

3093

# REPUBLICA DEL ECUADOR

MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGETICOS

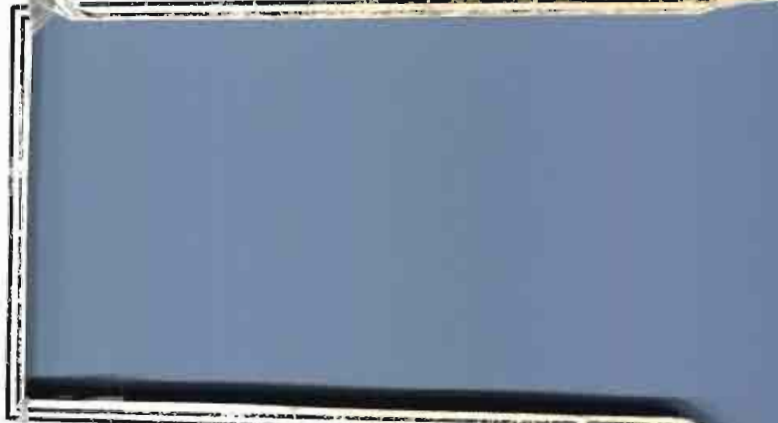
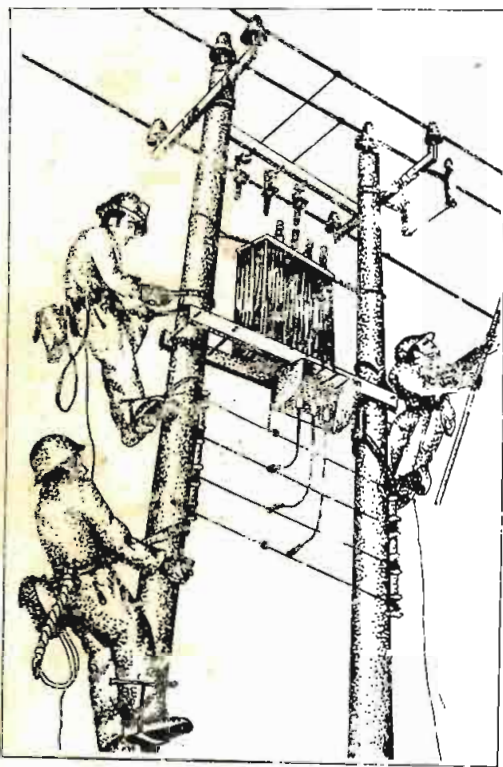
INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION

## INECEL



# INECEL

44.003



621.317  
In43

DIVISION DE CAPACITACION

QUITO - ECUADOR

1972

621.317  
Tn93

**BIBLIOTECA F.I.E. / I.T.**  
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

TECCIONES GN  
MAS ELECTRICOS

Pedimos no retrasar la devolución de esta obra.  
En la tarjeta anexa consta la fecha en la cual deberá  
ser devuelta a la biblioteca.

**! AGRADECEMOS SU COLABORACION !**

49

EPN	Biblioteca
Facultad de Ingeniería Eléctrica	
Nombre del libro	R / 12
Fecha de ingreso	
Observaciones	

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA  
BIBLIOTECA

LIBRO DONADO POR  
Dpto Potencia.  
FECHA: 21-III-79

ACTIM  
GIMEE  
EDF

INECEL  
ANEEE  
CIEEPI

COLOQUIO

ECUATORIANO - FRANCÉS

SOBRE

ENERGIA ELÉCTRICA

TEMA: Las Protecciones en los Sistemas Eléctricos

EXPOSITOR: Ing. Clarenne COGELEX (C.G.E.)

Del 31 de Enero al 4 de Febrero de 1977

Producción - Trasmisión - Distribución

Quito - Ecuador

# PROTECCION DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS

Por Pierre Clarenne

( CGEE ALSTHOM - COGELEX )

## INTRODUCCION

Las centrales generadoras son instaladas en los lugares del territorio donde es posible la producción de energía, como en el caso de las centrales hidráulicas; o en los lugares donde esta producción es económica, como sucede con las centrales térmicas. Dichas centrales no son por consiguiente implantadas sistemáticamente en las cercanías de los centros de consumo. Por lo demás, el establecimiento de un programa de producción y de transporte que busca las condiciones óptimas, mantiene una interdependencia entre los centros de producción y los centros de consumo.

De ésto se desprenden importantes intercambios de energía a nivel nacional, dentro del sistema de interconexión, y de la transmisión de potencias relativamente elevadas dentro de los sistemas regionales de sub-transmisión y de distribución.

Las conexiones que constituyen estos sistemas exigen una gran continuidad de servicio. Sin embargo, están sujetas a la hostilidad del medio ambiente por medio de: las descargas atmosféricas, la contaminación y las sobrecargas mecánicas, así como a las restricciones y utilización debido a las sobretensiones dinámicas, las sobretensiones de maniobra y las sobrecargas térmicas. Por lo demás, el campo eléctrico intenso en el cual están colocados los aisladores causa su lenta alteración de modo que, en los momentos en que se producen dificultades fuera de lo común, pueden producirse contorneos o rupturas en los puntos más débiles.

Una falla de aislamiento acarrea una interrupción de servicio en la sección donde se produce dicha falla y trae consigo dificultades mecánicas y térmicas que son perjudiciales para el material. Puede ésto además, tener repercusiones en el conjunto del sistema al producir pérdidas de estabilidad o bajas de frecuencia. Es por lo tanto importante instalar sistemas de protección en las diferentes obras con el fin de:

- . limitar las consecuencias de una falla en el material,
- . reducir la parte de energía perdida, es decir la energía producida pero no distribuida como consecuencia de una falla.

Las medidas que interesan a la protección de los sistemas eléctricos se refieren a: la estructura de los sistemas, los esquemas de las subestaciones, las medidas tomadas para limitar las sobretensiones y la intensidad de las corrientes de corte-circuito, los dispositivos de detección y de eliminación de las fallas, y finalmente, a los automatismos que comandan la reconexión de tensión en los elementos sanos. Frente a la amplitud de este tema del que una parte tiene que ver con la arquitectura del sistema y con las consignas de utilización, nosotros nos limitaremos a hacer un breve examen de los dis



positivos de protección y de los automatismos que están asociados a ellos.

## 1 - DEMORAS EN LA ELIMINACION DE LAS FALLAS (1)

Los defectos de aislamiento deben ser eliminados en un período máximo que depende de la localización de la falla, de lo contrario se arriesga que se presenten graves consecuencias para la continuidad del servicio y para la salvaguardia del material.

Los criterios que definen esta demora interesan a la estabilidad, a la resistencia de los auxiliares de las centrales y al valor alcanzado por las corrientes de corto-circuito.

### 1.1. Estabilidad.

Una falla que aparece en una arteria que conecta a dos centros de producción puede acarrear una ruptura del sincronismo si ésta no es eliminada con bastante rapidez.

Al momento del corto-circuito, cada centro de producción participa en la alimentación a la falla en función de la reactancia de los grupos, de la inercia de las máquinas y del estatismo de sus reguladores. De esto resulta un régimen dinámico durante el cual el ángulo eléctrico entre los vectores fuerza electromotriz y tensión aumenta, de modo que, la potencia obtenida aumenta mientras estos vectores no estén en cuadratura. Si el ángulo de estos vectores sigue aumentando y sobrepasa los  $90^\circ$ , la potencia suministrada disminuye. Es así como se inicia la inestabilidad.

Para salvaguardar la continuidad del servicio, hay pues que eliminar la falla antes de que el grupo que lo alimenta en su mayor parte haya alcanzado el ángulo crítico.

En los sistemas mallados alimentados por grupos de potencia media, esta demora es del orden de 0,3 segundos, pero la prolongación de las líneas así como el aumento de la potencia transmitida, de la reactancia de los generadores y de la potencia de un generador en relación con la potencia en circulación del sistema, actúan para reducir esta demora que cae en ocasiones a menos de 0,15 segundos.

El período de estabilidad concierne a los sistemas de interconexión y a los sistemas de subtransmisión.

### 1.2. Resistencia de los auxiliares de las centrales

Los principales auxiliares de las centrales térmicas están alimentados directamente desde la red.

Los motores de las enormes bombas de circulación son muy sensibles a las bajas de frecuencia que siguen a los corto-circuitos, y la disminución de velocidad resultante de ello, sumada a la baja de tensión, se traduce por una disminución del caudal que puede ser perjudicial al funcionamiento del grupo.

El período de desconexión de los auxiliares define la duración máxima del tiempo de eliminación de la falla, o del aislamiento de la central. En las centrales nucleares, este período es del orden de un segundo.

### 1.3. Intensidad del corto-circuito

La potencia de los generadores, la configuración del sistema y de la reactancia de los diferentes elementos atravesados por corriente definen los valores máximos de las corrientes de corto-circuito entre fases y entre fase y tierra.

Estas corrientes provocan esfuerzos electrodinámicos elevados y perturbaciones en los circuitos de telecomunicaciones vecinos. Las instalaciones deben por consiguiente tener la capacidad de resistir a estos esfuerzos cuyos valores de cresta se alcanzan en pocos milisegundos mientras que la componente transitoria de la corriente no se ha iniciado todavía. El plan de explotación del sistema debe por lo tanto establecerse con miras a evitar las configuraciones peligrosas que acarrearían una exlimitación del nivel crítico.

La corriente de falla compromete a los conductores y en la mayoría de los casos, a los elementos de la estructura, a los herrajes, a las piezas de armazón de los aisladores y a la red de puesta a tierra en el punto de la falla. En todas estas piezas, provoca un calentamiento casi adiabático; el período de eliminación de la falla debe ser por lo tanto, suficientemente corto para que el calentamiento resultante de los dos pasos sucesivos de corriente, en caso de que la falla no sea eliminada por la primera desconexión, no acarree una subida de temperatura que provocaría daños irreversibles en la estructura de alguna de las piezas atravesadas por dicha corriente.

Un elemento del sistema donde se localiza una falla: sea línea, transformador o juego de barras debe ser eliminado en forma selectiva y en el más corto de los lapsos descritos arriba. La salida del servicio de ciertos generadores y consecuente acumulación de las cargas debida a la eliminación de la falla, colocan al sistema en una situación transitoria anormal, que hay que tomar en cuenta al momento de elegir los sistemas de protección, con el fin de evitar la desconexión en cadena de los elementos sanos del sistema que se hallan temporalmente perturbados, lo que agravaría las consecuencias de la falla inicial.

## 2 - PROTECCIONES CONTRA LAS SITUACIONES ANORMALES DENTRO DEL SISTEMA

### 2.1. Protecciones contra las insuficiencias de producción (2)

Un déficit de generación se traduce en una baja de frecuencia. Las protecciones contra las insuficiencias de generación son puestas en funcionamiento por relés de frecuencia mínima, los cuales según las localizaciones y los valores de la frecuencia, provocan sucesivamente los siguientes efectos, con valores decrecientes que tienen una diferencia entre sí de 0,5 Hz:

- a) el corte de la corriente en los sistemas de distribución de los usuarios no prioritarios.
- b) El aislamiento regional mediante la desconexión de las líneas de salida de energía del sistema de subtransmisión,
- c) El aislamiento de las centrales, si bien éstas siguen alimentando a sus auxiliares.

### 2.2. Protección contra las rupturas del sincronismo (2)

La desconexión de una línea que transmite energía de una central y que trabaja cerca de su límite de estabilidad, puede provocar una ruptura del sincronismo entre esta central y el resto del sistema. El mismo razonamiento se aplica si en lugar de una central se trata de todo un grupo de generación, como por ejemplo de centrales hidráulicas en cascada.

El principio del funcionamiento de las protecciones contra las rupturas de sincronismo, se basa en el carácter progresivo de las variaciones de tensión en su operación fuera de sincronismo. Las órdenes de desconexión son dadas a las líneas de intercambio de energía, a las líneas periféricas que delimitan el perímetro protegido y a las líneas radiales internas a la región en forma sucesiva, a la primera, segunda o tercera pulsación (fig.2) respectivamente. Estas protecciones interesan a las redes de interconexión y de subtransmisión.

### 2.3. Protección contra las sobretensiones a la frecuencia del sistema (3)

Las sobretensiones a la frecuencia del sistema son peligrosas a larga para los transformadores y para las reactancias cuyas pérdidas en el hierro se incrementan y para los cables subterráneos. Una sobretensión se produce en un extremo de una línea larga no cargada (efecto Ferranti) y el fenómeno corre el riesgo de ampliarse si es

ta línea es conectada a un alternador al cual provoca una auto-excitación.

Este inconveniente puede ser eliminado impidiendo la conexión de tensión en el sistema por intermedio de las líneas largas y no colocando en estas líneas las protecciones de apertura del anillo que hemos mencionado anteriormente.

### 3.- PROTECCION CONTRA LAS SITUACIONES ANORMALES EN ELEMENTOS DEL SISTEMA (2)

Estas protecciones están destinadas a autorizar la explotación en sobrecarga de las líneas y de los transformadores.

En el caso de una falla en el sistema que haya provocado acumulación de carga, estas protecciones permiten al dispatcher una demora de algunos minutos que es compatible con la constante de tiempo térmico del material protegido.

#### 3.1. Protección de sobrecarga de las líneas

La curva que define la intensidad admisible en función del tiempo, tiene una forma hiperbólica. Debido a la dificultad de ejecutar materialmente el modelo térmico de una línea, el sistema está basado en el empleo de relés de una corriente máxima asociado a relés diferidos (temporizados) cuya combinación de regulación pasa por puntos de la hipérbola modelo (fig. 3).

Los relés de corriente máxima están regulados para los valores  $I_p$ ,  $I_m$ ,  $I_H$  e  $I_s$ . Los relés diferidos y los lógicos asociados autorizan:

- . durante 20 minutos, una intensidad comprendida entre la intensidad admisible permanente  $I_p$  y el valor  $I_H$ ,
- . durante 5 minutos, una intensidad comprendida entre  $I_H$  e  $I_m$
- . durante 20 segundos, una intensidad comprendida entre  $I_m$  e  $I_s$ .

La desconexión es instantánea si la intensidad sobrepasa  $I_s$ .

#### 3.2. Protección contra la sobrecarga de los transformadores

La curva de forma hiperbólica que hemos mencionado más arriba, al referirnos a las líneas, se repite en el caso de los transformadores. Esta resulta de la superposición de las constantes de tiempos térmicos de los enbobinados, la cual es del orden de 10 minutos y del aceite, que es del orden de una hora.



Las protecciones están basadas, al igual que para las líneas en relés de corriente máxima que autorizan una duración de la sobrecarga de 20 minutos ó de 20 segundos según el valor de la corriente y de la temperatura del aceite. (fig. 4).

En vista de que las características de enfriamiento de un transformador, por razones de su precisa localización están mejor definidas que las de una línea, la protección contra la sobrecarga puede ejecutarse también midiendo la temperatura de una "imagen Térmica" que reconstituye la temperatura del cobre tomando como base la temperatura del aceite y la intensidad.

#### 4 - PROTECCIONES CONTRA LAS FALLAS DE AISLAMIENTO EN LOS SISTEMAS MALLADOS.

En producción normal la sección del sistema: línea, transformador... donde está localizada la falla es alimentada por sus dos extremos. Las protecciones están destinadas a eliminar dicha sección en forma selectiva, lo más rápidamente posible, mediante la apertura de los disyuntores que la enmarcan.

Los sistemas de protección deben estar dispuestos de tal forma que se pueda detectar las fallas de aislamiento entre fases y entre fase y tierra en toda circunstancia de producción. En el mismo lugar, según la hora y la configuración resultantes, ya sea con alimentación por uno o por ambos extremos, la corriente de corto-circuito puede en realidad pasar de algunas centenas a varias decenas de miles de amperios.

Los sistemas de protección contra las fallas de aislamiento deben, por otro lado, ser insensibles a las variaciones transitorias de la tensión y de la corriente debidas a las maniobras, a las oscilaciones de los funcionamientos asincrónicos, a los cortes de los circuitos de alimentación en especial cuando están con tensión, y a los períodos transitorios de los aparatos de medidas.

Deben por fin, resistir, a las sobrecargas y a los desequilibrios que siguen a los funcionamientos monofásicos, sin impulsar el funcionamiento brusco durante los ciclos lentos de reconexión.

La mayor parte del tiempo el sistema de protección elimina definitivamente las fallas detectadas, las mismas que, por otro lado, son bastante frecuentes. Según las estadísticas de Electricité de France, en los sistemas de alta tensión se puede constatar como promedio lo siguiente:

- a) una falla por cada 10 kilómetros de línea por año
- b) más del 95% de las fallas se producen en las líneas aéreas,
- c) más del 90% de las fallas son eliminadas cortando la tensión y autorizando la reconexión.
- d) menos del 5% de las fallas se producen en las subestaciones,

- e) más del 80% de las fallas son monofásicas a tierra,
- f) menos del 10% de las fallas son trifásicas desde sus orígenes
- g) menos del 3% de las fallas crecen.

#### 4.1. Organización de las protecciones contra las fallas de aislamiento

Todos los elementos de los sistemas de alta tensión están protegidos por sistemas repetidos. Se distingue, por un lado las protecciones principales, rápidas y selectivas, asociadas en las líneas aéreas al funcionamiento de la reconexión; por otro lado, se tienen las protecciones de reserva, además de las primeras, a menudo construidas con otra tecnología y a veces alimentadas por transformadores de corriente distintos de aquellos que alimentan a las protecciones principales. Más adelante volveremos a profundizar este tema de las protecciones ya que el mismo término designa a veces nociones distintas.

Debido a su rapidez, las protecciones principales pueden ser insensibles a las fallas resistentes que no comprometen la estabilidad del sistema ni la resistencia del material. La detección y la eliminación de estas fallas son confiadas entonces a las protecciones complementarias no selectivas y a veces lentas pero muy sensibles.

Los reductores de medidas, las protecciones principales y los disyuntores son elegidos con la capacidad de eliminar en los períodos deseados, las fallas susceptibles de comprometer la estabilidad.

##### 4.1.1. Influencia de los reductores de medidas (4)

La calidad del funcionamiento de las protecciones depende de la calidad de las medidas que les son suministradas. Los reductores de medidas deben por lo tanto estar contruidos para conservar las calidades de dichas protecciones en las situaciones anormales del sistema que éstos contribuyen a detectar.

Los transformadores de corriente deben resistir a la sobrecarga admitida por las líneas y los transformadores en las mismas condiciones que éstos últimos. Deben igualmente transmitir las componentes periódicas y aperiódicas de las corrientes de corto-circuito con un error generalmente inferior al 5% en las amplitudes y un desfase máximo de algunos grados, generalmente 2 a 3, entre los cruces por cero de las corrientes primaria y secundaria.

Por otro lado, en el caso de que una falla no sea eliminada en la primera desconexión, la sección del circuito magnético debe ser tal que la precisión se conserve a pesar de la presencia del flujo residual debido al primer paso de corriente de falla.

Los transformadores de tensión y los divisores capacitivos deben poder resistir a la tensión compuesta; su precisión debe ser en ese momento del orden del 3%. Esta precisión debe ser igualmente del orden de 5% algunas decenas de milisegundos después de la caída brutal de la tensión debida a un corto-circuito próximo, que reduce la tensión en el punto de medida a un 5% de su valor nominal. Para esta tensión, cuando se trata de alimentar a las modernas protecciones ultra rápidas, la precisión debe ser de 10% a los 5 ms y de 5% a los 10 ms lo que torna a los divisores capacitivos inadecuados para este uso.

Las diferentes posibilidades de comportamiento de los reductores de medidas en régimen transitorio, se encuentran limitadas por su carga. Las instalaciones modernas equipadas con protecciones electrónicas colocadas en edificaciones de relevo construidas cerca de los reductores de tensión, se limitan a 10 VA para las corrientes y de 30 VA para las tensiones, de modo que, a pesar de sus elevados rendimientos, el precio de estos reductores sigue siendo aceptable.

Estas utilizaciones de precisión son necesarias cualquiera que sea el sistema de protección alimentado; basta que el período de respuesta del reductor de medida sea compatible con el de las protecciones instaladas.

#### 4.1.2. Plan de protección

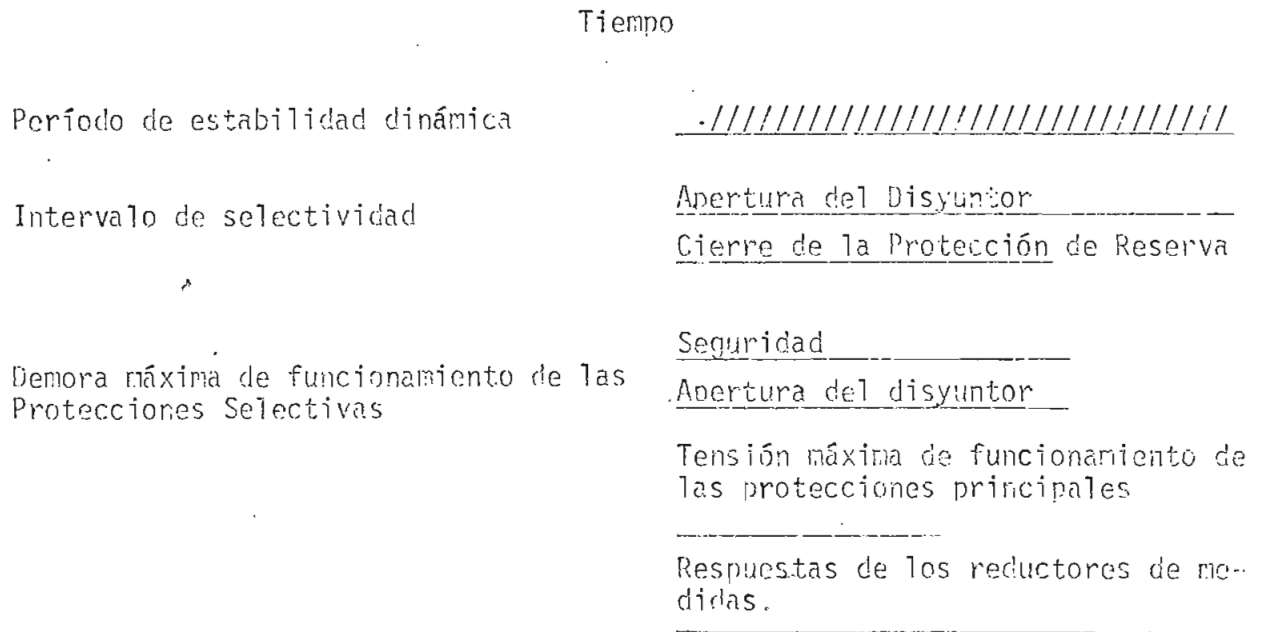
Conociendo el período permitido por el sistema para eliminar las fallas de aislamiento el plan de protección comprende el conjunto de medidas tomadas para satisfacer estas exigencias, Conociendo en especial los retrasos introducidos por los reductores de medidas y los disyuntores, dicho plan define la disposición de los sistemas de protección, entre ellos, la misma que permite eliminar una falla dentro del tiempo admitido por las protecciones de reserva alejadas, no selectivas, en la hipótesis de que como consecuencia de una falla de un elemento dado, las protecciones selectivas no hayan funcionado.

En esas condiciones el intervalo de tiempo mínimo que separa al instante de funcionamiento de las protecciones selectivas de aquel de funcionamiento de las protecciones no selectivas designado como "intervalo de selectividad" debe comprender, con una seguridad razonable, los tiempos de apertura del disyuntor y del cierre de la protección de reserva.

Este razonamiento se aplica a todos los elementos del sistema, ya sean líneas, cables, transformadores, juegos de barras, etc. Es necesario que la disposición de las protecciones permita funcionar a la más lenta de las protecciones principales de estos elementos por lo menos a un intervalo de selectividad antes de que intervenga la protección de reserva. También es posible definir progresivamente

Tas utilizaciones previstas de las protecciones principales.

fig. 5



#### 4.1.3. Protecciones de Reserva

Las protecciones de reserva están destinadas a subsanar las fallas de la protección principal o de los otros equipos que están asociados a ella, tales como los reductores de medidas, los disyuntores o el suministro de la corriente continua...

El sistema de las protecciones de reserva consiste en equipos situados en la subestación misma donde se localiza la falla, constituyendo de este modo la protección de reserva local, y equipos que constituyen la protección de reserva remota con relación a la subestación considerada, y que siguen a todas las subestaciones a las que está conectada. En efecto, los sistemas de protección de reserva instalados en una subestación, pueden funcionar ya sea como reserva local o como reserva remota.

En el sistema de reserva local puede actuar a su vez sobre el disyuntor una segunda protección más sencilla para subsanar la falla de la protección principal. Para corregir la falla del disyuntor existe otra protección que puede ordenar la apertura de todos los disyuntores de la subestación situados por delante del disyuntor que falla según el sentido del flujo de la corriente; pero este sistema es inoperante si la falla viene del suministro de la corriente continua.



El corte de la alimentación de energía de la subestación donde se ha localizado la falla, puede también efectuarse en todas las subestaciones que la alimentan de energía. Desde el punto de vista del sistema, el resultado es el mismo que en el caso anterior, la única diferencia radica en la tecnología empleada para obtener este resultado. La protección de reserva instalada en la subestación donde se ha localizado la falla, puede por lo tanto: ya sea impartir órdenes a los disyuntores interesados de la subestación, u ordenar la apertura de los disyuntores situados en el otro extremo de las líneas, en caso de que la apertura de los primeros tenga el riesgo de causar otros problemas tales como la apertura de líneas largas. La protección de reserva puede también ser descentralizada y funcionar de manera autónoma en las diferentes subestaciones interesadas (fig. 6). Esta es la técnica utilizada generalmente en el 2o. y 3er. estados de protección remotas de los que hablaremos más adelante.

Las protecciones de reserva no deben confundirse con las protecciones de emergencia que duplican todo el sistema de las protecciones principales en las subestaciones más importantes, las cuales utilizan: medidas, fuentes auxiliares y circuitos de desconexión diferentes de aquellos de las protecciones principales.

## 5 - EQUIPOS DE PROTECCION EN LOS SISTEMAS MALLADOS

Los sistemas de protección propios en los sistemas mallados interesan a las líneas aéreas, a los cables, a los juegos de barras de las subestaciones y a los transformadores.

### 5.1. Equipos de protección de las líneas aéreas y de los cables

Las protecciones principales de las líneas aéreas y de los cables subterráneos, están constituidas por las primeras fases de las protecciones remotas o por las protecciones diferenciales longitudinales, siendo las más utilizadas las remotas.

Las protecciones de reserva de las líneas aéreas y de los cables están constituidas por la segunda y tercera fases de las protecciones remotas y por relés de corriente inversa máxima.

Las protecciones complementarias de las líneas aéreas, están constituidas por relés direccionales de una potencia máxima de una sola polaridad.

#### 5.1.1. Protección remota

El principio del funcionamiento de las protecciones remotas reside en la medida de la distancia de las fallas y en la capacidad de determinar si las fallas detectadas están situadas en la zona protegida.

Una protección remota comprende: un dispositivo de puesta en marcha, generalmente con una impedancia mínima, un control direccional que detecta la orientación de la falla con relación al punto de medida y un sistema de medida de distancia preferentemente insensible a la resistencia de la falla.

El dispositivo de puesta en marcha de las protecciones remotas modernas que utilizan relés electromagnéticos tienen la característica "mho", su diagrama natural en el plano R.X. (\*) es un círculo que puede ser desplazado o transformado en elipses (fig. 7) Estas protecciones funcionan a los 80 a 100 ms consumiendo, según la naturaleza de las fallas detectadas, de 15 a 30 VA en los circuitos de tensión y de 10 a 20 VA en los circuitos de corriente.

Los dispositivos de puesta en marcha de las protecciones remotas electrónicas tienen generalmente características poligonales en el plano R.W. (fig. 8). Estas protecciones funcionan en 20 a 50 ms según los tipos y consumen alrededor de 2 VA en los circuitos de tensión y en los circuitos de corriente.

La selectividad es conservada regulando el sistema de medida de distancia en la primera fase en una longitud menor que la sección que se va a proteger. En vista de que los dos extremos de una línea están equipados de protecciones idénticas colocadas frente a frente, la mayor parte de su longitud está cubierta por las dos protecciones simultáneamente. Las secciones de los extremos no están cubiertas en la primera fase sino por la protección situada a su mismo lado. Para evitar el retraso en la desconexión que esto causaría se ha pensado en hacer que la protección que "ve" la falla en la primera fase envíe por corriente portadora una orden de teledesconexión ejecutable, si la otra protección ha sido puesta en marcha. Gracias a este sistema llamado "aceleración de fase", los períodos de desconexión no son alargados sino por los lapsos de transmisión de la orden.

En el caso de las líneas muy cortas un enlace piloto asociado a los primeros estados conecta entre sí a los relés direccionales de los dos extremos. La selección es entonces instantánea y cierra los funcionamiento intempestivos que podrían ser provocados por un valor muy bajo de la reactancia del bloque.

La segunda y tercera fases de las protecciones remotas actúan a la vez como emergencia local, repitiendo el orden de desconexión al disyuntor, y como emergencia remota en relación con las subestaciones

-----  
(\*) R.X. = resistencia - reactancia.

situadas más allá de la falla (fig. 9)

### 5.1.2. Protección diferencial longitudinal

Esta protección que exige la instalación de alambres pilotos que se insertan en los bucles de medida no es aplicable sino a las líneas cortas.

En general, los relés entre fases están sometidos a una oposición de tensiones creadas por el paso de las corrientes en una resistencia. (fig.10). Para que el funcionamiento de esta protección sea correcto es sin embargo necesario que los transformadores de corriente instalados en las mismas fases, tengan sus curvas de respuesta lo más parecidas posible en toda la franja de medida y que las líneas piloto estén convenientemente protegidas en sus extremos por trasladadores y espinterómetros.

Los relés de corriente inversa máxima, y los relés direccionales de potencia máxima de polaridad única, utilizados en la protección de reserva y en la protección complementaria, son suficientemente conocidos para seguir hablando de ellos.

### 5.2. Protección de los juegos de barras.

Las protecciones de los juegos de barras son instaladas principalmente en las subestaciones de los sistemas de interconexión cuyos esquemas permitan seccionar el "nudo" del sistema y aislar a aquel donde se ha localizado la falla.

Cuando los juegos de barras de las subestaciones son utilizados independientemente unos de otros, la instalación de una protección propia del juego de barras es inútil ya que toda falla en el juego de barras sería eliminada por las protecciones de reserva de las líneas y de los transformadores que lo alimentan.

#### 5.2.1. Protección lógica (6)

La protección del juego de barra es ejecutada por un automatismo que procesa lógicamente las informaciones acerca de la dirección del flujo de la energía obtenidas en cada derivación y en cada corte del juego de barra. Esta protección ordena la apertura de los disyuntores que enmarcan a la sección hacia la cual convergen todos los flujos. Recíprocamente, basta que una de las informaciones diverja para estar seguro de que una sección está sana.

Este dispositivo utiliza la información proporcionada por el elemento direccional de ciertos tipos de protección remota. No obstante se

deben instalar relés direccionales de potencia reactiva en los acoplamientos y en los seccionadores de los juegos de barras. Las protecciones de impedancia mínima de los transformadores, proporcionan también una información direccional. Esta protección que tiene la ventaja de no exigir sino muy poco material propio para funcionar, la está en servicio en Francia desde hace unos diez años.

### 5.2.2. Protección de corriente Diferencial

Los transformadores de corriente que tienen la misma relación y cuyas curvas de respuesta son análogas, instalados en forma opuesta en todas las derivaciones y todos los seccionamientos del juego de barras, se dirigen al equipo de protección que establece el balance de las corrientes. Cada sección del juego de barra está equipada de su propia protección (fig. 11).

Cuando un balance no es nulo todos los disyuntores conectados a la sección interesada son desconectados.

Esta protección es de un funcionamiento delicado y exige la instalación de mucho material. Dicha protección no es utilizada en Francia.

### 5.3. Protección de los transformadores

Las protecciones principales de los transformadores están constituidas por protecciones de drenaje, protecciones direccionales de impedancia mínima y protecciones diferenciales.

Las protecciones de reserva están constituidas por relés de corriente máxima a tiempo constante.

Los sistemas Bucholz de detección de gas tienen un tiempo de funcionamiento demasiado aleatorio, para estar integrados al plan de protección. Estos actúan como protecciones de emergencia.

#### 5.3.1. Protección de cuba por drenaje de la corriente de falla

Esta protección que es instalada en Francia en todos los transformadores desde hace casi treinta años, es sensible a la corriente de falla que circula en la conexión de puesta a tierra de la cuba del transformador. El buen funcionamiento de esta protección implica el aislamiento de la cuba.

Esta está constituida por un simple relé de corriente máxima alimentado por todas las descargas y espirometros instalados en los bornes o en el interior de la cuba.



Las corrientes de fuga de los auxiliares y de las corrientes inducidas en las armaduras de los cables que llegan a los transformadores, pueden también circular en la conexión de puesta a tierra si no se toman precauciones en el momento del montaje (fig. 12).

#### 5.3.2. Protección direccional de impedancia mínima

Esta protección se deriva de las protecciones remotas instaladas en las líneas. Dos protecciones de impedancia mínima son dispuestas a cada lado del transformador, orientadas hacia él y reguladas de manera que sus zonas de vigilancia respectivas no atraviesen el transformador sino que se cubran entre sí.

#### 5.3.3. Protecciones diferenciales

Las protecciones diferenciales no son instaladas en Francia desde hace más de 25 años.

Estas protecciones, cualquiera que sea su configuración: longitudinales, reducidas o Mogener, deben ser desensibilizadas a veces hasta un 40% para evitar desconexiones intempestivas debidas a: la presencia instantánea de corrientes magnetisantes en los momentos de puesta en tensión, a las placas de los reguladores bajo carga y debido a los errores de relación en los transformadores de corriente y de los transformadores auxiliares de regulación y de ajuste que es necesario instalar.

En estas condiciones el límite de las corrientes de falla detectables corresponde a una tensión del orden del 50% de la tensión nominal de modo que la mitad de los embobinados no están protegidos.

#### 5.3.4. Protección de corriente máxima

Tres relés de corriente máxima y tiempo constante son utilizados como protección de reserva. Para no perturbar el funcionamiento de las protecciones de sobrecarga, éstos están regulados por un umbral del orden de 1,5 veces la corriente nominal, con una temporización de 20 segundos. Esta temporización no es suprimida durante el funcionamiento del regulador en carga.

#### 5.3.5. Protección Buchholz

La protección Buchholz está constituida por flotadores de contactos instalados en la canalización que conecta la cuba de los transformadores con el tanque de reserva de aceite.

Estos flotadores son susceptibles de detectar alternativamente: a) el paso de una corriente de aceite importante en la canalización y b) un desprendimiento gaseoso que sube hacia el tanque de emergencia de aceite. El primer contacto ordena la apertura de los disyuntores que enmarcan al transformador y el segundo desencadena una alarma.

## 6 - AUTOMATISMOS ASOCIADOS A LAS PROTECCIONES DE LOS SISTEMAS MALLADOS

La desconexión de una línea aérea fallosa elimina la mayor parte de las veces el corto-circuito por contorno. Una vez que el aislante ha vuelto a la condición original, la puesta en tensión por reconexión es posible nuevamente.

Las técnicas de reconexión automáticas mejoran la estabilidad evitando que, por la acumulación de cargas, ciertas líneas tengan que funcionar cerca de su límite de estabilidad estática. Esto significa también economías sustanciales en la ejecución de las líneas aéreas, permitiendo la supresión de los conductores de guardia entre los postes en las regiones de nivel isokeraunico moderado y medio.

### 6.1. Reconexión trifásica rápida

La reconexión trifásica rápida se utiliza: a) en alta tensión cuando los tres polos de los disyuntores son maniobrados simultáneamente por medio del mismo comando, sea cual fuere la naturaleza de la falla que ha provocado la desconexión; y b) en muy alta tensión, cuando cada polo dispone de su propio comando después de haberse producido una falla bifásica o trifásica.

Si una orden de bloqueo que proviene del disyuntor que señala que está fuera de servicio, no bloquea el funcionamiento, la orden de reconexión es dada alrededor de 0,3 segundos después de la ejecución de la orden de desconexión. El dispositivo es desarmado si el disyuntor no se desconecta inmediatamente después de la reconexión. El automatismo por el contrario es cerrado y bloqueado si como consecuencia de la persistencia de la falla el disyuntor se desconecta inmediatamente después de la reconexión.

El nuevo cierre está sin embargo sujeto al control de la separación de fases y del voltaje que existe entre los contactos del disyuntor que hay que volver a cerrar. El dispositivo utilizado en Francia está incorporado al reconectador. Este controla la presencia de la tensión en el juego de barras, adicionalmente controla que la diferencia de tensión entre el juego de barras y la línea que hay que reconectar sea inferior a un máximo dado, lo que, implícitamente da fine un desfase máximo entre los dos sistemas (fig. 13).

## 6.2. Reconexión mono - trifásica lenta

La técnica de la desconexión y de la reconexión monofásica es utilizada en Francia desde hace más de 25 años. (7), cuando cada polo de disyuntor dispone de su propio comando.

Una falla monofásica detectada por el selector de fases de la protección principal acarrea la desconexión del polo del disyuntor de la fase fallosa. En vista de que las dos otras fases permanecen conectadas, el sistema permanece sincrónico y es posible esperar que el arco se extinga antes del reenvío de la tensión en la fase que había sido abierta.

No obstante es necesario observar que durante todo el corte monofásico, aparece un sistema inverso que se superpone al sistema directo, acarreando una sobreintensidad en las fases que permanecen conectadas. Además, al contrario de lo que sucede en el caso de la desconexión trifásica, el arco de la falla es modificado y se mantiene alimentado por la corriente de carga que se transmite de las fases sanas que permanecieron con voltaje hacia la fase fallosa. Es pues necesario que la intensidad del arco alimentado sea suficientemente baja para ser inestable y extinguirse. Es efectivamente lo que sucede en las líneas de 400 kV de longitud media. Según el tipo de armazón el límite de empleo de esta técnica parece situarse entre los 250 y los 300 km.

La secuencia de reconexión es la misma que para el reconectador trifásico, con la sola diferencia de la demora de reconexión que puede variar de 5 a 20 segundos.

## 6.3. Automatismos de falta de tensión

Los automatismos de falta de tensión constatan la falta de voltaje durante algunos segundos, en la línea y en el juego de barras simultáneamente. Dan la orden de apertura al disyuntor si éste no ha sido ya ordenado por una protección.

Estos automatismos desconectan todas las líneas en caso de fallas graves en el sistema, lo que permite programar línea por línea la puesta en tensión del sistema con las centrales sin que éstas corran el riesgo de encontrarse bruscamente frente a una carga que no podrían satisfacer. Con este fin, los dispositivos de "vigilancia" que han permanecido alertas durante toda la duración del daño, ordenan automáticamente el cierre de los disyuntores que efectúan la conexión, el regreso del voltaje y el recierre según lo programado en los lapsos previstos.

## 7 - PROTECCION CONTRA LAS FALLAS DE AISLAMIENTO EN LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION

La técnica utilizada para eliminar las fallas de aislamiento en los sistemas de distribución, sigue siendo la desconexión seguida de la reconexión si la falla afecta a una línea aérea. La tecnología utilizada es sin embargo, bastante diferente y más sencilla, debido a la estructura radial de los sistemas y de la potencia relativamente moderada que los alimenta; lo que permite una demora mucho mayor en el funcionamiento de las protecciones.

Las fallas son, por otro lado, de naturaleza bastante diferente, de aquellas que afectan a los sistemas mallados de alta tensión.

Las distancias de aislamiento entre fases y tierra no excluyen la posibilidad de persistencia de un corto-circuito debido a una ramita de árbol o a un pájaro. Estas fallas se auto eliminan cuando su causante se quema a los pocos segundos, pero esta duración les da un carácter semi permanente frente a fallas debidas a contorneos de aisladores.

La resistencia de los postes y de sus tomas a tierra, de dimensiones generalmente pequeñas, hace que con frecuencia, la resistencia de las fallas sea muy elevada. Esta puede aún sobrepasar los diez mil ohmios cuando la falla se debe a un corte del conductor y que el hilo aislado está situado del lado de la fuente mientras que el hilo que ha caído al suelo está situado del lado del transformador de distribución.

Por último, el sistema del neutro sea: directamente conectado a tierra, o puesto a tierra a través de una impedancia, aislado o puesto a tierra a través de una bobina de extinción, lleva a técnicas de detección muy diferentes que, en todo caso, debido al gran número de salidas comprometidas, deben ser sólidas y económicas.

Según las estadísticas de Electricité de France, se producen en promedio 150 fallas por 100 kilómetros de línea aérea al año, las que se distribuyen:

8 fallas permanentes,

15 fallas semi permanentes que se auto-alimentan,

112 fallas de fuga

15 fallas auto-extinguidoras

En el mismo tiempo, se producen en término medio 13 fallas permanentes por 100 kilómetros de cables aislados.



### 7.1. Organización de las protecciones contra las fallas de aislamiento

Para permanecer sencillas, robustas y económicas, las protecciones de los sistemas de distribución son construídas generalmente con relés de corriente máxima cuyos umbrales de funcionamiento y cuyas temporizaciones están regulados, para obtener la sensibilidad y la selectividad deseadas.

En una misma circunstancia, la corriente de falla puede variar en una proporción de 1 a 1000. Los relés de protección normales son entonces escogidos, para poder resistir la corriente máxima de falla en el límite superior de sobreintensidad. Haciendo ésto, su umbral de arranque define la intensidad mínima de la falla detectable por la protección normal, pero esta corriente es todavía de alrededor de 10 veces más elevada que la intensidad mínima de la falla posible. El funcionamiento de los relés que controlan cada actuación debe por lo tanto ser completada por el funcionamiento de una protección muy sensible que trabaja al nivel del sistema.

Las protecciones instaladas en cada actuación seleccionan aquella donde se localiza la falla. La protección sensible que detecta la presencia de una falla resistente, debe ser completada por un dispositivo automático que restablece la selectividad y del cual hablaremos más adelante.

Diferentes disyuntores son montados en serie, desde la fuente de energía hasta la subestación de distribución de reducción de tensión media a baja tensión, y una falla que aparece en una sección, es detectada por el relé de toda la cadena que lo alimenta (fig. 14); más la selectividad exige que sea abierto únicamente el disyuntor situado inmediatamente después de la falla, siguiendo el sentido de la corriente. Este resultado puede ser obtenido escalonando las demoras de desconexión; el disyuntor situado al final de la cadena se abre inmediatamente, aquel situado inmediatamente después (en el sentido del flujo de la corriente) se desconecta a un intervalo de selectividad más tarde y así sucesivamente, hasta llegar al disyuntor de la fuente. Sin embargo, hay que asegurarse de que la temporización con que se llega al disyuntor de la fuente, sea compatible con la resistencia del material, en caso contrario hay que definir el número máximo de disyuntores en cascada a partir de la temporización autorizada y del intervalo de selectividad.

En distribución, ciertos ramales pueden ser alimentados desde uno o desde otro extremo, de modo que el mismo disyuntor pueda no ocupar el mismo orden en el escalonamiento de los períodos de temporización. Esta dificultad puede ser fácilmente superada haciendo la selección de las temporizaciones deseadas, mediante un relé direccional de potencia asociado a los relés de protección. Este mismo principio puede también ser utilizado en el caso cuando dos líneas que trabajan en paralelo entre dos subestaciones (fig. 15); una falla A

en una de estas líneas es en realidad "retroalimentada" desde la subestación que le antecede (en el sentido de la corriente). Un relé direccional instalado en esta subestación puede por lo tanto suprimir la temporización prevista en el disyuntor (1) cuando la energía vuelve a subir hacia la subestación fuente.

Esta temporización puede también ser suprimida por un relé de corriente máxima, cuyo umbral de funcionamiento está regulado por la corriente de corto-circuito franco en B ubicado en el juego de barras de la subestación.

## 7.2. Protección contra las fallas de aislamiento entre fases

La protección contra las fallas de aislamiento entre fases es ejecutada en Francia desde hace más de 20 años (8) (9), mediante relés de corriente máxima temporizados en lapsos de tiempo constantes. Como la corriente de falla utiliza siempre por lo menos dos conductores de los tres, dos relés bastan.

La elección de un escalonamiento de tiempo constante se hace en razón de la precisión obtenida en la combinación: corriente de regulación vs. intervalo de tiempo (fig. 16) que permite obtener una selectividad rigurosa, mientras que con un relé de tiempo invertido el umbral de funcionamiento no está muy definido, los intervalos de funcionamiento varían con la resistencia y la distancia de la falla.

## 7.3. Protección contra las fallas de aislamiento entre fase y tierra

La técnica de protección elegida depende del régimen del neutro.

### 7.3.1. Neutro conectado a tierra

Por razones de seguridad, cuando el neutro está conectado a tierra, la corriente de falla franca fase-tierra, está limitada en Francia a 300 amperios en las líneas aéreas y a 1.000 A en los cables. Los puntos neutros de los transformadores de las subestaciones fuentes, son puestos a tierra a través de una impedancia.

La presencia de una falla entre fase y tierra es detectada por la presencia de una corriente de polaridad única, en la línea donde está localizada la falla; corriente fácilmente detectable si se efectúan la suma de las corrientes que circulan en las fases.

Este sistema es selectivo, pero adolece de falta de sensibilidad para las fallas resistentes. Está por lo tanto completado a nivel del sistema por un relé de corriente muy sensible, alimentado por un transformador de corriente saturable insertado en la conexión de -

puesta a tierra del neutro. Este relé pone en marcha el dispositivo de búsqueda de resistencia de tierra del que hablaremos más adelante.

### 7.3.2. Neutro aislado

El aislamiento del neutro puede ser elegido en los sistemas para los cuales los arcos debidos a fallas fugitivas son auto extingüibles.

La presencia de una falla fase-tierra, es detectada por un suministro de potencia reactiva de polaridad única en la línea donde se ha localizado la falla. La protección es pues, obtenida con un relé direccional de potencia reactiva de polaridad única.

Este sistema es selectivo pero no detecta las fallas resistentes. Estas últimas pueden ser detectadas por la presencia de una tensión de polaridad única que pone en servicio el dispositivo de búsqueda de resistencia de tierra del cual hablaremos más adelante.

### 7.3.2. Neutro a tierra a través de una bobina de extinción

Una bobina de extinción montada entre el punto neutro del sistema y tierra, es dimensionada de modo que la capacidad del sistema y la autoinducción de la bobina constituyen un circuito filtro para la frecuencia industrial. Los arcos son por lo tanto naturalmente auto-extingüibles y la protección no debe intervenir sino para las fallas persistentes.

Cuando el sistema está bien balanceado, el único medio de detectar la presencia de una falla, es el de detectar en la línea interesada el suministro de una potencia activa de polaridad única que corresponde a las pérdidas por efecto de Joule en la bobina. Por consiguiente es necesario utilizar relés muy sensibles y aumentar artificialmente las pérdidas en la bobina aumentándole una resistencia en serie.

## 8 - AUTOMATISMOS ASOCIADOS A LAS PROTECCIONES DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION

### AEREOS . (9)

Todo lo que antecede, se aplica indistintamente a los sistemas aéreos y a los sistemas con cables aislados: de todos modos, en lo que concierne a las líneas aéreas, la eliminación de una falla de fuga por contorno, puede ser obtenida inmediatamente por la desconexión seguida de la reconexión.

La selectividad escalonada está destinada en este caso solamente a las fallas permanentes.

Además del sistema selectivo natural: los disyuntores de las líneas aéreas están equipados por un reconectador de ciclos múltiples destinado a eliminar las fallas de fuga y las fallas semi-permanentes.

### 8.1. Reconectores para sistemas de distribución

Los disyuntores que están colocados al principio de las derivaciones de distribución, sean éstas ramificadas o no, están equipados de reconectores de ciclo rápido y luego lento.

Desde el momento de la aparición de la falla, un relé de corriente máxima, directa o de polaridad única, ordena la apertura del disyuntor. El reconector ordena entonces inmediatamente el cierre.

Si la falla persiste, el disyuntor se mantiene cerrado de modo de permitir el tiempo de operación a los escalonamientos selectivos expuestos más arriba. Varios disyuntores pueden en realidad ser colocados en serie, ya sea en la rama principal, ya sea en la acometida de las derivaciones.

Si la falla persiste, el disyuntor se abre de nuevo y se realiza una segunda tentativa de reconexión algunos instantes más tarde.

Una tercera tentativa se efectúa algunos segundos después y únicamente si la falla persiste todavía el disyuntor ubicado al principio permanece definitivamente abierto, en vista de que la falla permanente está localizada en la sección que lo protege directamente.

El sistema puede comprender acometidas protegidas por disyuntores. Si la falla se localiza en una acometida, el disyuntor correspondiente se abre al término de su intervalo de selectividad.

Este disyuntor de derivación está equipado de un disyuntor de ciclo lento que efectuará como el anterior, dos tentativas de reconexión o más para tratar de eliminar una falla eventual semi-permanente.

### 8.2. Sistema de cuenta de paso

Los sistemas de cuenta de paso son instalados en las derivaciones de las arterias equipadas de interruptores. Estos cuentan el número de tentativas de reconexión efectuadas por el disyuntor de protección del rama! y ordenan la apertura del interruptor que controlan durante la ausencia de tensión en el rango prescrito por su regulación. Estos se cierran en la próxima ausencia de tensión. Si dejan de pro



ducirse estas ausencias de tensión luego de la apertura de un interruptor, quiere decir que esta maniobra ha eliminado la falla y que el funcionamiento ha podido reiniciarse normalmente en el resto del sistema.

Los reconectores de los disyuntores que protegen las derivaciones que contienen acometidas equipadas con interruptores comandados por sistemas de cuenta de paso, son previstos para efectuar tentativas.

### 8.3. Búsqueda de la resistencia de tierra

El dispositivo de búsqueda de resistencia de tierras es un automatismo puesto en marcha por la protección sensible que ya hemos mencionado. Este está instalado en las subestaciones de fuente y ordena sucesivamente la desconexión y luego la reconexión de todos los disyuntores de la subestación y detiene su recorrido en el disyuntor cuya apertura ha hecho desaparecer la falla.

El automatismo es entonces desalertado mientras que el reconector de la falla correspondiente es puesto en marcha para efectuar los ciclos anteriormente descritos.

## 9 - EVOLUCION TECNOLOGICA DE LOS RELES DE PROTECCION

Todos los sistemas que permiten detectar la presencia de una falla, y todos los automatismos que están asociados a ellos, pueden actualmente ser ejecutados por las tecnologías en base de relés electromagnéticos o de componentes electrónicos.

Los primeros están bien comprobados, existen y han estado siendo perfeccionados desde hace años. Sus limitaciones son bien conocidas, consumen V.A. y funcionan relativamente lento. No presentan ninguna dificultad particular de instalación y dan entera satisfacción en muchos casos.

Las protecciones electrónicas existen en el mercado desde hace varios años. Son de una utilización más flexible que las protecciones electromagnéticas y de una velocidad dos a tres veces mayor para consumos diez veces más bajos. No ofrecen una solución ideal para todas las dificultades. Su bajo consumo permite en especial realizar economías importantes en los equipos de medidas; algunas de ellas son en realidad capaces de funcionar antes de que los transformadores de corriente estén saturados.

Sin embargo, se requiere de una cierta prudencia para adoptar estas nuevas protecciones, ya que en el estado actual de la técnica no se puede todavía considerar la posibilidad de explotarlas como las antiguas. El envejecimiento de los componentes electrónicos es conocido estadística-



mente pero una falla aleatoria en un elemento puede producirse en cualquier momento. El plan de protección debe pues ser establecido teniendo en cuenta esta posible causa de falla. Las operaciones de mantenimiento y las recargas disponibles deben también adelantarse a estos materiales. En resumen, todos los antecedentes que han sido necesarios para conocer y utilizar correctamente las protecciones electromagnéticas, tienen que repetirse para las protecciones electrónicas.

Las condiciones de conexión, sin embargo no son equivalentes, debido a la fragilidad de los semi-conductores frente a las sobretensiones y a su velocidad de funcionamiento. El aislamiento y las constantes de tiempos de los relés electro-magnéticos, son generalmente suficientes para que su funcionamiento no se encuentre perturbado por los elementos extraños localizados en las subestaciones. No sucede lo mismo con los relés electrónicos. Su utilización implica la protección de todos los conductores que desembocan a ellos, de la radiación electromagnética a alta frecuencia cuyos conductores de alta tensión contienen en el momento de las maniobras, seccionadores o divisores capacitivos por ejemplo. Los descuidos en este punto conducen a problemas seguros. Con el fin de evitarlos es posible que las tendencias actuales consistan en tomar excesivas precauciones. Seguramente en algunos años más la experiencia permita perfeccionar en este campo una tecnología económica y eficaz.

\*\*\*\*\*

#### CONCLUSIONES:

La breve revisión que acabamos de dar acerca de las protecciones de los sistemas, no puede constituir una introducción a los estudios técnicos y tecnológicos avanzados de los constructores y usuarios.

Sus esfuerzos comunes tienden a reducir la relación energía no distribuida/energía generada, que mide la eficacia de un plan y de un sistema de protección.

En 20 años esta relación ha pasado en Francia, de 1/10.000 a 1/100.000. Este resultado ha sido obtenido claro está, mejorando las utilizaciones de las protecciones, pero también eliminando las causas de funcionamiento intempestivo y facilitando la explotación del sistema en las situaciones anormales, campo en el cual no hay duda de que es más fácil introducir mejoras.

Las computadoras industriales intervienen en los sistemas de comando de los procedimientos, y lo mismo sucede en la recolección y el procesamiento de los datos y en el telecomando de las subestaciones. Se puede pensar por lo tanto que próximamente los automatismos asociados a las protecciones y las protecciones contra las situaciones anormales del sistema y de elementos del mismo, podrán ser ejecutados por computadora. Pero cuanto tiempo deberá transcurrir para que las propias protecciones sean confiadas a las computadoras? El nivel de seguridad exigido en la explotación de estas subestaciones es tal que los sistemas repetitivos de protección seguirán siendo utilizados durante algún tiempo.