dialogan con el controlador de aislamiento de las salidas «sin corte».

□ El cuadro «CGBT HQ»:

- control y supervisión de los interruptores automáticos,
- asegura la conmutación de las fuentes, después de solicitar el arranque de un grupo, si el SAI tiene algún problema.

En este ejemplo concreto, no se han implementado todas las funciones posibles de la GTE (nunca se instalan todas!):

- La gestión temporal no se utiliza porque un hospital funciona las 24 h del día.

- La gestión del contrato (ahorro de energía) no se ha previsto; sólo se ha puesto en marcha la compensación de la energía reactiva.

- La GTE aplicada tiene por objetivo principal la disponibilidad de la energía eléctrica.

- Cada cuadro está equipado de una inteligencia local, autónoma, que asegura las funciones que se le asignan.

- Por el bus circulan pocas informaciones sobre el funcionamiento (conmutadores en red o en grupo, grupos en marcha, regulación de carga) y ninguna medida de las magnitudes eléctricas si están en relación directa con las medidas del cuadro MT.

La rutina de control de estado se realiza periódicamente.

5 Conclusiones y perspectivas de futuro

Punto neurálgico de la distribución eléctrica, el cuadro inteligente aporta una respuesta adaptada a las necesidades de los administradores y de los usuarios de las instalaciones eléctricas:

- economía en el centro de energía eléctrica,
- seguridad de funcionamiento,
- control a distancia de la instalación (con la posibilidad de aplicar la GTB para el sector terciario y la gestión de proceso para la industria),
- mantenibilidad y evolutividad de la instalación,
- capacidad de evolución progresiva a lo largo de los años hacia la inteligencia.

Instalar un cuadro de gestión integrada, pero con inteligencia descentralizada, distribuida, hoy en día es fácil gracias a la existencia de módulos, equipos y software estandarizados y duraderos. En este sentido, el mando (órdenes) y la monitorización (información) puede tratarse como «producto-serie» desmarcándose completamente de los cuadros de automatismos de los procesos industriales.

La integración de la inteligencia en el cuadro permite:

- simplificar la arquitectura del cuadro y de la instalación en su diseño y evolución (distribución repartida, supresión de los juegos de barras partidos, selectividad, conocimiento de las reservas del cuadro, gestión de las condiciones de utilización dentro de los límites del cuadro: temperatura, sobrecarga...),
- gestionar el cuadro en el tiempo (función de caja negra, dossier de planes diarios...),
- conjugar la coexistencia de la comunicación (pequeñas corrientes o «señal») con la potencia (grandes corrientes o «potencia»).

En el futuro, la comunicación digital y el proceso de la información van a llegar a nivel de la aparamenta, de los captadores y de los accionadores. Esto va a facilitar la distribución de la inteligencia y va a permitir reducir aún más la centralización. Todavía queda mucho por hacer en el campo de los estudios, del cableado, el montaje e instalación, de la explotación, de la seguridad y de la evolución.

Bibliografía

Cuadernos Técnicos Merlin Gerin

- Introducción a la concepción de la seguridad

Cuaderno Técnico nº 144

P. BONNEFOI

- Iniciación a las redes de comunicación numérica

Cuaderno Técnico nº 147

E. KOENIG

- Distribución eléctrica de alta disponibilidad

Cuaderno Técnico nº 148

A. LONCHAMPT - G. GATINE

- Seguridad de funcionamiento y cuadros eléctricos BT

Cuaderno Técnico Nº 156

O. BOUJU

Apuntes del Gimelec

- Les tableaux électriques basse tension
- Les tableaux à gestion intégrée