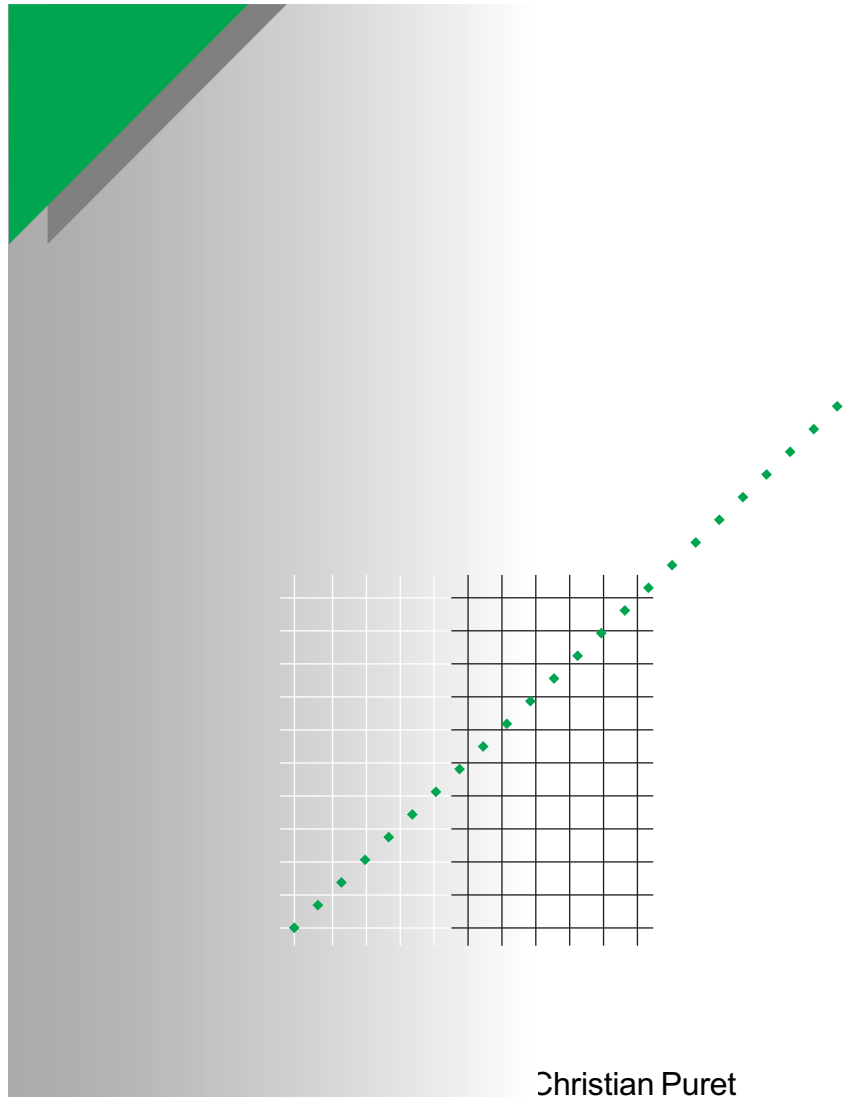


# Cuaderno Técnico nº 155

## Las redes de distribución pública de MT en el mundo



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](mailto:formacion@schneiderelectric.es)

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» del **Grupo Schneider**.

#### **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 155 de Schneider Electric».



# cuaderno técnico nº 155

## Las redes de distribución pública de MT en el mundo

Por: Christian Puret

Trad.: Jaume Fonolleda

Edición francesa: septiembre 1991

Versión española: mayo 1995



Christian Puret

Ingeniero diplomado del E.N.S.E.R.G. y del I.A.E. de París, entra en Merlin Gerin en 1977.

Sus primeros trabajos le especializan en el campo de los autómatas industriales.

Pasa después a ser responsable de la formación de los clientes del Grupo Merlin Gerin.

En 1986, se incorpora a la división MT, donde ocupa actualmente un puesto de delegado de marketing estratégico.

Se responsabiliza del estudio de la evolución de los elementos de protección y de control y mando en los materiales de MT y, en especial, los que van destinados a redes de distribución.

**Merlín Gerin**

**Modicon**

**Square D**

**Telemecanique**

**Schneider**  
 **Electric**

## Terminología

**Configuración:** operación que consiste, en protección, control y mando, en dedicar, por construcción o mediante un software, un material estándar a una aplicación particular.

Esta última operación, cargar un software, se hace a partir de una herramienta: el configurador, generalmente un microordenador PC.

Permite por ejemplo:

- definir las funciones que realizará el material,
- establecer las conexiones con su entorno,
- crear imágenes sinópticas y redactar las alarmas para la explotación.

**Desenchufable** (parte de un conjunto, (CEI 50 capítulo 441; NF C 01-441): parte amovible de un aparato que, al mismo tiempo que permanece mecánicamente ligado al conjunto, puede ser desplazado hasta unas de las posiciones que establecen una distancia de seccionamiento o una separación metálica entre contactos abiertos. Esta distancia de seccionamiento o esta separación metálica concierne siempre al circuito principal. Puede afectar o no a los circuitos auxiliares o de mando.

**Fijo** (aparato fijo), (diccionario CEI de la electricidad): aparato concebido para ser montado en un soporte y destinado a ser conectado a uno o varios circuitos exteriores mediante conductores eléctricos instalados permanentemente.

**Fusible de tipo cut-out:** fusible de MT con percutor, que cumple las funciones de protección y seccionamiento. El seccionamiento se obtiene en el momento de la fusión, por la expulsión del percutor, que provoca la caída automática del cartucho fusible.

**Indicador de localización de defecto:** dispositivo instalado en las redes de MT que señala, localmente o a distancia, el paso de las corrientes de defecto. Para mejorar la calidad de servicio, el usuario intenta limitar la interrupción de alimentación a la única parte defectuosa de la red. Para ello, necesita saber qué porción de red está afectada por el defecto. Con este propósito, el usuario instala indicadores de localización de defecto. El análisis de estas informaciones permite circunscribir la parte defectuosa y reconfigurar la red (aplicación típica de la telegestión).

**Predíctica:** nueva ciencia que tiene como objetivo la previsión de los acontecimientos. Se basa en el razonamiento y la inducción científica.

**Recloser:** interruptor automático de MT equipado con automatismo de reenganches múltiples. Se instala en una salida de MT aérea y se coordina con las protecciones (fusibles) colocadas en esta salida (aguas arriba y aguas abajo). Se utiliza en las redes de tipo norteamericano.

**Seccionalizador:** interruptor de MT equipado con un automatismo de recuento. Se instala aguas abajo de una salida de MT aérea protegida por un recloser. Su automatismo cuenta los pasos de una corriente de defecto (que corresponden al número de reenganches del recloser), y para un número preestablecido, ordena la apertura del interruptor. Por lo tanto, puede realizarse una selectividad mediante la instalación de varios seccionalizadores en serie en una salida de MT, el último seccionalizador (el más distante del recloser) abriéndose en el segundo paso de la corriente de defecto, el seccionalizador anterior abriéndose en el tercer paso y así seguidamente. Este aparato se utiliza en las redes de tipo norteamericano.

# Las redes de distribución pública de MT en el mundo

## Índice

<b>1 Las distintas redes eléctricas</b>	Red de transporte e interconexión	<b>p. 6</b>
	Red de reparto	p. 7
	Red de distribución MT	p. 7
	Red de distribución BT	p. 8
	Naturaleza de la corriente eléctrica	p. 8
	Planificación de las redes	p. 8
<b>2 El distribuidor</b>	Su razón de ser	<b>p. 9</b>
	Su oficio	p. 9
	Su evolución	p. 10
<b>3 Topologías de redes eléctricas MT</b>	Criterios de elección de una topología	<b>p. 12</b>
	Elementos que dependen de la topología elegida	p. 12
	Distintos esquemas de redes de MT	p. 13
	Esquemas de conexión a tierra del neutro	p. 15
<b>4 Distribución pública de MT</b>	Los centros en las redes MT	<b>p. 18</b>
	Otros montajes	p. 19
	La apartamentada de MT	p. 19
	Un esquema francés y otro norteamericano	p. 20
<b>5 Protección, control y mando de las redes de MT</b>	Las tecnologías de las unidades de protección de MT	<b>p. 23</b>
	Compatibilidad electromagnética	p. 23
	Aplicación del control y mando	p. 24
	Arquitectura de control y mando	p. 26
	Las redes de comunicación	p. 27
<b>6 Conclusión</b>		p. 28
<b>Anexo 1: Algunas normas para productos de MT</b>		<b>p. 29</b>
<b>Anexo 2: Las distintas técnicas de selectividad</b>		<b>p. 29</b>
<b>Anexo 3: Arquitectura EDF y materiales Merlin Gerin</b>		<b>p. 30</b>
<b>Bibliografía</b>		<b>p. 31</b>

En un país, el Transporte y la Distribución Pública aseguran el tránsito de la energía eléctrica entre los puntos de producción y los de consumo.

Los puntos de producción son las centrales que generan la energía eléctrica a partir de distintas energías primarias (nuclear, hidráulica, carbón, ...).

Los puntos de consumo en MT (Media Tensión) son centros u obras a partir de los cuales la energía se suministra a los clientes (abonados), esto mediante la «distribución de MT». Esta última es el objeto del presente Cuaderno Técnico.

En este cuaderno técnico, después de describir los distintos tipos de redes y el oficio de distribuidor, el lector no familiarizado con el MT encontrará una presentación de:

- las topologías de las redes de MT,
- los centros,
- los dispositivos de protección, control y mando.

**Nota:** En este cuaderno técnico, el término MT designa cualquier tensión comprendida entre algunos kV y 40 kV.

# 1 Las distintas redes eléctricas

No basta con producir corriente eléctrica en las centrales, hace falta llevarla hasta el usuario final.

Así es como para alcanzar la adecuación entre la producción y el consumo, que se traduce al final por el rendimiento económico, la estructura eléctrica de un país suele dividirse en varios niveles que corresponden a distintas redes eléctricas (**figura 1**).

Hay que subrayar que no existe ninguna estructura única en el mundo y que la repartición en varias redes con sus niveles de tensión asociados puede ser distinta según los países. Pero, en general, el número de niveles de tensión se limita a tres;

por otra parte, en 1983, la publicación CEI 38 ha formulado recomendaciones para los niveles de tensión de las redes de 50 a 60 Hz.

Sin embargo, con el fin de entender mejor el interés de esta repartición, los apartados siguientes presentan cada red con:

- su finalidad,
- su nivel de tensión,
- su estructura.

## Red de transporte e interconexión

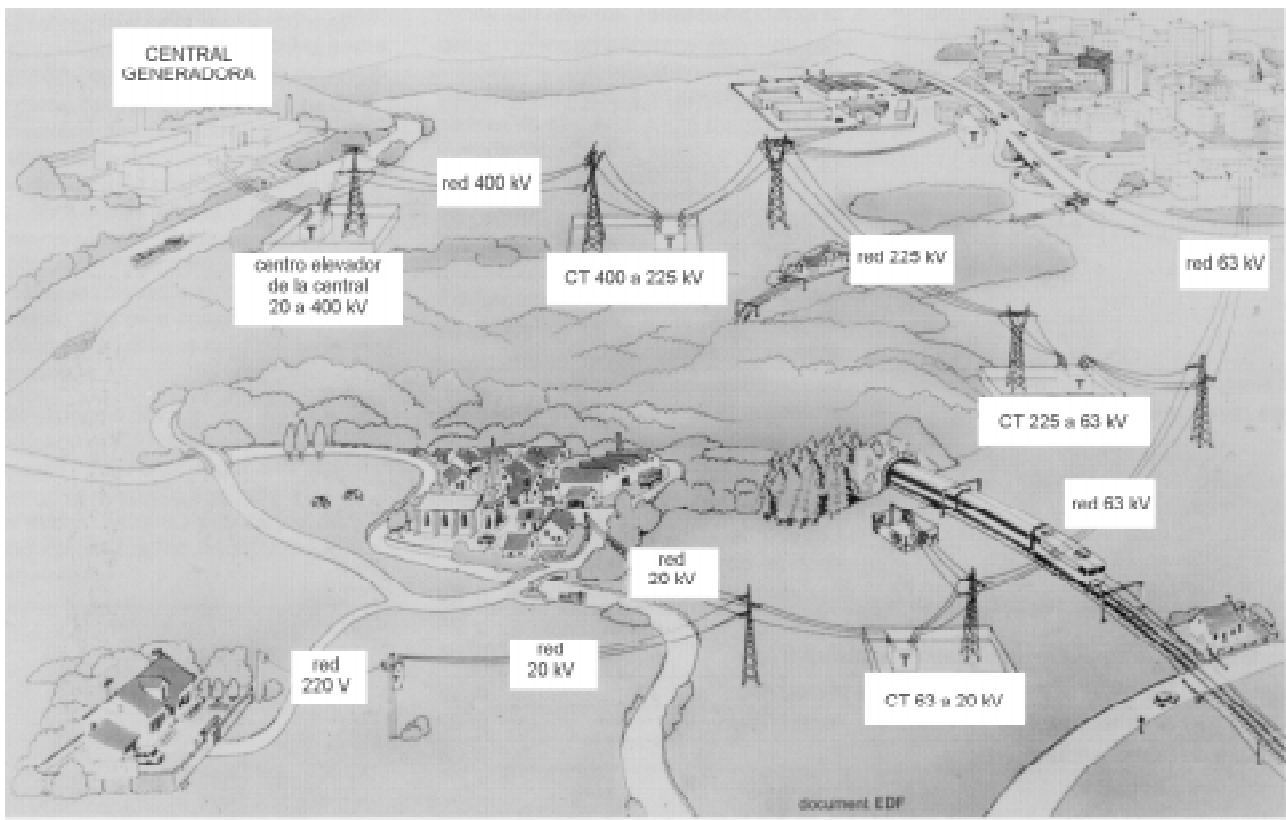
La dispersión geográfica entre los lugares de producción y los centros

de consumo, la irregularidad de este consumo y la posibilidad de almacenar la energía eléctrica, requieren una red eléctrica capaz de transportarla a grandes distancias y de dirigirla.

Sus líneas alcanzan millares de kilómetros, por ejemplo 20.000 km para la red 400 kV francesa.

La finalidad de esta red es triple:

- una función de «transporte» cuyo propósito es llevar la electricidad de las centrales de producción a las grandes zonas de consumo;
- una función de «interconexión nacional» que gestiona la repartición de la oferta, orientando la producción



**Fig. 1:** Esquema ilustrado de una red eléctrica donde puede verse que la electricidad se produce, transporta y distribuye a distintos niveles de las tensiones.

en función de la repartición geográfica y temporal de la demanda;

- una función de «interconexión internacional» para gestionar los flujos de energía entre los países en función de intercambios programados o a título de ayuda.

En general, sólo algunos abonados con fuerte consumo están conectados a estas redes.

La estructura de estas redes es esencialmente de tipo aéreo.

Las tensiones suelen estar incluidas entre 225 y 400 kV, a veces 800 kV (ejemplo: 765 kV en Sudáfrica). La utilización de estas elevadas tensiones está ligada a un objetivo económico. En efecto, para una potencia dada, las pérdidas en línea por efecto Joule son inversamente proporcionales al cuadrado de la tensión:

$$p = k/U^2, \text{ donde}$$

$U$  = tensión de la red,

$k$  = una constante función de la línea.

Además las potencias transportadas son tales que la utilización de una tensión baja conllevaría secciones de cables totalmente inadmisibles. El uso de tensiones elevadas es por lo tanto una imposición, a pesar de las exigencias de aislamiento que se traducen por costes de material más importantes, la solución más fácil consiste en utilizar líneas aéreas.

En todos los casos, la elección de una tensión de transporte es, ante todo, un compromiso técnico-económico, función de las potencias a transportar y las distancias a recorrer.

El aspecto de seguridad es fundamental en estas redes. En efecto, cualquier fallo en este nivel conlleva importantes defectos en la alimentación para el conjunto de los puntos de consumo. Así es como en 1965, 30 millones de personas se quedaron sin electricidad durante 12 horas en los Estados Unidos.

Por lo tanto, las protecciones de estas redes deben ser muy eficaces. En cuanto a su explotación, es asegurada, a nivel nacional, por un centro de control o de dispatching, a partir del cual se vigila y gestiona permanentemente la energía eléctrica.

## Red de reparto

La finalidad de esta red es, ante todo, llevar la electricidad de la red de transporte hacia los grandes centros de consumo.

Estos centros de consumo son:

- o del sector público con acceso a la red de distribución MT,
- o del sector privado con acceso a abonados de gran potencia (superior a 10 MVA) conectados directamente a AT. El número de estos abonados en cada país es pequeño (en Francia, por ejemplo, 600). Se trata sobre todo de industrias como la siderurgia, la del cemento, las químicas, las de transporte ferroviario...

La estructura de estas redes es generalmente aérea (a veces soterránea en las proximidades de las ciudades). En este sector, las políticas de respeto al entorno y al medio ambiente (zonas protegidas) se oponen frecuentemente a la construcción de estas líneas. Por consiguiente, la penetración de redes de reparto hasta las zonas de gran densidad de población es cada vez más compleja y costosa.

Las tensiones de estas redes están comprendidas entre 25 KV y 275 kV.

Las protecciones son del mismo tipo que las utilizadas en las redes de transporte, siendo los centros de paso regionales.

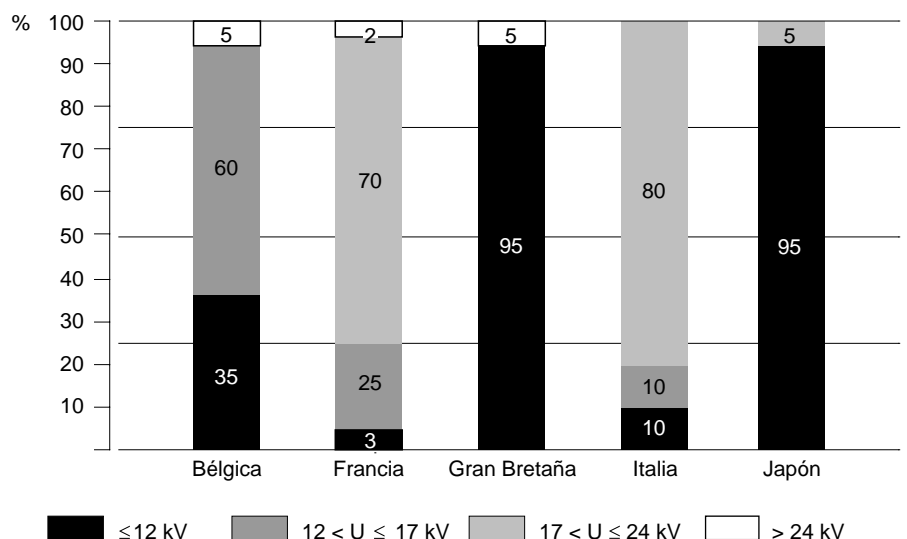
## La red de distribución MT

Este nivel de la estructura eléctrica de un país se analizará en los capítulos siguientes. Aquí sólo se indican ciertos elementos simples de identificación.

La finalidad de estas redes es acercar la electricidad de las redes de reparto a los puntos de consumo medio (superiores a 250 KVA, en Francia).

Estos centros de consumo son:

- o del sector público con acceso a la red de distribución pública MT/BT,
- o del sector privado, con acceso a los centros de suministro a abonados con consumo medio. El número de estos abonados (ejemplo: 160.000 en Francia) sólo representa un pequeño porcentaje del número total de consumidores suministrados directamente en BT. Son esencialmente del sector terciario, como hospitales, edificios administrativos, pequeñas industrias, ...



**Fig. 2:** Reparto de las redes de MT nacionales según sus distintos niveles de tensión, en función de las longitudes de líneas.

La estructura es de tipo aéreo o subterráneo.

Las tensiones en estas redes están incluidas entre algunos kilovoltios y 40 kV (**figura 2**).

Las protecciones son menos sofisticadas que en el caso de las redes anteriores.

En cuanto a la explotación de estas redes, puede asegurarse manualmente o, cada vez más, por telemando a partir de los centros de maniobra fijos y/o a bordo de vehículos. Pero para tener en cuenta las necesidades específicas de la conducción de las redes de distribución de MT, estos centros de maniobra son distintos de los utilizados en las redes de transporte o reparto. La multiplicidad y dispersión geográfica de los puntos de telegestión, la gestión simultánea de varios centros de control, el número y la cualificación de los usuarios requieren soluciones adaptadas: ergonomía y compenetración entre los centros de trabajo, herramientas de ayuda a la gestión, herramientas de configuración de los centros de gestión y gestión de los distintos soportes de transmisión utilizados.

## Red de distribución BT

Esta red tiene como finalidad llevar la electricidad de la red de distribución de MT a los puntos de bajo consumo (inferior a 250 kVA en Francia) en el sector público con acceso a los abonados de BT. Representa el último nivel en una estructura eléctrica.

Esta red permite alimentar un elevado número de consumidores (26 millones en Francia) que corresponden al sector doméstico.

Su estructura, de tipo aéreo o subterráneo, es a menudo influenciada por el entorno.

Las tensiones en estas redes están comprendidas entre 100 y 400 V.

Estas redes suelen ser explotadas manualmente.

## Naturaleza de la corriente eléctrica

Las transferencias de energía de estas distintas redes se realizan a través de la corriente eléctrica.

Los enlaces por corriente continua o HVDC (high voltage direct current) se utilizan para los intercambios entre países únicamente a nivel de redes de transporte. La elección de esta técnica permite optimizar la utilización de los cables de energía, en particular, al suprimir los efectos «skin». Tales enlaces intercontinentales, incluso continentales, existen, por ejemplo: un enlace (300 MW / 200 kV) une Italia a Cerdeña pasando por Córcega.

En otros casos, en particular en las redes de MT de distribución pública, los enlaces se realizan mediante corriente alterna. En efecto, en estas redes, no sería rentable utilizar corriente continua:

- pérdidas reducidas en redes cortas (inferiores a 100 km);

- instalaciones más costosas (necesidad de numerosos convertidores continua/alterna).

Además, la corriente alterna se adapta muy bien a los numerosos cambios de tensión (transformadores) durante el tránsito de la corriente eléctrica.

Salvo algunas excepciones (Arabia Saudí) y fuera del continente americano donde la utilización de 60 Hz está generalizada, la frecuencia de la corriente es de 50 Hz.

Subrayemos el caso del Japón donde una mitad del país está en 60 Hz y la otra mitad en 50 Hz.

## Planificación de las redes

La instalación y evolución de la estructura de la red de alimentación eléctrica de un país corresponde a las operaciones de planificación.

Para las redes de transporte y reparto, estas operaciones suelen centralizarse porque:

- las decisiones que llevan a una modificación de la estructura de tales redes, por ejemplo, la introducción de un nuevo centro AT/MT, imponen tomar en cuenta numerosos parámetros, técnicos y económicos;

- el número de estos parámetros con sus eventuales interacciones, requieren la ayuda de instrumentos informáticos, la utilización de bases de datos y de sistemas expertos.

Para las redes de distribución de MT y BT, la planificación, en cambio, suele descentralizarse.



## 2 El distribuidor

### Su razón de ser: suministrar electricidad

La razón de ser de los distribuidores de energía eléctrica consiste en suministrar energía eléctrica a los consumidores, teniendo en cuenta varios objetivos tales como:

- continuidad de servicio,
- seguridad de los bienes y de las personas,
- flexibilidad y comodidad de explotación,
- competitividad comercial.

### Su oficio

Si bien el suministro eléctrico es satisfactorio en los países industrializados, el porcentaje de electrificación sigue todavía variable en otros países.

### Objetivos distintos según los niveles de electrificación

Para los países no electrificados al 100%, el objetivo prioritario sigue siendo la mejora de este porcentaje de electrificación. Para ello, la mayor parte de las inversiones se dedica a la construcción de redes y obras (figura 3).

Sin embargo, la capacidad de financiación, a veces reducida, puede llevar a elegir soluciones orientadas hacia la simplificación de la estructura de las redes, en deterioro de las prestaciones. Asimismo, una disponibilidad y competencia del personal, a veces limitadas, pueden conducir a una explotación simplificada.

### Situaciones variables en los países industrializados

En los países electrificados al 100%, las utilidades de la energía eléctrica son muy diferentes:

- los consumos nacionales de energía eléctrica están muy diferenciados (figura 4). Estas diferencias se deben al tamaño del

país, su crecimiento económico (PIB) y al peso del sector industrial (ejemplo: el 40% del consumo francés),

- los consumos por habitante pueden variar en una relación de 10 entre algunos países (figura 4). Estas diferencias se deben esencialmente a la política de tarifas de los distribuidores, pero también a las condiciones climáticas.

El oficio de distribuidor de MT no es uniforme: a menudo se extiende a la distribución de BT (Baja Tensión) y en algunos casos es también responsable de la producción y del transporte, por ejemplo:

- En el Japón, nueve compañías regionales privadas aseguran, cada una para su zona, las actividades de producción, transporte y distribución.
- En Alemania, aproximadamente mil empresas trabajan en el campo de la distribución de electricidad. Cerca de 1/3 de ellas poseen sus propias instalaciones de producción.

- En Gran Bretaña, dos compañías se encargan de la producción (NP - National Power- y GP -Power Gen-). La sociedad NGC -National Grid Cies- asegura el transporte, y aproximadamente doce Regional Electricity Cies. aseguran la

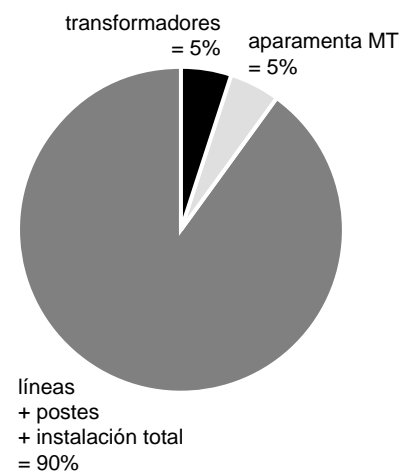


Fig. 3: Desglose de los costes de una línea aérea de MT.

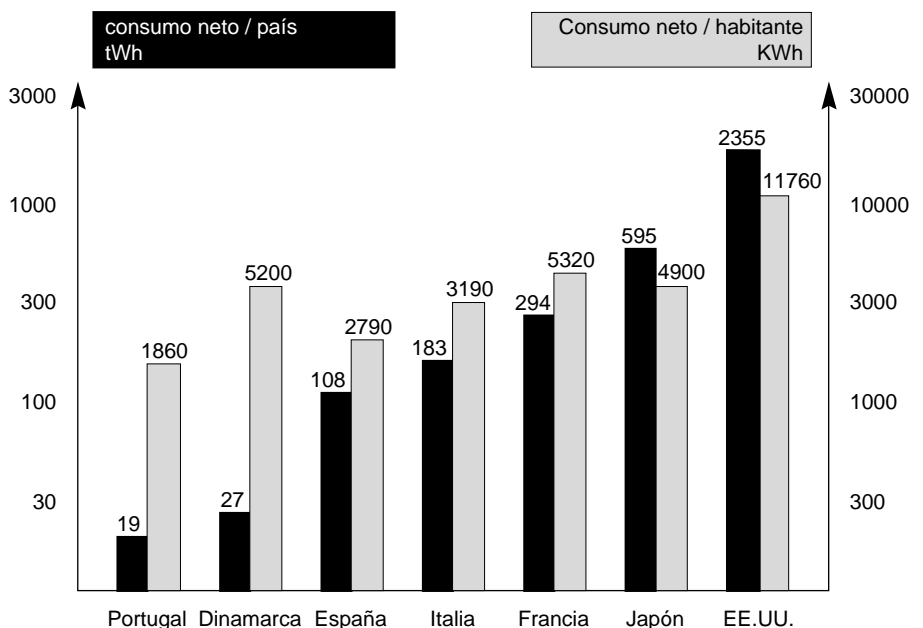


Fig. 4: Consumos netos por país y habitante.

distribución. Esta organización nació de la ley de privatización de los distribuidores ingleses votada en 1990.

- En Italia, una ley fundó la E.N.E.L. en 1962. Se trata de un servicio público encargado de la producción, transporte y distribución; gestiona aproximadamente el 80% de la electricidad distribuida en Italia.
- En Francia, la situación es similar con E.D.F.

Así parece, a través de estos pocos ejemplos, que el número de interventores, en particular en la distribución de MT, puede ser muy variable según los países (figura 5).

En el caso de la distribución de MT, el distribuidor suele tener la total responsabilidad de la red, desde el centro AT/MT hasta el centro MT/BT. Además el oficio de distribuidor integra ahora una oferta comercial con la venta del «producto electricidad», bajo forma de kWh. Debe por lo tanto mejorar constantemente la calidad de este producto para responder a las exigencias de sus distintas clientelas, y seguir siendo competitivo frente a otras fuentes de energía. Este objetivo lleva a los distribuidores a contemplar varios niveles de precios relacionados con distintos niveles de calidad de kWh vendido.

Por otra parte, la red de distribución eléctrica, constituye por sí misma un importante capital para el distribuidor. Debe rentabilizar al máximo esta inversión y es por este motivo que las necesidades de los distribuidores integran cada vez más las nociones de gestión de energía.

Por último, el distribuidor tiene un importante papel social y político, papel que puede influir en sus elecciones, o por lo menos en sus prioridades, como en estos dos ejemplos:

- la alimentación de nuevos clientes puede requerir una ampliación de la red,
- el coste del kWh puede limitarse para integrar una política económica gubernamental.

## Su evolución: suministrar una energía de calidad

Cada vez más el distribuidor de energía tiene que suministrar un producto eléctrico de calidad. Para ello debe:

- reducir los cortes de alimentación en número y duración, de cara a sus abonados,
- minimizar sus consecuencias,
- evitar las perturbaciones, tales como las fluctuaciones de tensión o de frecuencia (figura 6).

### La naturaleza de los defectos depende del tipo de red

Para los abonados, las consecuencias de estos fenómenos dependen, ante todo, de la naturaleza del fallo.

Un defecto puede ser:

- según su duración: transitorio o permanente,
- según su naturaleza: monofásico o trifásico.

Un defecto transitorio suele traducirse por un corte breve, del orden de algunos 100 ms, esencialmente relacionado con los tiempos de reenganche de la aparamenta.

Un defecto permanente implica un corte cuya duración puede variar entre algunos minutos y varias horas: requiere una intervención humana.

Las redes aéreas, obviamente mucho más expuestas que las subterráneas, requieren soluciones específicas a los problemas encontrados, tales como:

- ramas de árboles que caen sobre una línea aérea;
- pájaros que se posan en la línea o sus soportes;
- defectos debidos al rayo, al viento, las heladas, la nieve;
- vandalismo.

Por consiguiente, la naturaleza de los defectos es distinta en las redes aéreas y las subterráneas:

- en las redes aéreas, los defectos son mayoritariamente transitorios (del 80% al 90%) y monofásicos (75%) ya que suelen ser causados por tormentas, un cable caído al suelo o el contorneo de un aislador, por ejemplo;
- en las redes subterráneas, los defectos son mayoritariamente permanentes (100%) y polifásicos (90%) por que suelen ser la consecuencia del seccionamiento de un cable.

parámetros	valores nominales	tolerancias
Frecuencia	(50 Hz)	± 1Hz
Tensión MT	(12 a 24 kV)	±7 %
Tensión BT aérea	(230 ó 400 V)	± 10%
subterránea		± 5%

Fig. 6: Ejemplo de las exigencias de «calidad» de un distribuidor.

País	Número de distribuidores		el más importante
	total	que distribuyen el 80% del consumo nacional	
Alemania	600	20	R.W.E.
Arabia Saudí	5	5	S.C.E.C.O.
España	200	6	Iberdrola
Francia	200	1	E.D.F.
Gran Bretaña	15	10	Regional Electricities Cie
Italia	150	1	E.N.E.L.
Japón	9	9	Tokyo Electric Power Co.

Fig. 5: Los distribuidores de energía en algunos países.

## Necesidad de informaciones

La importancia de comprender los incidentes en la red justifica cada vez más la necesidad de informaciones, que los distribuidores satisfacen mediante estudios estadísticos.

Estos trabajos de análisis tienen como propósito:

- clasificar y codificar los incidentes,
- determinar sus orígenes y causas,
- tratar estadísticamente la frecuencia con la cual ocurren,
- buscar las correlaciones,
- estudiar comparativamente las prestaciones de distintas topologías,
- analizar los resultados según los equipos instalados y los métodos de explotación utilizados.

Estas estadísticas son una herramienta de ayuda a los distribuidores para la concepción, explotación y mantenimiento de las redes de distribución pública.

Además, para poder decidir acerca de las mejores soluciones a elegir, la calidad de servicio debe poder cuantificarse y medirse, y no calibrarse ya de manera subjetiva.

Para ello se crean nuevas herramientas (basadas en modelos matemáticos) con, en particular, la noción de «energía no distribuida». E.D.F. utiliza, en particular, para la medición de coste de la falta de calidad en distribución aérea de MT la fórmula:

$A \cdot N \cdot P \cdot T + B \cdot N \cdot P \cdot Y$ , donde

N: número de cortes permanentes por circuito,

P: potencia media por circuito en kW,

T: tiempo medio de interrupción por defecto,

A y B: coeficientes de evaluación económica,

(en 1990, para EDF en Francia: A = 6 FF/kW y B = 13,5 FF/kWh).

Pero la medición de la calidad de servicio puede requerir tomar en cuenta parámetros más numerosos. La complejidad de las fórmulas de cálculo y las simulaciones a efectuar, justifican entonces el desarrollo de softwares cada vez más eficaces para ayudar a tomar una decisión.

Para medir la fiabilidad del suministro de energía al cliente residencial de BT, los distribuidores prefieren utilizar el criterio de «grado de indisponibilidad»: se trata del tiempo acumulado anual durante el cual un cliente medio está privado de electricidad por culpa de un defecto en la red eléctrica (AT, MT y BT).

En fin, es importante constatar que un gran número de las incidencias en un abonado BT son debidas a la red MT (60% según un estudio E.D.F.). (Figura 7).

## Las redes, los materiales y los hombres evolucionan

Sin embargo, no hay que olvidar que el rendimiento de una red depende ante todo de su topología. Ahora bien, en el mundo, las redes actuales son el resultado de una acumulación histórica de estructuras a medida que crecieron las necesidades. Además, una red envejece y requiere permanentemente esfuerzos, tanto de mantenimiento como de renovación, para conservar sus prestaciones y evitar incidentes que son fuentes de «energía no distribuida».

Para responder a estas necesidades, los constructores proponen por lo tanto equipos «sin mantenimiento» o

de mantenimiento reducido; equipos para los cuales las operaciones de mantenimiento, modificación, adición, no perjudican la continuidad de servicio.

Cada vez más, los distribuidores de energía tienen que emprender acciones de mantenimiento preventivo, en particular la auscultación de las obras mediante registro y análisis de los incidentes ocurridos en las redes (utilización de osciloperturbógrafos y registradores).

Para ello, la evolución de los equipos de protección, de control y mando con la tecnología numérica (microprocesadores) y el desarrollo de las redes de telecomunicación, ofrecen perspectivas de soluciones innovadoras en la predicción (terminología).

Por último, la práctica de trabajos en tensión como la gestión a distancia de las redes (telegestión) son también elementos favorables a la mejora de la calidad de servicio, y reducen el número de cortes y su duración.

Obviamente, todos estos desarrollos requieren una rápida adaptación del personal, similar al cambio de trabajo actual en los centros de control:

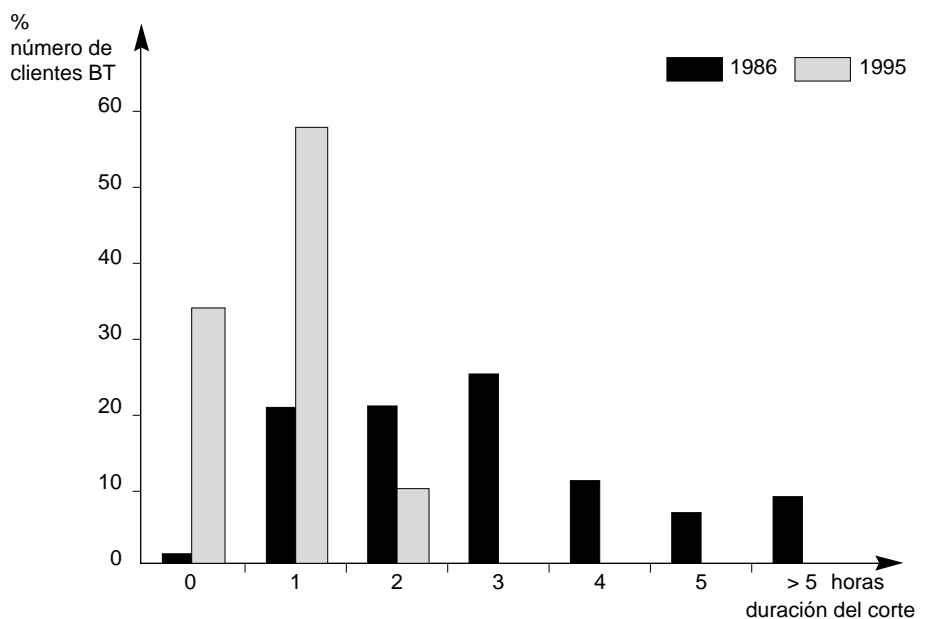


Fig. 7: Grado de indisponibilidad de la energía eléctrica en una red de BT (EDF. Francia).

- existen todavía centros de control en los cuales:
  - los distintos estados de las redes son visualizados mediante el desplazamiento manual de símbolos en grandes sinópticos de varios metros cuadrados,
  - y las instrucciones relativas a las maniobras se escriben a mano en diarios;

- en los nuevos centros, todas estas tareas se hacen en consolas informáticas, con:
  - todas las informaciones disponibles en tiempo real en pantallas (esquemas de las redes, descriptivo geográfico),
  - el histórico de los acontecimientos registrado automáticamente (consignación de los estados).

### 3 Topologías de redes eléctricas de MT

Por topología de una red eléctrica se entiende el conjunto de los principios (esquema, protección, modo de explotación) utilizados para transportar la energía eléctrica en distribución pública.

En la práctica, para un distribuidor, definir una topología consiste en fijar cierto número de elementos físicos teniendo en cuenta criterios relacionados con objetivos a alcanzar y/o exigencias técnicas. Ya que estos elementos están fuertemente relacionados entre sí, la elección de una topología es siempre el resultado de compromisos técnico-económicos.

La traducción gráfica de una topología será un esquema de tipo unifilar simplificado.

#### Criterios de elección de una topología

La elección de una topología responde a objetivos:

- garantizar la seguridad de las personas y de los bienes,
- conseguir el nivel calidad de servicio fijado,
- asegurar el resultado económico deseado.

Pero debe también someterse a exigencias:

- adecuarse a la densidad de habitat y/o de consumo, también llamada densidad de carga, que desempeña un papel cada vez más preponderante.

Expresada en MVA/km<sup>2</sup>, esta densidad permite distinguir las distintas zonas geográficas de consumo en términos de concentración de carga. Una de las segmentaciones utilizadas por algunos distribuidores consiste en definir dos tipos de zonas de consumo:

- zona con baja densidad de carga: < 1 MVA/km<sup>2</sup>,
- zona con gran densidad de carga: > 5 MVA/km<sup>2</sup>.
- tener en cuenta la extensión geográfica, el relieve y las dificultades de construcción,
- satisfacer las exigencias del entorno, en particular las climáticas (temperaturas mínimas y máximas, frecuencia de tormentas, nieve, viento, etc.) y el respeto del entorno ambiental.

#### Elementos que dependen de la topología elegida

La elección de una topología fija los principales elementos de concepción de una distribución, como son:

- las potencias y el valor máximo de las corrientes de defecto a tierra, ejemplo: en MT, la E.D.F. limita el valor de estas corrientes para 20 kV a 300 A en distribución aérea y a 1000 A en red subterránea;
- la (o las) tensiones de servicio, ejemplo: en MT el Japón distribuye en 6,6 kV, Gran Bretaña en 11 y 33 kV y Francia mayoritariamente en 20 kV;
- la rigidez a las sobretensiones y la coordinación de los aislamientos, así como las protecciones contra las sobretensiones de origen atmosférico,

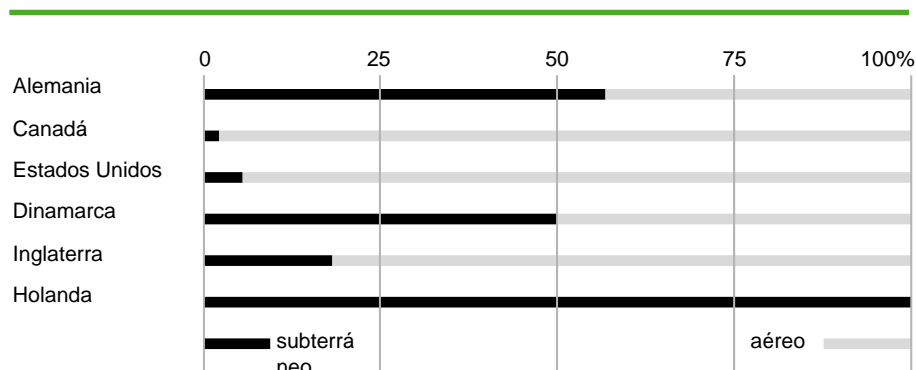


Fig. 8: Repartición para algunos países, de las longitudes de las redes de MT en subterránea (cables) y aérea (líneas).

- el (o los) esquema(s) de conexión a tierra, así como el número de cables distribuidos,
- la longitud máxima de las salidas (algunas decenas de kilómetros en MT),
- el tipo de distribución: aérea o subterránea (**figura 8**),
- el tipo de explotación: manual, automática, telegestionada.

Es importante subrayar que:

- la elección de la corriente de cortocircuito tiene repercusiones sobre la resistencia de los materiales utilizados en la red,
- la elección del (o de los) valores de tensión es siempre el resultado de un compromiso entre los costes de realización y de explotación de la red,
- la elección del nivel de aislamiento de los materiales suele obedecer a

normas internacionales y/o nacionales que cumplir,

■ la elección de una distribución por red aérea o subterránea influye mucho en el coste de instalación y la calidad de servicio (ejemplo: costes de apertura de una zanja/sensibilidad a los defectos transitorios...). En MT, en los países industrializados, esta elección puede ser sintetizada en tres casos:

- medio urbano de gran densidad, con distribución subterránea,
- medio suburbano de gran densidad, con distribución subterránea o aereosubterránea,
- medio rural de baja densidad, con distribución aérea.

Sin embargo debe observarse que, históricamente, por motivos de costes de instalación, numerosos medios urbanos tienen una distribución aérea, como es el caso de Japón y Estados Unidos.

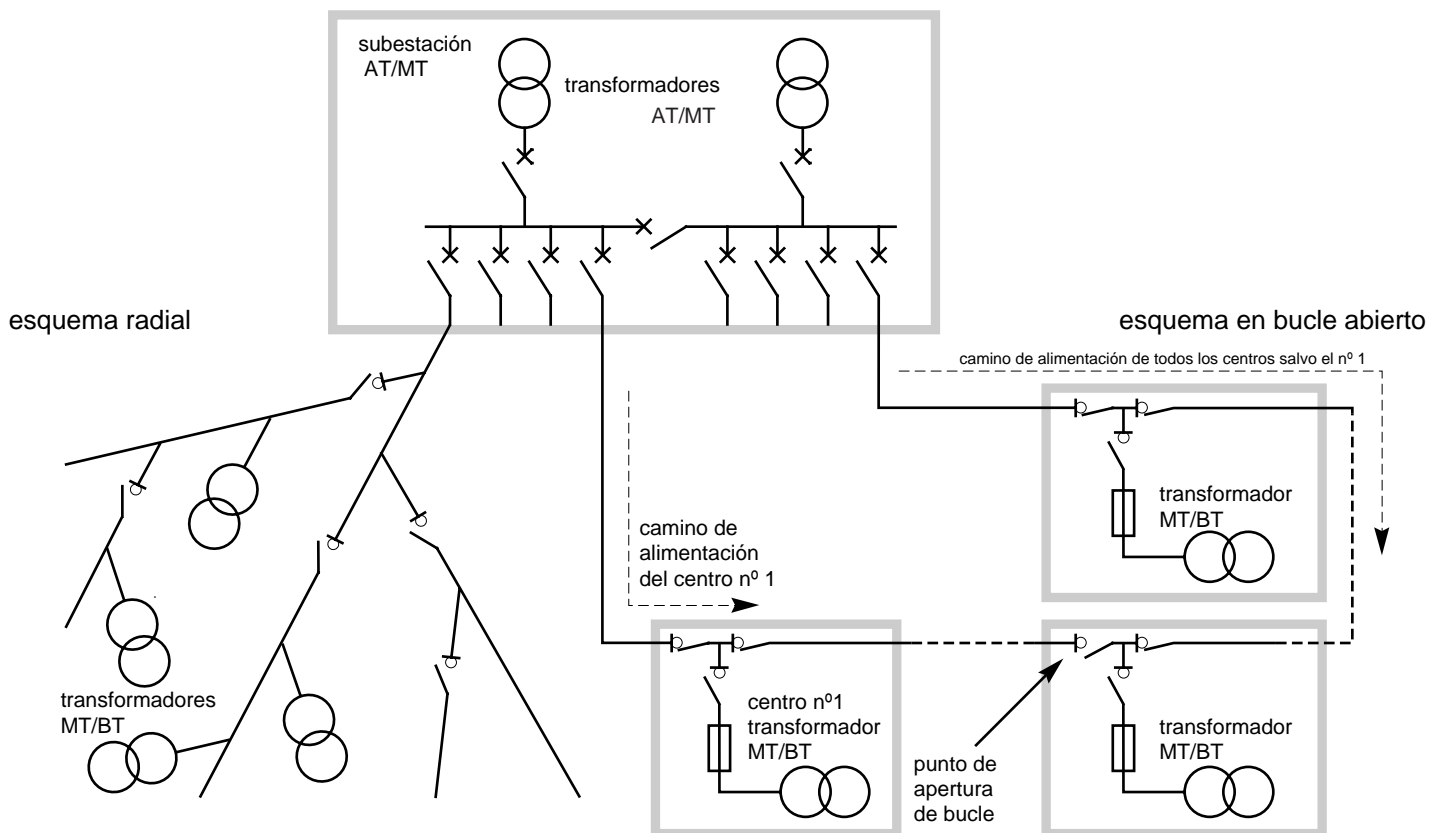
## Distintos esquemas de redes de MT

La elección de los esquemas es importante para un país: en particular para las redes de MT ya que son muy largas. Así, por ejemplo, el conjunto de la estructura de MT en Francia es de aproximadamente 570.000 km, la de Italia de 300.000 km y la de Bélgica ronda los 55.000 km.

Existen varias topologías:

- topología bucle cerrado, de tipo mallado,
- topología bucle abierto, de tipo mallado simplificado,
- topología bucle abierto,
- topología radial.

Se aplican también otras topologías, por ejemplo la doble derivación en las redes de MT francesas.



**Fig. 9:** Los dos esquemas de base de una red de distribución de MT, radial (o en antena) y en bucle abierto (o corte en arteria).

Aunque ninguna esté «normalizada» en MT, los distribuidores se apoyan en dos topologías de base: la radial y el bucle abierto.

Cada una de estas dos topologías será tratada más detalladamente y definida por:

- su principio de funcionamiento,
- su esquema unifilar tipo,
- su aplicación tipo,
- sus puntos fuertes y débiles.

### Esquema radial

Este esquema se llama también en antena.

Su principio de funcionamiento es de una sola vía de alimentación. Esto significa que, cualquier punto de consumo en tal estructura, sólo puede ser alimentado por un único posible camino eléctrico. Es de tipo arborescente (figura 9).

Esta arborescencia se desarrolla a partir de los puntos de alimentación, que constituyen las subestaciones de distribución pública AT/MT o MT/MT.

Este esquema se utiliza en particular para la distribución de la MT en el medio rural. En efecto, permite fácilmente y con un coste menor, acceder a puntos de consumo de baja densidad de carga (= 10 kVA) y ampliamente repartidos geográficamente (= 100 km<sup>2</sup>).

Un esquema radial suele estar relacionado con una distribución de tipo aéreo.

Sus puntos fuertes y débiles están resumidos en la tabla de la figura 10.

### Esquema bucle abierto

Se llama también corte de arteria.

Su principio de funcionamiento se basa en dos vías de alimentación. Esto significa que cualquier punto de consumo, en esta estructura, puede ser alimentado por dos posibles caminos eléctricos, dado que uno solo de estos dos caminos es efectivo, la emergencia se realiza mediante esta posibilidad de bucle. En tal esquema, existe siempre un punto de apertura en el bucle (de donde el nombre de bucle abierto que se utiliza también para esta solución), lo que viene a ser un funcionamiento equivalente a dos antenas.

El esquema unifilar tipo es evidentemente un bucle sobre el cual se conectan los puntos de consumo (figura 9) que pueden ser centros de distribución pública de MT/BT y/o centros de suministro para abonados en MT. Cada punto (entre 15 y 25 puntos por bucle) está conectado en el bucle mediante dos interruptores de MT. Todos estos interruptores

están cerrados excepto uno de ellos que constituye el punto de apertura del bucle y define el camino de alimentación para cada punto de consumo. Este punto de apertura puede ser desplazado en el bucle, en particular cuando se efectúan maniobras de reconfiguración de la red a consecuencia de un defecto.

Tecnología	Puntos fuertes	Puntos débiles
radial	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ simplicidad</li> <li>■ explotación</li> <li>■ coste de instalación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ calidad de servicio</li> </ul>
bucle abierto	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ simplicidad</li> <li>■ calidad de servicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ explotación con mayor número de maniobras</li> <li>■ costes de instalación</li> </ul>

Fig. 10: Cuadro comparativo de los dos esquemas de base de las redes de MT.

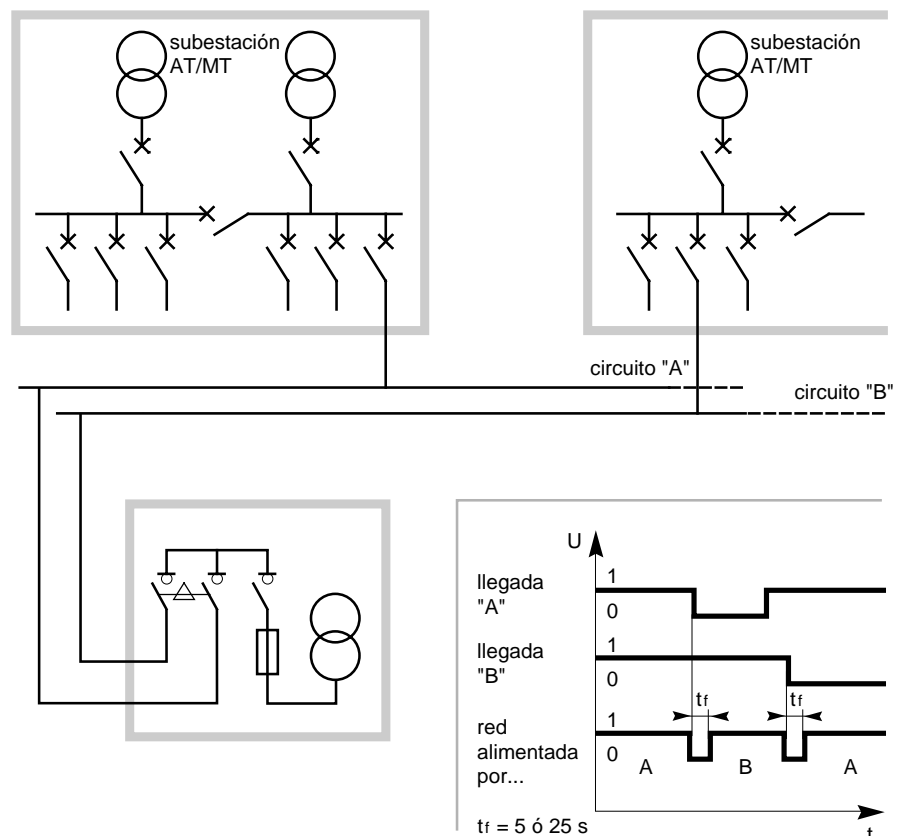


Fig. 11: Esquema de distribución en doble derivación, utilizado por EDF-Francia. En el recuadro, secuencia del automatismo de un permutador Merlin Gerin, conforme con las especificaciones EDF-Francia.

A menudo este esquema es asociado a una distribución de tipo subterráneo.

Se suele utilizar en medio urbano de fuerte densidad, con los puntos fuertes y débiles descritos en el cuadro de la **figura 10**.

### Esquema de doble derivación

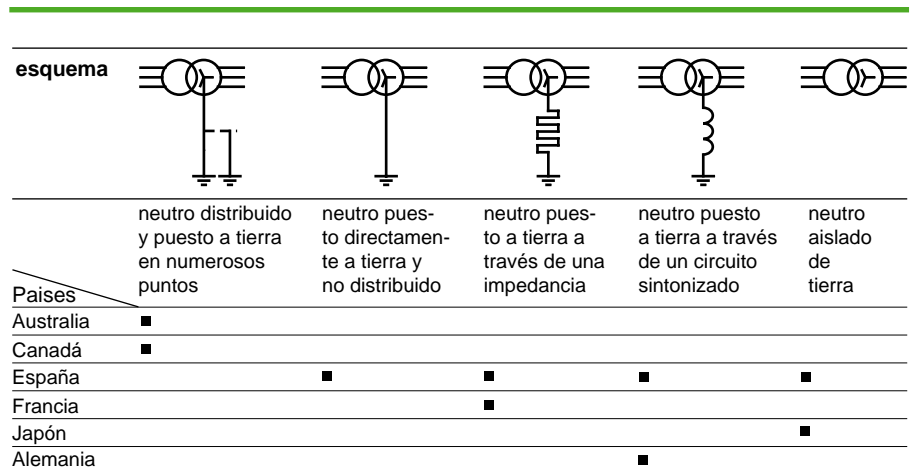
Este esquema, poco utilizado, es explotado esencialmente en la región parisina por E.D.F. (**figura 11**).

El principio utilizado es el siguiente:

- la red de MT se subdivide. Comporta dos circuitos A y B permanentemente en tensión,
- cualquier centro de MT/BT:
  - está conectado a los dos cables de MT («A» y «B») pero en realidad está conectado a un solo cable (interruptor de MT cerrado en el cable «A»),
  - está equipado con un automatismo local simple,
  - en caso de defecto en el cable «A», el automatismo detecta la ausencia de tensión en este cable, comprueba la presencia de tensión en el cable «B» y entonces da órdenes de apertura para un interruptor de MT y luego de cierre para el otro interruptor de MT.

### Esquemas de conexión a tierra del neutro

La elección del esquema de conexión a tierra del neutro (o régimen del neutro de MT) define, entre otros, los valores de las sobretensiones y corrientes de defecto que podrán existir en una red en caso de defecto a tierra. Obsérvese que estos parámetros son antimónicos, es decir, que la obtención de un valor pequeño de corriente conlleva el riesgo de una sobretensión elevada, y recíprocamente. Estos valores impedirán entonces las exigencias eléctricas que deberán tener los materiales electrotécnicos. Pero si elige este esquema de conexión, simultáneamente, se eligen las posibles soluciones para la protección de la red eléctrica, y se condicionan los métodos de explotación.



**Fig. 12:** Los distintos esquemas de conexión a tierra del neutro en MT y su aplicación en el mundo.

### Los cinco esquemas utilizados en el mundo en MT

Aquí tampoco existe un esquema tipo de las conexiones a tierra del neutro. Sin embargo es posible reunir, según cinco escuelas, todos los casos encontrados en el mundo (**figura 12**):

- neutro directo a tierra y distribuido,
- neutro directo a tierra y no distribuido,
- neutro puesto a tierra a través de una impedancia,
- neutro puesto a tierra a través de un circuito sintonizado,
- neutro aislado de tierra.

Como ya se dijo, ninguno de estos sistemas se ha impuesto en el mundo: algunas soluciones son específicas de ciertos países, y en un mismo país pueden coexistir distintas soluciones, incluso dentro de una misma compañía eléctrica de distribución.

Pero, en definitiva, la elección de un esquema de conexiones a tierra del neutro en MT es siempre el resultado de un compromiso entre los costes de instalación y de explotación.

### Diferenciación entre estos cinco esquemas

Se ha dicho más arriba que la elección del esquema de las conexiones del neutro a tierra condiciona las prestaciones de la red y el diseño de su plan de protección. En efecto, las principales diferencias

de los cinco sistemas residen en el comportamiento de la red en situación de defecto a tierra.

Estas diferencias se traducen concretamente a nivel:

- de la facilidad de detección de estos defectos,
- del grado de seguridad alcanzado para las personas,
- de la repercusión de la resistencia de los materiales electrotécnicos.

Sin embargo, hay que destacar el esquema de neutro distribuido que permite una distribución en monofásico. Esta posibilidad puede justificarse en algunos países debido a su menor coste de instalación. Sin embargo los dispositivos de protección más complejos imponen un mantenimiento más exigente.

Independientemente de este caso particular, el cuadro de la **figura 13**, síntesis de los puntos fuertes y débiles de estas escuelas, aclara por qué ninguna de dichas escuelas se impone en el mundo.

### Plan de protección

La estructura eléctrica de un país corresponde a un conjunto de redes eléctricas.

Una red eléctrica puede desglosarse en zonas.

Cada una de estas zonas suele estar protegida por un interruptor automático en asociación con dispositivos de detección (captadores

de medida: transformador de corriente, de tensión,...) protección, control y mando (relés de protección) y de disparo (elementos accionadores).

El conjunto de estos elementos constituye una cadena de protección (figura 14) que asegura la eliminación de la parte defectuosa de la red en caso de fallo.

Su papel consiste en garantizar la seguridad protegiendo contra los defectos de aislamiento entre fases o entre fase-tierra, y contra las sobrecargas prolongadas. En particular, la cadena de protección debe reducir las consecuencias de un defecto de cortocircuito, es decir, los riesgos de incendio, explosión, deterioro mecánico, ...

El plan de protección de una red es el conjunto de estas cadenas de protección, que integra los equipos utilizados y también la organización del funcionamiento entre ellos. Esta organización del plan de protección, incluyendo los tiempos de disparo de los interruptores automáticos asociados, define la duración máxima de paso de las corrientes de defecto en los distintos puntos de la red eléctrica.

La eficacia de un plan de protección depende de varios criterios: fiabilidad, selectividad, rapidez, sensibilidad, evolutividad.

### Fiabilidad

Este criterio sitúa el nivel de calidad en lo referente a protección de personas y bienes, en particular frente a peligros de electrocución por elevación del potencial de las masas. De hecho, a pesar de que rara vez una unidad de protección es solicitada, en el momento de producirse un defecto debe actuar eficazmente, y esto debe ser así durante muchos años. Este criterio afecta directamente las prestaciones de la red, por ejemplo, cualquier interrupción en la distribución debe ser «justificada» porque provoca una pérdida de explotación para los abonados ... y para el distribuidor.

Esquemas de neutro MT	Puntos fuertes	Puntos débiles
Neutro directo a tierra y distribuido	Permite la distribución en monofásico o trifásico	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ requiere numerosas tomas de tierra de buena calidad (seguridad)</li> <li>■ exige un plan de protección complejo</li> <li>■ provoca elevadas corrientes de defecto a tierra</li> </ul>
Neutro directo a tierra y no distribuido	facilita la detección de defectos a tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ provoca elevadas corriente de defecto a tierra</li> </ul>
Neutro aislado	limita las corrientes de los defecto a tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ produce sobretensiones más complejas</li> </ul>
Neutro sintonizado	favorece la autoextinción de la corriente de defecto a tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ requiere protecciones complejas</li> </ul>
Neutro impedante:		
(comparado con el neutro directo a tierra)	limita las corrientes de los defectos a tierra	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ requiere protecciones más complejas</li> </ul>
(comparado con el neutro aislado de tierra)	reduce las sobretensiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ provoca corrientes de defecto a tierra más elevadas</li> </ul>

Fig. 13: Síntesis de los puntos fuertes y débiles de las cinco escuelas de conexiones del neutro a tierra en MT.

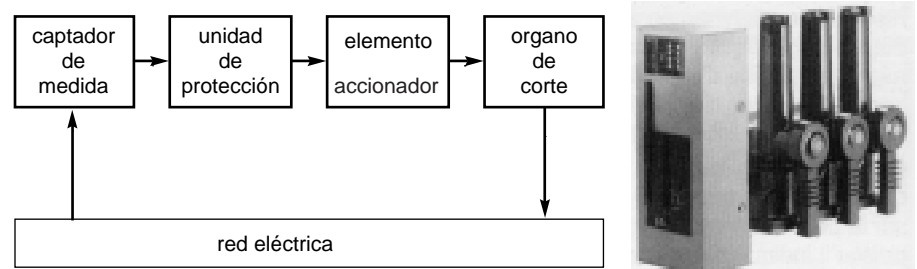


Fig. 14: Cadena de protección de MT, y fotografía de un SF Set (Merlin Gerin), un ejemplo de integración completa.

### Sensibilidad

Este criterio también tiene importancia en lo referente a la seguridad y la economía: se refiere a la facilidad para detectar pequeñas corrientes de defecto sin ser sensibles a los fenómenos transitorios debidos a las redes (maniobras) o a otros efectos electromagnéticos del entorno, y, por tanto, antes de la existencia de peligro para las personas y los bienes, y esto sin provocar disparos intempestivos.

### Selectividad

Este criterio se toma en cuenta sobre todo en lo referente a economía de

explotación, ya que indica en qué medida es posible mantener en servicio el máximo de la red cuando uno de sus elementos está afectado por un funcionamiento anormal. En la práctica, lleva a eliminar este elemento defectuoso y únicamente éste (anexo 2: las distintas técnicas de selectividad).

### Rapidez

Al igual que el anterior, este criterio tiene una incidencia económica: permite limitar los daños debidos a arcos eléctricos y corrientes de cortocircuito; en particular, reduce los riesgos de incendio y los costes de reparación.



## **Evolutividad**

Este criterio que interesa en especial al distribuidor indica el nivel previsto de evoluciones (posibilidades y facilidades) para el plan de protección en función de las modificaciones de la topología de la red.

Entre todos estos criterios, el de la selectividad es el que lleva a soluciones técnicas más específicas según los países. Dependen de dos elecciones iniciales de los distribuidores de energía:

- el del esquema de conexión del neutro a tierra, a partir del cual son definidas, en particular, las protecciones contra los defectos a tierra (ver § anterior),
- y el del principio de selectividad entre los cuales el más utilizado, denominado selectividad amperi-

cronométrica, se basa en una asociación del valor de la corriente de defecto (selectividad amperimétrica) con un valor del tiempo de disparo (selectividad cronométrica). Pero en una misma red pueden coexistir varias técnicas. En Sudáfrica por ejemplo la E.S.C.O.M. utiliza en una misma red la selectividad ampericronométrica, el diferencial de línea entre los centros de AT/MT y los centros de MT/MT y el diferencial para los transformadores de AT/MT. Por último, la técnica de selectividad de distancia es utilizada principalmente por los distribuidores alemanes.

## **Plan de control y mando**

Bajo los términos de control y mando se agrupan todos los elementos relacionados con la explotación de las redes.

Un plan de control y mando define el conjunto de estos elementos y la organización de su funcionamiento relativo. Por esto, el plan de control y mando de una red debe permitir al explotador (el distribuidor) tener en cuenta las tres situaciones:

- en explotación normal,
- en situación de defecto,
- en mantenimiento (con o sin tensión).

Por último, los útiles de explotación empleados en este plan van a contribuir fuertemente a la calidad de servicio lograda. Estos útiles van desde el botón-pulsador de mando de un aparato de MT hasta el centro de control de la red de MT, del amperímetro en una celda de MT, al trazado automático de una curva de carga a distancia de una salida de MT, etc...

## 4 Distribución pública de MT

Este capítulo es un repaso de los principales centros instalados en las redes de MT, y de las principales tecnologías utilizadas en cuanto a los materiales de MT. Se termina con esquemas que ilustran más concretamente sus aplicaciones.

### Los centros en las redes MT

Un centro es una entidad física definida por su localización y funcionalidades en las redes eléctricas.

La misión de un centro consiste ante todo en asegurar la transición entre dos niveles de tensión y/o alimentar al usuario final.

#### La subestación AT/MT en la distribución pública

Este conjunto se puede encontrar en la estructura eléctrica de todos los países; se sitúa siempre entre la red de reparto y la distribución de MT.

Su función consiste en asegurar el paso de la AT ( $\approx 100$  kV) a la MT ( $\approx 10$  kV).

Su esquema tipo (figura 15) comprende dos llegadas de AT, dos transformadores AT/MT, y de 10 a 20 salidas de MT. Estas salidas alimentan líneas en sistema aéreo y/o cables subterráneos.

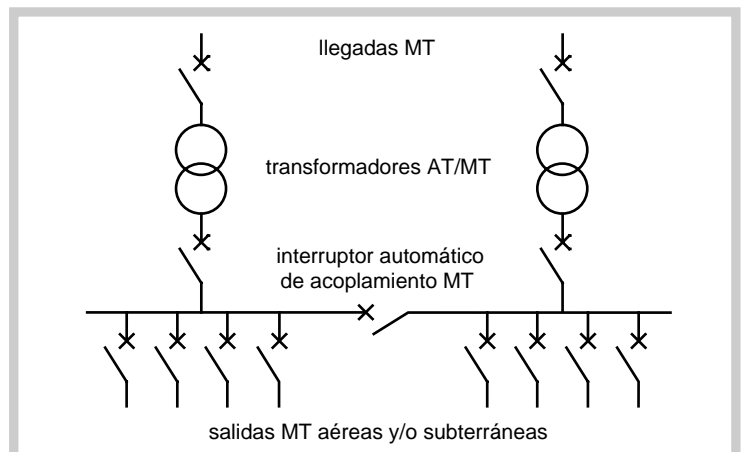
#### El centro MT/MT en la distribución pública

Este conjunto puede tener dos funciones:

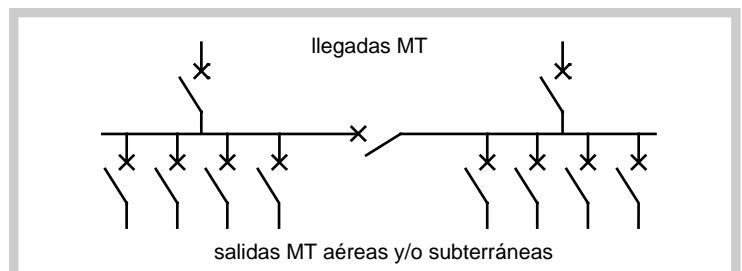
- asegurar la multiplicación de las salidas de MT aguas abajo de las subestaciones AT/MT (figura 15). En este caso, el centro no comprende ningún transformador. Se compone de las llegadas de MT y de 8 a 12 salidas de MT. Este tipo de centro está presente en algunos países, como España, Bélgica, y Sudáfrica.

- asegurar el paso entre dos niveles de MT. Estos centros de MT/MT incluyen transformadores. Son necesarios en algunos países que utilizan dos niveles sucesivos de

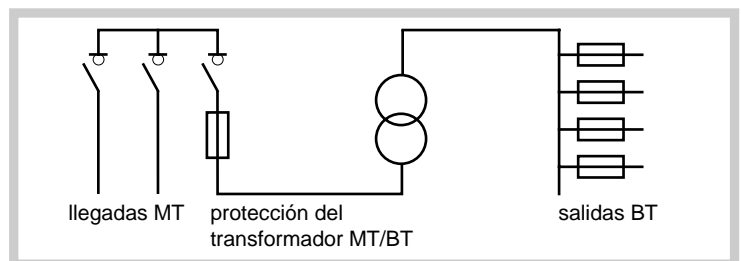
subestación  
AT/MT



centro  
MT/MT



centro  
MT/BT



centro de  
entrada  
para un  
abonado  
MT

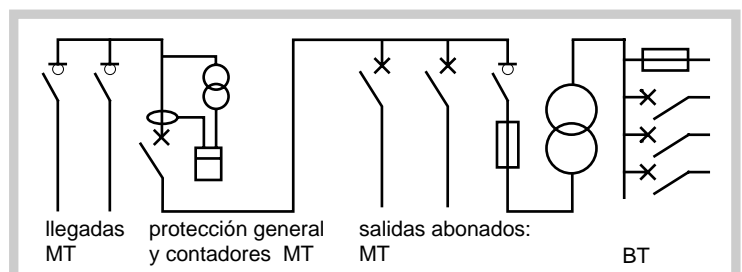


Fig. 15: Distintos tipos de esquemas de centros utilizados en las redes de distribución pública.

tensión en su red de MT. Es el caso, por ejemplo, de Gran Bretaña donde la red de MT se divide en dos niveles con la de 11 kV y la de 33 kV.

Su esquema tipo es semejante al de la subestación AT/MT.

### El centro MT/BT en la distribución pública

Este conjunto, situado entre la red de distribución de MT y la de distribución de BT, asegura el paso de la MT ( $\approx 10$  kV) a la BT ( $\approx 100$  kV).

El esquema tipo de este centro (figura 15) es obviamente mucho más sencillo que el de las obras anteriores. En particular, el aparato de base de MT que se utiliza es el interruptor y ya no el interruptor automático.

Estos centros comprenden cuatro partes:

- el equipo MT para la conexión con la red aguas arriba,
- el transformador de distribución MT/BT,
- el cuadro de las salidas de BT como punto de unión con la red aguas arriba de distribución (en BT),
- y cada vez más frecuentemente una envolvente exterior prefabricada (metálica o cada vez más de hormigón) que contiene los elementos anteriores.

### El centro de suministro para un abonado de AT o de MT

Estas obras aseguran el paso de la distribución pública a la distribución privada. Permiten la conexión:

- a la red de repartición de AT de un abonado con gran consumo ( $\approx$  MVA) a través de un centro de AT/MT,
- a la red de distribución de MT de un abonado con un consumo mediano (100 kVA) a través de un centro de MT/BT.

Para un abonado, la elección de la tensión de conexión a la red de distribución pública depende esencialmente de:

- la calidad de la red de BT, en particular de un límite en potencia (niveles eléctricos);
  - la política del distribuidor, en particular de la tarificación que propone porque, para el abonado, define el interés económico de la energía eléctrica, en competencia con otras fuentes de energía: fuel, gas, ...
- En la práctica, es la potencia suscrita por el abonado la que define la conexión en BT o MT, con valores muy diferentes según los países. Por ejemplo, en Francia, se alimenta en MT a los abonados a partir de 250 kVA, mientras que en Italia, este umbral está más próximo a algunas decenas de kVA. Por el contrario, es muy elevado en EE.UU. donde un cliente puede ser alimentado en BT hasta 2.500 kVA. En caso de suministro a los abonados en AT, el esquema del centro se concibe específicamente. Pero si el abonado está alimentado en MT, se puede proponer un esquema tipo (figura 15). Sin embargo la instalación de tal centro está obviamente ligada a un acuerdo del distribuidor que puede tener especificaciones propias (cuadro de contadores, condiciones de explotación,...).

### Otros montajes de MT

Además de los centros ya mencionados, existen otras obras de MT situadas esencialmente en las redes aéreas. Suelen ser monofunción y destinadas:

- ya sea a la protección, como los fusibles y reclosers (**terminología**)
- ya sea a la explotación, como los interruptores teledemandados.

El interruptor de MT teledemandado entra en el marco de la telegestión de las redes. Permite operaciones de reconfiguración rápida sin que el usuario tenga que desplazarse.

### La apartamentación de MT (anexo 1)

La apartamentación de MT permite realizar las tres funciones de base siguientes:

- el seccionamiento, que consiste en aislar una parte de la red para trabajar en ella, con seguridad total,
- el mando, que consiste en abrir o cerrar un circuito en sus condiciones normales de explotación,
- la protección, que consiste en aislar una parte de la red en situación anormal.

Se presenta esencialmente bajo tres formas:

- aparatos por separado (figura 16) (fijados directamente en una pared y cuyo acceso está protegido por una reja),
- envolventes metálicas (o celdas de MT) que contienen estos aparatos,
- cuadros MT que son asociaciones de varias celdas.

Se utilizan cada vez menos los aparatos por separado: sólo algunos países, como Turquía o Bélgica, siguen utilizando esta tecnología.

Entre todos los aparatos existentes, dos de ellos se utilizan más especialmente en la apartamentación de MT. Se trata del interruptor automático y del interruptor. Casi siempre son completados por otros aparatos (unidades de protección, control y mando, captadores de medida,...) que componen su equipo asociado.

- Interruptor automático de MT

Este aparato, cuya función principal es la protección, asegura también la

aparato MT / función	seccionador	interruptor	interruptor automático	interruptor seccionador	int. aut. desenchufable	fusible
seccionamiento	■			■	■	
mando		■	■	■	■	
protección			■		■	■

Fig. 16: Las distintas funciones de los aparatos de MT utilizados en la distribución pública (los contactores se utilizan esencialmente en la industria).

función mando y, según su tipo de instalación, el seccionamiento, (desenchufable, **terminología**).

Los interruptores automáticos de M.T. están casi siempre montados en una celda de MT.

■ Interruptor de MT

Este aparato cuya función principal es el mando, suele asegurar a menudo el seccionamiento. Además, es completado con fusibles de MT para asegurar la protección de los transformadores de MT/BT (el 30% de las utilidades de los interruptores de MT).

En cuanto a las celdas de MT, sus envolventes metálicas están especificadas en la publicación CEI 298 que distingue cuatro tipos de aparamenta, cada tipo correspondiendo a un nivel de protección contra la propagación de un defecto en la celda.

Esta protección realizada mediante unas separaciones en la celda prevé tres compartimentos de base (**figura 17**):

- el compartimento de aparamenta que contiene el aparato (interruptor automático de MT, interruptor de MT...),
- el compartimento de juego de barras de MT, para las conexiones eléctricas entre varias celdas de MT agrupadas en cuadros,
- el compartimento de conexiones a los cables de MT, a menudo previsto para recibir captadores de medida.

A menudo, un cuarto compartimento completa este conjunto, se trata del compartimento de control (o de BT) que contiene las unidades de protección, control y mando.

Además de esta clasificación debe subrayarse la distinción entre Fijo y Desenchufable (**terminología**) que se aplica al aparato y a la celda de MT. Esta distinción unida a la facilidad de explotación (función del tiempo de intervención para cambiar un aparato), interviene sólo indirectamente en la noción de seguridad de la red.

Para realizar las celdas de MT, los cuatro tipos de aparamenta definidos por la CEI 298 son los siguientes:

■ la aparamenta COMPACTA con compartimentos más o menos distintos;

■ la aparamenta COMPARTIMENTADA para la cual únicamente la envolvente exterior es obligatoriamente metálica, tiene sus tres compartimentos realizados por separaciones metálicas o aislantes;

■ la aparamenta BLINDADA tiene también compartimentos distintos pero con separaciones obligatoriamente metálicas,

■ la aparamenta GIS (Gas Insulated Switchgear) que está herméticamente cerrada y en la cual los compartimentos ya no tienen un papel preponderante de seguridad. La GIS incorpora esencialmente interruptores automáticos.

Esta tecnología se emplea también para los interruptores en forma de RMU (Ring Main Unit). Permite asegurar las tres funciones tipo de un centro MT/BT conectado a una red en corte de arteria (dos interruptores de conexión a la red más un interruptor-fusible o un interruptor automático como protección del transformador de MT/BT).

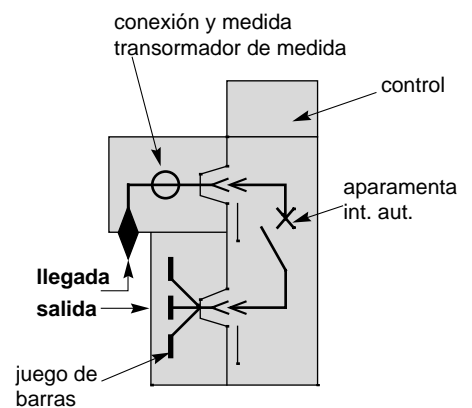
El cuadro de la **figura 18** indica las aparamentas más frecuentemente utilizadas en función de los tipos de centro, mientras que el cuadro de la **figura 19** muestra la situación actual y las distintas tendencias de las técnicas utilizadas para el corte en MT.

## Un esquema francés y otro norteamericano

Estos dos ejemplo típicos son propuestos para ilustrar concretamente los elementos presentados en este capítulo y resaltar la diversidad de las soluciones en el mundo. Obviamente, existen, otros esquemas, incluso en estos dos países.

### Esquema unifilar aéreo de EDF (Francia) (**figura 20**)

Este esquema aplica los principios siguientes:



**Fig. 17:** Los distintos compartimentos de una celda de MT, bajo envolvente metálica, y sus principales elementos.

centro \ aparamenta	AT/MT público	MT/MT público	MT/BT público	AT/MT abonado	MT/BT abonado
mampostería (aparato por separado)			I		I
compacta		A o I	I	A	I o A
compartimentada		A o I	I	A	I o A
blindada	A	A		A	
GIS	A			A	
RMU			I		I

I = con interruptor

A = con interruptor automático

**Fig. 18:** Principales aplicaciones de las aparamentas de MT.

- en la subestación AT/MT, puesta a tierra del punto neutro a través de una impedancia que limita la corriente de defecto fase-tierra a 300 A en 20 kV,
- líneas de MT trifásicas, neutro no distribuido,
- esquema radial (en antena).

Este concepto permite detectar a nivel de las salidas de MT, en la subestación AT/MT, todos los defectos a tierra, y esto sin ningún otro órgano de protección de MT aguas abajo de la subestación.

De esto se deriva un plan de protección, control y mando fácil de diseñar, explotar y de evolucionar.

La protección de personas está asegurada de la mejor manera.

Sin embargo, la calidad de servicio obtenida es mediana debido a que cada salida de MT, a nivel del centro AT/MT, está sujeta a una sola protección: en caso de disparo de esta protección, toda la red situada aguas abajo de esta salida de MT queda desconectada.

Existen soluciones para remediar este punto débil. Se basan en la utilización de materiales complementarios tales como interruptores teledirigidos hoy en día, e interruptores automáticos con reenganchador en las redes de mañana.

### Esquema unifilar aéreo norteamericano (figura 21)

Este concepto se presenta a veces en los países bajo influencia norteamericana (ej.: Túnez). Se basa en los principios siguientes:

- distribución máxima en MT, limitando la longitud de las salidas de BT para reducir las pérdidas,
- distribución del neutro de MT con una puesta a tierra regular (ej.: cada 300 metros),
- líneas de MT trifásicas en la red principal, con derivación en trifásico, bifásico o monofásico para los suministros de MT/BT.

Este concepto reduce el coste de las líneas, las pérdidas y sobretensiones debidas a los defectos, pero requiere puestas a tierra del neutro de gran calidad.

	aire	aceite	SF6	vacío
interruptor MT	■ ■ ↘	■ ↘	■ ■ ↗	
int. aut. MT		■ ↘	■ ■ ■ ↗	■ ■ ↘

Fig. 19: Técnicas de corte de los aparatos de MT, su importancia relativa y la evolución de su empleo.

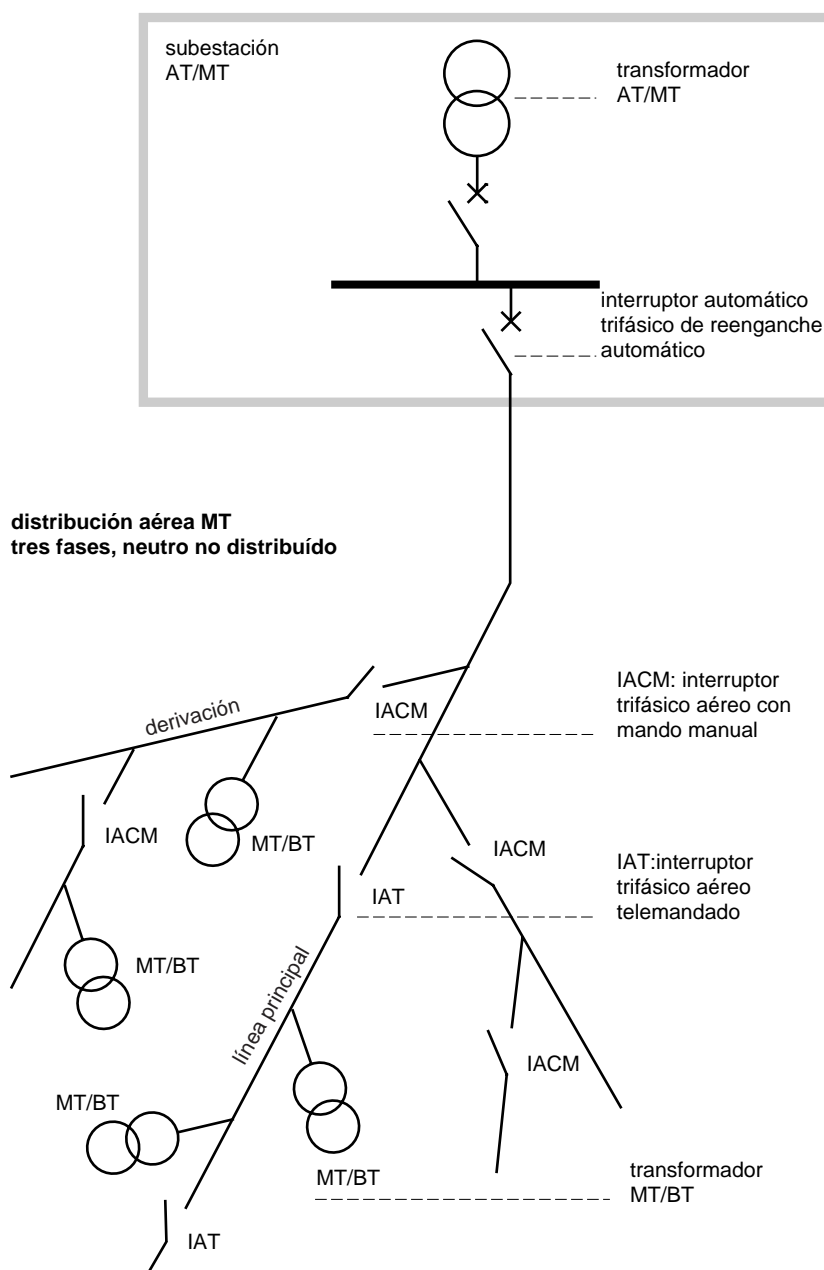


Fig. 20: Esquema de distribución aérea de MT. (EDF - Francia).

Para obtener un grado satisfactorio de protección de las personas, es necesario incluir numerosos aparatos de MT (fusibles, reclosers, seccionadores -terminología-). Sin embargo, en algunos casos, la aparatada de protección se reduce a fusibles de tipo cut-out (terminología), limitando de este modo la inversión financiera, pero en

decremento de las prestaciones y de la seguridad (riesgo de incendio). La concepción del plan de protección, control y mando es complejo a nivel de selectividad entre los distintos órganos de protección. Asimismo, la explotación y mantenimiento de tales redes son más exigentes que para las redes realizadas según el esquema EDF:

- se requiere un personal muy cualificado (mantenimiento de la aparatada, regulación de las protecciones,...)
  - deben preverse importantes stocks de recambios (distintos calibres de fusibles,...).
- Esta solución se justifica sobre todo en los países de gran superficie y con escasa densidad de carga (ej. EE.UU y Canadá en medio rural).

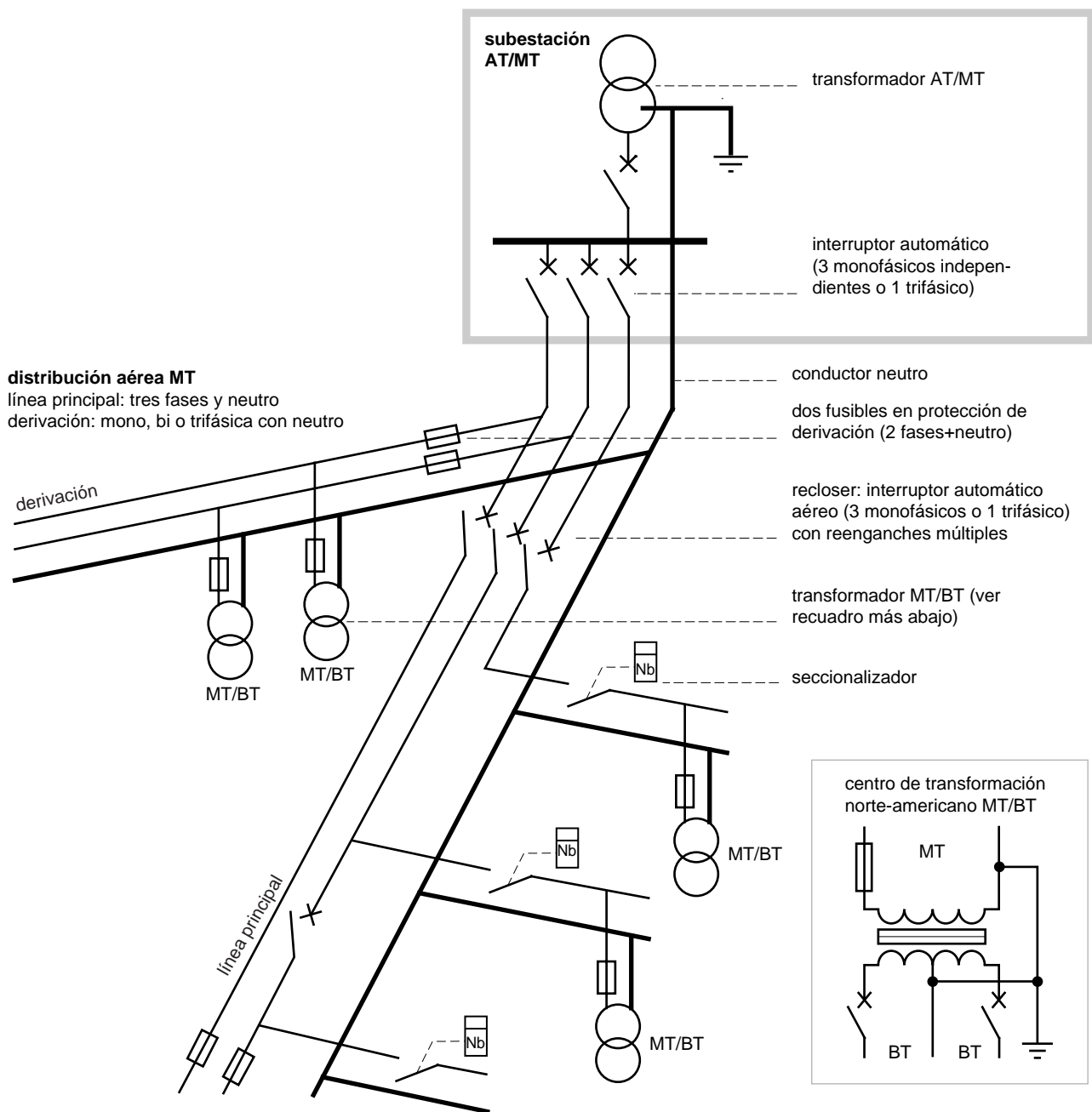


Fig. 21: Esquema (detallado por fase) de distribución MT aérea norteamericana.

## 5 Protección, control y mando de las redes de MT

La aparición de las técnicas numéricas a base de microprocesadores ha modificado considerablemente las soluciones utilizadas para la concepción de los planes de protección, control y mando. Este capítulo presenta las últimas evoluciones y contempla algunas perspectivas de porvenir de estas funciones, cada vez más complejas, explotadas en las redes de MT. Muestra también la importancia de esta nueva disciplina que es la compatibilidad electromagnética (CEM).

### Las tecnologías de las unidades de protección de MT

Una unidad de protección, o relé de MT. (**anexo 1**), tiene como misión:

- vigilar permanentemente distintos parámetros de una sección de red (líneas, cable o transformador),
- actuar en situación anormal,
- y cada vez más, transmitir informaciones para la explotación de la red.

Para ello, analiza los valores de las magnitudes magnéticas que le son proporcionadas por los captadores de medida, y da las órdenes de funcionamiento a los circuitos de disparo.

Durante mucho tiempo limitadas a la tecnología electromecánica, las unidades de protección de MT conocen hoy en día una evolución fundamental con la utilización de los microprocesadores.

Los materiales disponibles hasta hoy se basan en tres tecnologías: electromecánica, analógica y numérica. La más antigua es la tecnología electromecánica, los relés son simples y especializados (control de la corriente, tensión, frecuencia) pero de escasa precisión; sus regulaciones son susceptibles de desviación en el tiempo.

La tecnología electrónica analógica (transistor), más reciente, ha traído precisión y fiabilidad.

Por último, en los años 80, la tecnología numérica ha permitido, gracias a la potencia de tratamiento de los microprocesadores, realizar unidades de tratamiento de la información (**figura 22**) que pueden:

- asegurar globalmente las distintas protecciones,
- sustituir los relés (automatismo) de la celda,
- proporcionar al usuario la medida de los parámetros eléctricos.

Estas unidades con vocación ampliada son:

- flexibles (la elección de las protecciones se hace por simple programación),
- parametrables (mayores posibilidades de regulaciones),
- fiables (están equipadas con dispositivos de autovigilancia o «perro guardián» y de auto-test,
- económicas (su cableado y tiempo de instalación son reducidos).

Además, gracias a algoritmos elaborados, y a sus comunicaciones numéricas, permiten realizar funciones adicionales tales como la selectividad lógica.

Aprovechando esta capacidad de comunicación, ahora puede realizarse una verdadera gestión de red (similar a la gestión técnica de una instalación industrial).

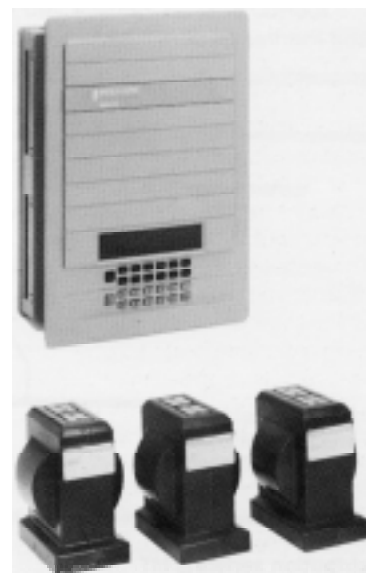
En el campo de los captadores, y en particular de corriente, se afirma la tendencia a emplear captadores con amplia banda de medida en lugar de los transformadores de intensidad (1 ó 5 A). Tales captadores concebidos para la aplicación del principio de Rogowski (captador amagnético) se comercializan. Aportan a los distribuidores soluciones optimizadas (reducción de las variantes y facilidad de elección, que tienen prestaciones mucho mejores

(mejor linealidad de la curva de respuesta) que los transformadores tradicionales.

### Compatibilidad electromagnética

La CEM se define como capacidad de un dispositivo, equipo o sistema, para funcionar de modo satisfactorio en un entorno electromagnético sin influenciar a este entorno; dicho entorno puede incluir otros dispositivos más o menos sensibles.

Con el desarrollo de las técnicas numéricas y la necesaria cohabitación de los materiales de MT (tensión e intensidad de elevados valores en particular en el momento de sus maniobras) y de los dispositivos de protección, control y mando basados en la electrónica (bajo nivel de tensión y fuerte sensibilidad a las radiaciones electromagnéticas), Merlin Gerin, para desarrollar sus nuevos productos, ha tenido que estudiar en



**Fig. 22:** SEPAM, unidad de protección, control y mando con sus tres captadores amagnéticos (Merlin Gerin).

profundidad y luego aplicar esta disciplina que es la CEM. Además para satisfacer las exigencias de los distribuidores (seguridad de funcionamiento) ha sido necesario efectuar ensayos más rigurosos que los definidos en las recientes normas actualmente vigentes (**anexo 1**) que precisan los límites de perturbaciones aceptables:

- por ejemplo, para los aparatos de medida, la norma CEI 801-3 preconiza ensayos en la banda de frecuencias 27 MHz - 500 MHz y tres niveles de severidad (1, 3, 10 V/m) mientras que las condiciones de ensayo en los laboratorios de Merlin Gerin son mucho más severas: la gama de frecuencias cubiertas se extiende de 10 kHz a 1 GHz; además desde 27 MHz hasta 1 GHz los aparatos pueden ser ensayados con campos que alcanzan 30 V/m. (Ver también el CT n° 149),

- y para los materiales de MT, algunos ensayos se realizan en cuadros completos (aparamenta de MT y unidad de protección) en situación real de explotación.

Pero a pesar de que la CEM se tome en cuenta en todas las fases de desarrollo y fabricación de los aparatos, para realizar un equipo perfectamente operacional, debe también aplicarse en las fases de instalación y de cableado en la obra.

## Aplicaciones del control y mando en MT

### Hacia una explotación centralizada

La telegestión consiste en agrupar en uno o varios puntos todo lo que es necesario para el control y mando a distancia de una red de MT (**figura 23**). Estos puntos de reagrupamiento son centros de gestión fija o móvil (a bordo de un vehículo). Se denominan también, según los distribuidores, centro de gestión, dispatching o SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

Para tomar en cuenta las necesidades específicas de la gestión de estas redes de distribución de MT, estos centros de gestión son distintos de los utilizados en las redes de transporte y de

reparto. La multiplicidad y dispersión geográfica de los puntos de telegestión, la gestión de varios centros de gestión simultáneos, el número y la cualificación de los explotadores requieren soluciones adaptadas:

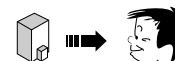
- ergonomía y compenetración de los centros de trabajo,
- herramientas de ayuda a la gestión,
- herramientas de configuración (**terminología**) de los centros de gestión,
- gestión de los distintos soportes de transmisión utilizados.

En la práctica, el término telegestión engloba las funciones de teleseñali-

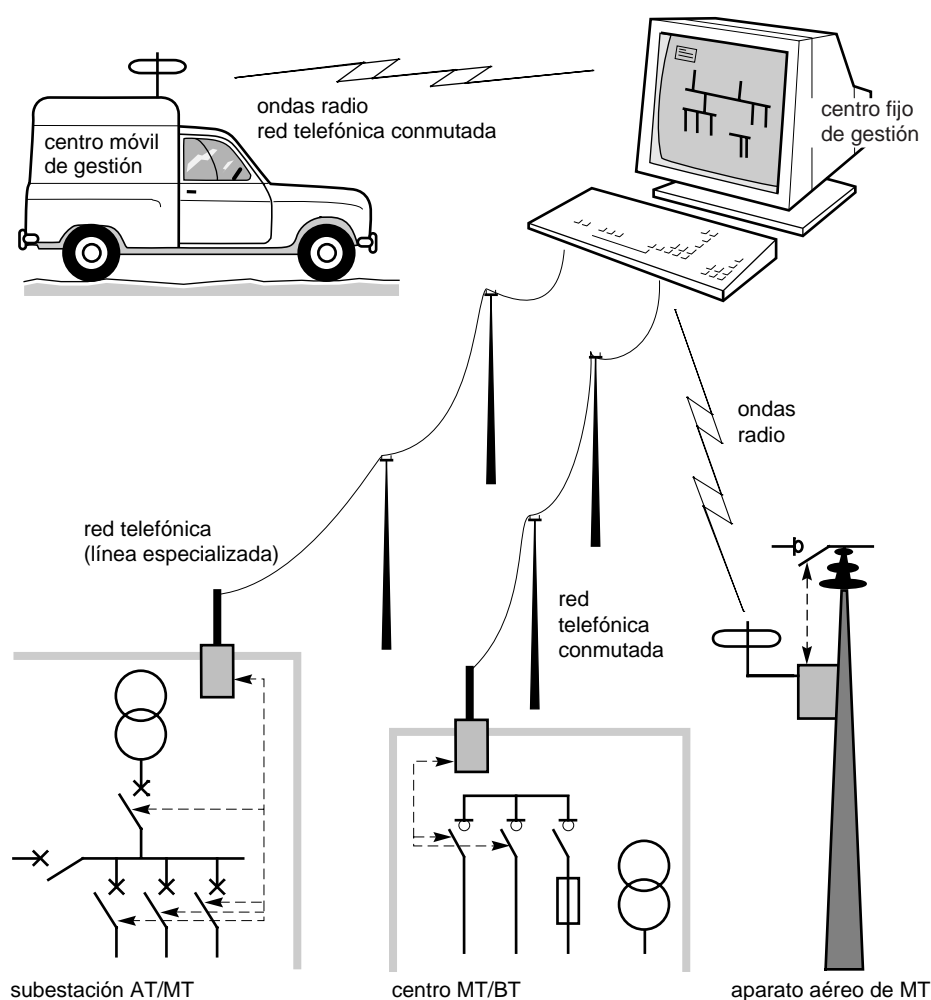
zación, televigilancia, teledirigida y telemando. Estas funciones pueden repartirse en dos grupos relacionados con el sentido de transmisión entre el explotador y la red:

- televigilancia, de los aparatos hacia el explotador (**figura 24**),
- telemando, del explotador hacia los aparatos.

### Televigilancia



Por su parte, reagrupa las señalizaciones de posición de los distintos aparatos de MT, su eventual disparo en caso de defecto, la medida de los consumos instantáneos o ponderados en las distintas partes de la red eléctrica y



**Fig. 23:** Ejemplo de telegestión de una red de MT, con las distintas conexiones necesarias para los intercambios de información.



cualquier otra información que permita saber el estado actualizado de la red. Permite, por ejemplo, imprimir automáticamente (consignación) y de modo continuo, cuando ocurren o temporalmente, todos los acontecimientos necesarios para gestionar la red en tiempo real o para analizarla posteriormente.

Todas estas informaciones con su modo de restitución, se definen en el momento de la concepción del plan de control y mando. En particular las imágenes sinópticas se crean en función de la instalación real y de las necesidades del usuario. Además, son animadas en tiempo real. De este modo, el usuario puede visualizar:

- los esquemas de explotación (red eléctrica, centro, celda MT, ...);
- el estado de la instalación (posición de los aparatos de MT, ...);
- los valores de las magnitudes de explotación (corrientes, tensiones, potencias, ...);
- los valores de regulación de las protecciones de MT;
- el contenido detallado de las alarmas, con su cronología de aparición;
- ...

### Telemando



El mando a distancia de la apertura y cierre de los aparatos de potencia es el ejemplo elemental del telemando. Su aplicación práctica concierne los interruptores e interruptores automáticos de MT telemandados. Otras acciones pueden ser telemandadas: regulaciones, automatismo, ...

Las órdenes de telemando deben ser ejecutadas con el máximo de seguridad. Lo que se obtiene mediante la utilización de una red de comunicación de altas prestaciones, permitiendo disponer de las informaciones necesarias en tiempo real. De este modo, una orden de maniobra de un aparato de MT se transmite a través de un telemando doble (TMD), y se confirma por la vuelta de una teleseñalización doble (TSD).

Los procedimientos de telemando integran también solicitudes de validación y confirmación antes de ejecutar una orden de maniobra.

### Telegestión

En la distribución de MT es una fuente de ahorros a nivel de explotación de la red. En efecto, sin tener que desplazarse, el explotador puede permanentemente controlar e intervenir en el funcionamiento de su red. Por ejemplo: a consecuencia de un defecto, es posible cambiar rápidamente el esquema de explotación de la red para que esta parte de red no alimentada sea mínima, y esto, consultando a distancia los indicadores de localización de defecto (**léxico**) instalados en distintos lugares de la red de MT, y luego actuando sobre los interruptores de MT telemandados. De todo ello resulta una fuerte reducción de la energía no distribuida, y también una optimización de esta red con

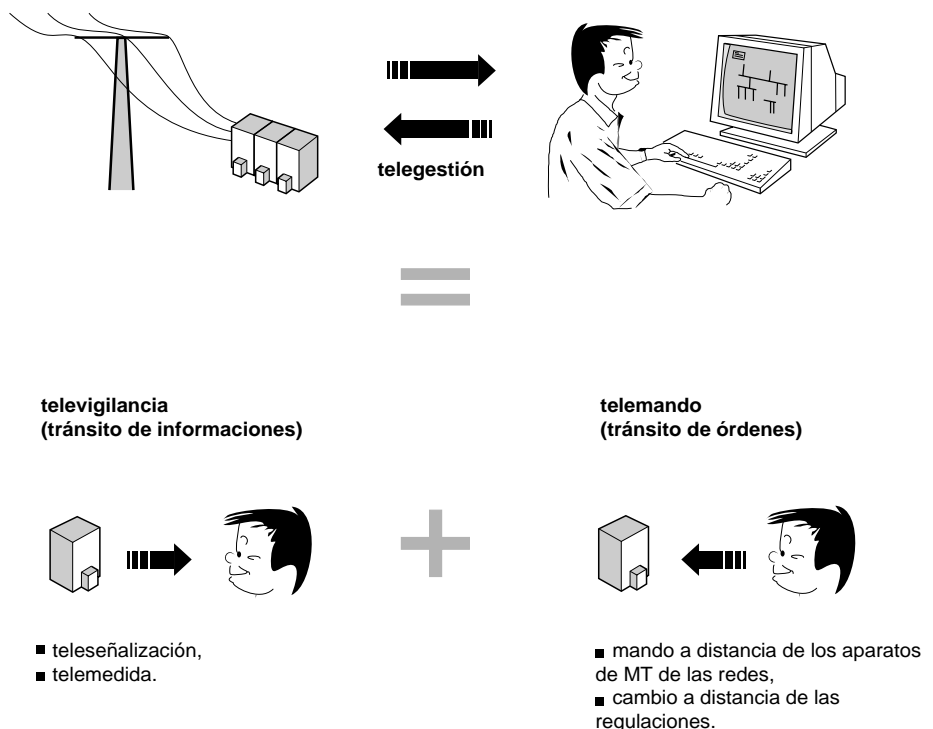
posibilidad de gestionar del mejor modo la repartición de las cargas. La carga de la red puede también ser objeto de análisis.

En particular, a partir de la consignación de la curva de carga, dichos análisis permiten comprobar y optimizar los consumos de energía.

Por último, para una mayor eficacia, el operador puede disponer rápidamente de la información más pertinente a través de un pre-tratamiento automático, tal como operación de selección, puesta en forma gráfica, cálculo, ...

### Gestión automática de las fuentes de energía

Esta gestión, cuyo objetivo es mejorar la calidad de servicio mediante la continuidad de alimentación en la red, tiene como principal aplicación la permutación entre las distintas fuentes de energía eléctrica. Esta aplicación, a base de automatismos, se realiza a través de las unidades de control y mando.



**Fig. 24:** Varias funciones, reagrupadas aquí según el sentido de sus transmisiones entre el explotador y la red, son necesarias para realizar la telegestión.

La topología en doble derivación utilizada por EDF en algunas de sus redes subterráneas es un ejemplo de ello.

## Arquitectura de control y mando en MT

La llegada de las tecnologías numéricas ha modificado considerablemente las soluciones utilizadas para el control y mando en MT. En particular, la facilidad de disponer de unidades de protección, control y mando numéricas con poco volumen y coste razonable permite, con una gestión de explotación centralizada, utilizar hoy inteligencias locales. Esta evolución ofrece las ventajas siguientes:

- palia los inconvenientes de una inteligencia concentrada en un solo punto. En efecto, un fallo de este

punto sería catastrófico para el conjunto de la explotación de la red eléctrica,

- ofrece la ventaja de un mejor mantenimiento y de una flexibilidad de funcionamiento incrementada.

Las redes eléctricas, cualquiera que sea su esquema, se prestan totalmente a esta evolución. Por esto, a pesar de la diversidad de los métodos de explotación, es lógico ver desarrollarse una jerarquización de las funciones del control y mando en MT.

Con este propósito, un plan de control y mando en MT define:

- las funciones a realizar,
- su localización jerárquica,
- y su localización geográfica.

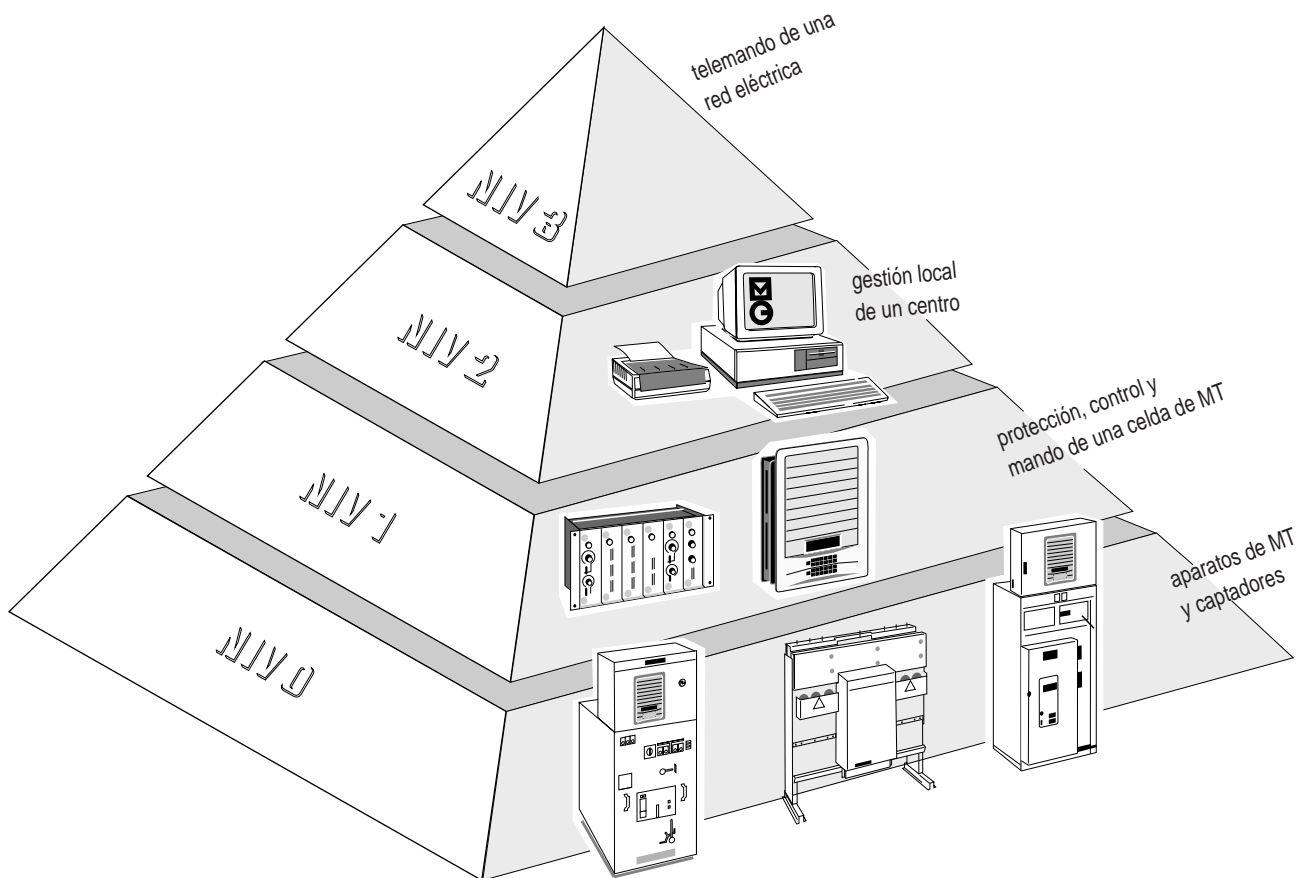
Puede estudiarse siempre según 4 niveles (**figura 25**):

- nivel 0: aparatos de MT y captadores,
- nivel 1: protección, control y mando de una celda de MT,
- nivel 2: gestión local de un centro de transformación,
- nivel 3: telegestión de una red de MT (aplicación E.D.F. **anexo 3**).

El conjunto constituye una arquitectura de control y mando en MT, cuyo funcionamiento está basado en numerosos intercambios de informaciones entre los distintos niveles jerárquicos. Estas informaciones son esencialmente las siguientes:

- teleseñalizaciones,
- telemidas,
- telemandos.

Sus intercambios pueden producirse en permanencia o a consecuencia de un suceso (incidente en la red, orden de maniobra, ...); necesitan redes de comunicación eficaces.



**Fig. 25:** Los distintos niveles jerárquicos de las funciones del control y mando de MT.

## Las redes de comunicación

Todos estos intercambios se reagrupan en la función teletransmisión definida por los parámetros siguientes:

- su organización,
- sus soportes materiales,
- su protocolo de comunicación.

El conjunto de estos parámetros permite garantizar que cualquier mensaje emitido se recibe correctamente (sin errores).

### Organización de las teletransmisiones

La solución más simple consiste en hacer comunicar dos emisores-receptores. Este sistema se queda rápidamente limitado en sus aplicaciones porque sólo se pueden enlazar dos puntos. Cuando varias unidades intervienen en el control y mando, la conexión punto por punto se vuelve insuficiente, de ahí la noción multi-puntos. En este caso, son posibles dos organizaciones:

- maestro - maestro:

Todas las unidades situadas en esta organización pueden tomar la iniciativa,

- maestro - esclavo:

La unidad de control y mando de nivel más elevado en la jerarquía de la arquitectura suele ser el maestro. Se encarga de gestionar todas las transmisiones; para ello, interroga a todos los esclavos uno tras otro, de modo continuo o a consecuencia de un acontecimiento. Los esclavos contestan a las interrogaciones y ejecutan las instrucciones dadas por el maestro.

Referente al control y mando de las redes eléctricas, la organización que suele utilizarse más a menudo y que es más segura es la de tipo maestro - esclavo.

En cuanto a la transmisión de los datos, es de tipo serie. Esto significa que las informaciones codificadas en binario (0/1) son enviadas unas tras otras en un mismo soporte. Las ventajas de esta transmisión son ante todo un cableado muy simple y una buena inmunidad a las perturbaciones exteriores.

### Soportes materiales de transmisión

La transmisión de las informaciones requiere también disponer de uno o varios soportes materiales.

En el caso del control y mando de las redes eléctricas, los soportes utilizados son los siguientes:

- par de hilos de transmisión, cable coaxial (conexiones telefónicas especializadas o red telefónica conmutada nacional),
- onda radio (haces hertzianos),
- cable de energía (caso de las ondas portadoras en la línea).

La fibra óptica está todavía en fase experimental porque, a pesar de su gran ventaja de ser insensible a las perturbaciones de naturaleza eléctrica, su coste de instalación sigue siendo un freno importante. En la gestión de carga de las redes, por ejemplo para el envío de las señales de cambio de tarifa por E.D.F. o el envío de órdenes de desconexión en los Estados Unidos. Pero están en fase experimental para otras aplicaciones, por ejemplo la telelectura de los contadores de energía o la reconfiguración de la red después de un defecto.

De hecho, hoy en día, no se impone ningún tipo de soporte; su elección depende de distintos criterios:

- número de informaciones a transmitir,
- frecuencia (número y periodicidad) de los intercambios,
- velocidad requerida para los intercambios,

- naturaleza de las informaciones,
- distancia de transmisión,
- relieve del terreno (ejemplo: zona montañosa),
- coste de la información intercambiada.

En la práctica, un distribuidor de energía eléctrica utiliza siempre distintos soportes:

- las líneas especializadas (2 hilos de transmisión) para el control y mando de las obras importantes (subestación AT/MT, centro MT/MT),
- las conexiones radioeléctricas o telefónicas para el control y mando de las obras secundarias (centro MT/BT e interruptor MT aéreo telemandado).

### Protocolos de transmisión

El protocolo es el lenguaje utilizado para intercambiar informaciones entre las distintas unidades de protección, control y mando en una arquitectura. Define la estructura de los mensajes intercambiados, tanto para la solicitud de información como para los mensajes de respuesta. Estos protocolos pueden ser específicos de un constructor de materiales (o de varios constructores) o estandarizados y normalizados. En lo que concierne a la distribución pública, en el concepto de arquitectura presentado anteriormente y que va generalizándose, los distribuidores se esfuerzan en normalizar los protocolos entre los niveles 2 y 3. En cambio, las transmisiones internas de las apartamentos quedan a la iniciativa de sus constructores.

Dialogar según el protocolo elegido en una arquitectura es una condición indispensable para que un material pueda integrarse a dicha arquitectura.

## 6 Conclusión

Lo que destaca de las situaciones actuales es la diversidad según los países:

- diversidad de los esquemas eléctricos y de su protección,
- diversidad de las elecciones técnicas de base,
- diversidad de los modos de explotación.

Sin embargo, el conjunto de los distribuidores pronostica dos importantes evoluciones a largo plazo: la evolución hacia un sistema de MT y la evolución hacia la gestión automática de las redes de MT.

### **Evolución hacia un sistema de MT**

Como se ha visto en las páginas anteriores, una red de distribución eléctrica de MT se realiza a través de la imbricación de dos redes:

- la red de energía, cuyo objetivo consiste en transportar la electricidad hacia los puntos usuarios. Se concreta con el esquema unifilar y se compone de aparatos electrotécnicos, transformadores, cables, ...

- la red de información, cuyo objetivo es tratar correctamente los datos para conseguir una mayor seguridad y disponibilidad total de dicha red.

Concretada por los planes de protección, control y mando, esta red se compone de unidades de protección, control y mando que, asociadas entre sí por una red de comunicación de altas prestaciones, se localizan:

- a nivel de los aparatos de MT,
- a nivel de los centros,
- a nivel de la propia red eléctrica.

Así es como, desde la concepción a la explotación de una red eléctrica, «el Hombre Media Tensión» se convierte en un «Hombre Sistema».

### **Evolución hacia la gestión automática de las redes de MT**

Después de las revoluciones agrícolas e industriales, la de la comunicación crea nuevas necesidades y nuevas soluciones y esto, de modo irreversible. La etapa siguiente será la utilización de sistemas expertos para analizar y explotar automáticamente las redes. Esta evolución es ya objeto de experiencias por algunos distribuidores, por ejemplo TEPCO en Japón.

Pero lo que frena esta futura evolución es el estado de las redes existentes. En efecto, éstas no han sido concebidas en una óptica de explotación automatizada: sus esquemas complejos y no repetitivos no facilitan un análisis racional.

Los distribuidores se han percatado de este obstáculo. Por esto, en sus orientaciones a largo plazo, la simplificación y racionalización de los esquemas de las redes aparecen como nuevos objetivos que requieren largas y costosas inversiones. Sin esperar esta futura etapa, experimentan permanentemente soluciones adaptadas a los esquemas actuales de sus redes de MT.

Asimismo, los constructores utilizan las más recientes tecnologías para que los distribuidores puedan beneficiarse de ellas.

Obviamente, el «Hombre», deberá siempre guardar el dominio de tales Sistemas. Y mientras los tratamientos de la información nacidos de la informática aportan ya a los distribuidores de energía un mayor conocimiento y comprensión de sus redes eléctricas, los años futuros aportarán soluciones innovadoras que contribuirán a alcanzar el objetivo principal: satisfacer las necesidades de los consumidores de energía eléctrica, con una calidad de servicio óptima.

## Anexo 1: Algunas normas para productos de MT

La diversidad de los materiales citados en este Cuaderno Técnico no permite indicar todas las normas internacionales y/o nacionales que se refieren a ellos.

A título de ejemplo, indicamos aquí algunas normas:

■ relativas a los aparatos de corte de MT:

CEI 56 y 694,  
CEI 470 para los contactores,  
UTE C 64-100 y C 64-101,  
VDE 0670,  
BS 5311,  
ANSI C37-06 para los interruptores automáticos.

■ relativas a los Ring Main Unit:

CEI 129, 265, 298 y 420,  
UTE C 64-130, C 64-131 y C 64-400,  
VDE 0670,  
BS 5227.

■ relativas a las unidades de protección:

CEI 68,  
CEI 255,  
CEI 655,  
NF C 20-455,  
NF C 63-850.

■ relativas a la compatibilidad electromagnética:

□ referentes a la sensibilidad a las perturbaciones

CEI 801 - capítulos 1 a 4,  
NF C 46-020 a 023;

□ referentes a la emisión de perturbaciones

EN 55.022,  
NF C 91-022.

## Anexo 2: Las distintas técnicas de selectividad

### Recordatorio

Cuando aparece un defecto en una red eléctrica, varios órganos de protección situados en distintas zonas pueden detectar simultáneamente esta anomalía.

La selectividad del plan de protección permite hacer funcionar en prioridad el órgano situado más cerca, aguas arriba, del defecto. De este modo, el corte de alimentación se limita a una zona mínima de la red.

Sin embargo, un plan de protección integra redundancias. Así desde la concepción de ese plan, se prevé que si un órgano de protección no actúa correctamente, otro órgano situado aguas arriba de éste deberá reaccionar a su vez para limitar las consecuencias del defecto.

Cada uno de estos órganos de protección, montados en cascada en la red, constituye un escalón de selectividad.

En una red de MT, el número de escalones de selectividad entre los transformadores de AT/MT y MT/BT suele ser limitado: de 3 a 5 según los países. En efecto, más allá de este

número, la seguridad no puede garantizarse ya que los tiempos de reacción y los valores de las corrientes de defecto se vuelven muy peligrosos.

### Las distintas técnicas

Para asegurar esta selectividad en un plan de protección de MT, pueden utilizarse cinco principios técnicos: amperimétrico, cronométrico, diferencial, de distancia y lógico.

#### Selectividad amperimétrica

Es asegurada por las regulaciones en valor de corriente de los umbrales de disparo.

#### Selectividad cronométrica

Es asegurada por las regulaciones en valor de tiempo de los umbrales de disparo.

#### Selectividad diferencial

Es asegurada por un recorte de la red en zonas independientes, y la detección en cada una de estas zonas de una diferencia entre la suma de las corrientes que entran y la suma de las que salen. Esta

técnica requiere un cableado entre las unidades de protección situadas en las dos extremidades de la zona vigilada.

#### Selectividad de distancia

Es asegurada por un recorte de la red en zonas, y las unidades de protección, por cálculo de la impedancia aguas abajo, pueden localizar en qué zona está situado el defecto.

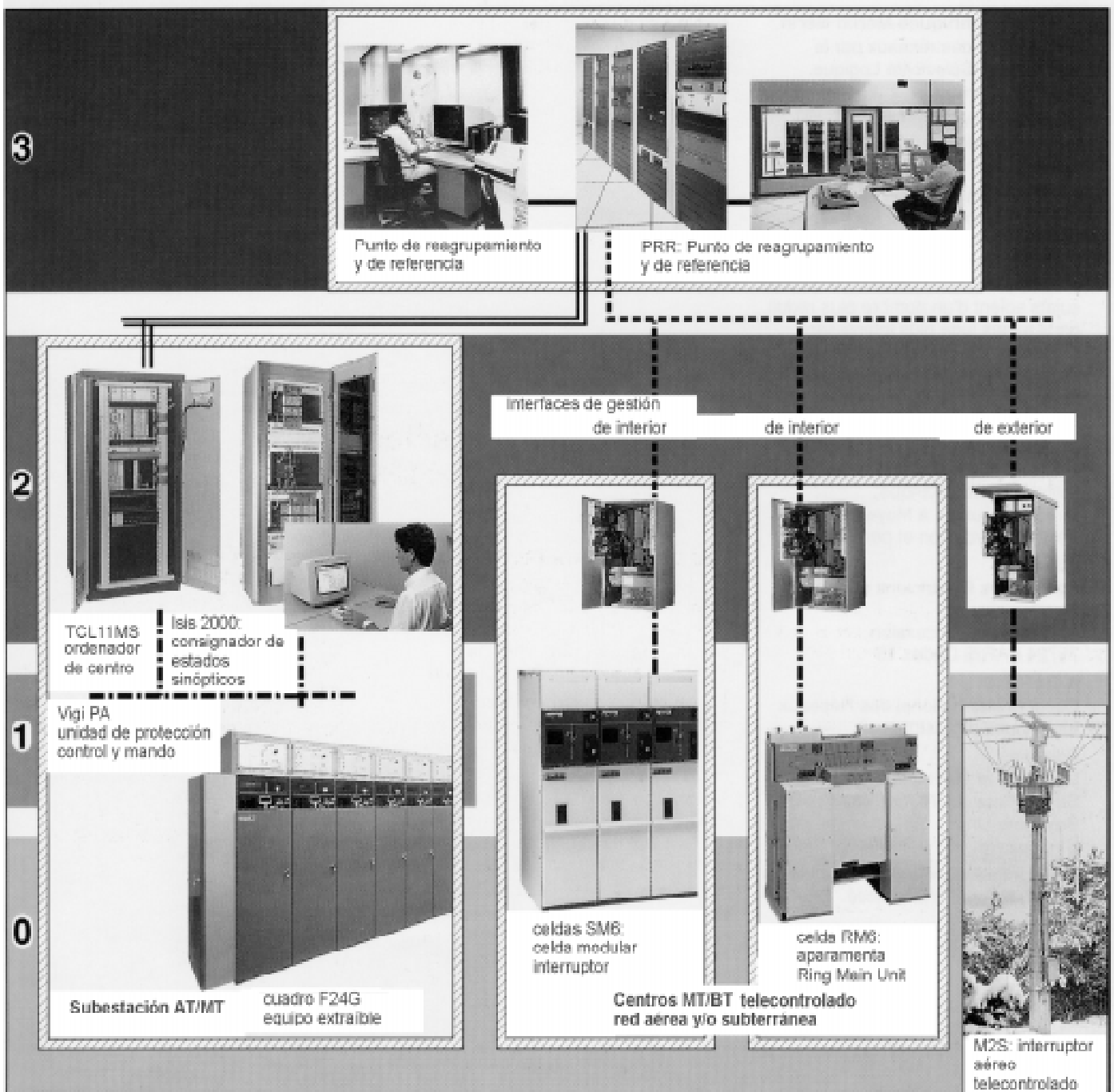
#### Selectividad lógica

Esta selectividad es asegurada por un orden de «espera lógica» de duración limitada, emitida por la primera unidad de protección situada justo aguas arriba del defecto y que debe cortar el circuito hacia las otras unidades de protección situadas aguas arriba. Permite aumentar el número de escalones de selectividad sin alargar los tiempos de disparo aguas arriba.

Son necesarios unos cables pilotos entre las unidades de protección.

Esta técnica puesta a punto y patentada por Merlin Gerin se detalla en el Cuaderno Técnico nº 2.

## Anexo 3: Arquitectura EDF y materiales Merlin Gerin



- nivel 3: telegestión de una red
- nivel 2: gestión de centro
- nivel 1: protección, control y mando de una celda MT
- nivel 0: aparatos de MT y captadores

- teletransmisiones por líneas telefónicas especializadas
- ■ ■ teletransmisiones por radio y/o red telefónica conmutada
- - - red interna de la aparataje (hilo a hilo, actualmente)

## Bibliografía

### Cuadernos Técnicos Merlin Gerin

- Protección de redes por el sistema de selectividad lógica. CT nº 2 (F. Sautriau)
- La CEM: la compatibilidad electromagnética. CT nº 149 (F. Vaillant)

### Publicaciones diversas

Los documentos que tratan de los temas abordados en este Cuaderno Técnico son muy numerosos. Y a pesar de que los artículos que presentan el conjunto de estos temas sean menos numerosos, hemos estimado más conveniente orientar al lector interesado hacia organismos que difunden los informes técnicos procedentes de distintos congresos:

- Jornadas de estudio técnico S.E.E.
- calidad y economía de la alimentación eléctrica,
- redes rurales de Media Tensión: evolución y perspectiva.

Dirección:

Société des Electriciens et des  
Electroniciens

48 rue de la Procession

75724 PARIS Cedex 15

Francia

- C.I.R.E.D.

Congrès International des Réseaux  
Electriques de Distribution

Dirección:

Institution of Electrical Engineers

Savoy Place, LONDON WC2R OBL

Reino Unido

- UNIPEDE

Union Internationale des Producteurs  
et Distributeurs d'Electricité

Dirección:

39 avenue de Friedland

75008 PARIS

Francia