

Protección de Alimentadores de Distribución contra Fallas Simultáneas

Eliseo Alcázar Ramírez, David Sánchez Escobedo, Francisco Vázquez Estudillo y Héctor J. Altuve Ferrer
Schweitzer Engineering Laboratories, S.A. de C.V.

Jorge Betanzos Manuel y Mario Vázquez Pablo
Comisión Federal de Electricidad

Resumen—En el presente artículo se analiza el problema de pérdida de coordinación de protecciones de sobrecorriente en circuitos de distribución para fallas simultáneas en alimentadores. Este problema por lo general no se contempla en los procedimientos de coordinación de protecciones de las empresas eléctricas. En el artículo se analizan los casos en que ocurre la pérdida de coordinación entre los relevadores de los alimentadores fallados y el relevador del lado de baja tensión del transformador. Se proponen cuatro alternativas de solución, en que se aprovechan las capacidades de los relevadores digitales. Finalmente, se analiza un caso real de operación correcta de uno de estos esquemas.

I. INTRODUCCIÓN

La protección de los alimentadores de distribución en la subestación se lleva a cabo mediante relevadores con elementos de sobrecorriente instantáneos (50) y de tiempo inverso (51). Los elementos instantáneos se utilizan para liberar las fallas cercanas a la barra, que normalmente originan corrientes de valores altos; los elementos de tiempo inverso se utilizan para la coordinación con dispositivos localizados a lo largo del alimentador y en algunos ramales, como restauradores, seccionalizadores y fusibles; estos relevadores también son coordinados con el relevador del interruptor de baja tensión del transformador, que tiene un elemento de sobrecorriente de tiempo inverso, y que hace la función de protección de respaldo de los alimentadores.

La coordinación entre los elementos de tiempo inverso de los alimentadores y el elemento de tiempo inverso del relevador del lado de baja tensión transformador se garantiza dejando un margen de tiempo de coordinación entre las curvas tiempo-corriente de los relevadores. Esta es la práctica de coordinación de relevadores recomendada en el Procedimiento para la Coordinación de Protecciones de Sobrecorriente en Sistemas de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad (margen de coordinación entre 0.3 y 0.4 s) [1].

Actualmente, con el objetivo de aprovechar los derechos de vía, se construyen circuitos de distribución en que dos alimentadores van sobre las mismas estructuras, conformando una configuración de doble circuito. Se utilizan también con frecuencia enlaces entre alimentadores con cuchillas normalmente abiertas, para restablecer el servicio a ciertas cargas de alimentadores fallados.

Estas configuraciones pueden dar lugar a fallas simultáneas, que involucran dos o más alimentadores del circuito. Para este tipo de fallas puede perderse la coordinación entre las protecciones de los alimentadores fallados y la protección del interruptor de baja tensión del transformador.

En este artículo se analiza el comportamiento de la corriente de falla y la operación de la protección para fallas en un solo alimentador de distribución, y para fallas simultáneas. Se muestran los casos en los que existe pérdida de coordinación. Se presentan también cuatro esquemas de protección que evitan esta pérdida de coordinación, basados en las capacidades de los relevadores digitales. Finalmente, se analiza un caso real de operación correcta de uno de estos esquemas.

II. FALLAS SIMULTÁNEAS

Las fallas simultáneas, o fallas que involucran dos o más alimentadores de un sistema de distribución, pueden ocurrir por varias causas. Una de ellas es la configuración en que dos alimentadores están colocados sobre las mismas estructuras, conformando un arreglo de doble circuito. Este arreglo se está utilizando cada vez más por las empresas eléctricas, con el objetivo de aprovechar al máximo los derechos de vía disponibles.

Otra posible causa de fallas simultáneas es la existencia de enlaces normalmente abiertos entre alimentadores, con el objetivo de alimentar ciertas cargas de un alimentador fallado, desde otro alimentador, en condiciones de emergencia.

En la Fig. 1 se muestra a modo de ejemplo una configuración de este tipo. En condiciones normales, los

cuatro alimentadores operan de manera independiente. Si ocurre, por ejemplo, una falla permanente al inicio del alimentador A2, es posible restaurar el servicio a las cargas de la parte final de ese alimentador, de la forma siguiente: una vez que operó el interruptor de A2, se abre la cuchilla normalmente cerrada (NC) de A2, y se cierra la cuchilla normalmente abierta (NA) del enlace entre los alimentadores A1 y A2. Como esta es una maniobra poco frecuente, es necesario cada cierto tiempo cerrar y abrir las cuchillas NA de los enlaces entre alimentadores, como una actividad de mantenimiento preventivo. Si durante esta maniobra hay una falla en la propia cuchilla, se tiene una falla simultánea entre los dos alimentadores conectados a ese enlace. El otro caso posible de falla simultánea es que ocurra una falla en uno de los dos alimentadores cuando la cuchilla de enlace entre ellos está cerrada.

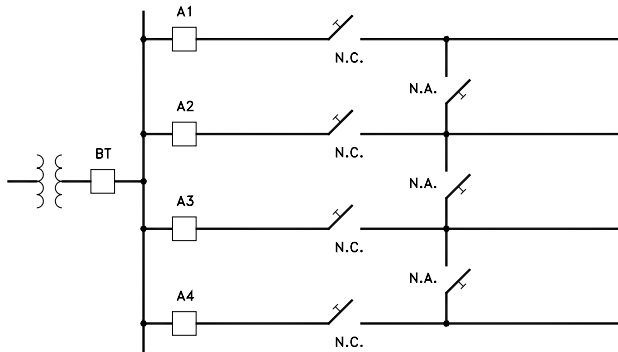


Fig. 1. Circuito de distribución con enlaces entre alimentadores.

Otra posible causa de fallas simultáneas en alimentadores de distribución son las condiciones meteorológicas severas. En este caso la falla simultánea puede ocurrir con independencia de la topología o del tipo de estructuras que tenga el circuito de distribución, e involucrar más de dos alimentadores.

III. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

A. Alimentadores protegidos con elementos de tiempo inverso (51) solamente

Cuando en un circuito de distribución ocurre una falla en un solo alimentador, la corriente de falla que mide el relevador del alimentador es prácticamente igual a la corriente que mide el relevador del interruptor del lado de baja tensión del transformador (ver Fig. 2). Esta es la condición para la cual típicamente se hace la coordinación entre los relevadores de tiempo inverso de los alimentadores y el transformador.

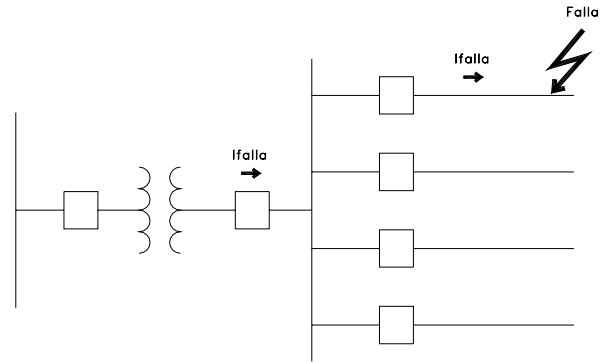


Fig. 2. Corrientes para una falla en un alimentador.

En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de esa coordinación. Supóngase que la corriente de cortocircuito máxima para una falla al inicio del alimentador es 5000 A. Para ese valor de corriente se selecciona para el relevador del transformador una curva tal, que la separación entre ambas curvas sea igual al intervalo de coordinación (0.3 s en este ejemplo). Para cualquier corriente de falla menor que 5000 A, la separación entre las curvas es mayor que 0.3 s, lo cual garantiza la coordinación. Por ejemplo (ver Fig. 3), para una falla de 2000 A, la separación entre las curvas es de casi 2 s.

Cuando ocurre una falla simultánea que involucra a dos alimentadores, la corriente que circula por cada alimentador es aproximadamente la mitad de la corriente total de falla, pero la corriente que mide el relevador del interruptor de baja tensión del transformador es la suma de estas dos corrientes (ver Fig. 4), lo que trae como consecuencia la pérdida de coordinación, como se muestra en la Fig. 5. En este caso, si se supone una corriente de falla de 2000 A en cada alimentador, el tiempo de operación de cada relevador de alimentador es aproximadamente 1.3 s. El relevador del transformador mide una corriente de 4000 A, y su tiempo de operación está por debajo de 0.6 s, es decir, opera antes que los relevadores de los alimentadores fallados.

B. Alimentadores protegidos con elementos de tiempo inverso (51) e instantáneos (50)

La protección de alimentadores de distribución por lo general incluye también un elemento de sobrecorriente instantáneo (50). La adición de este elemento mejora la coordinación para fallas simultáneas, pero no resuelve totalmente el problema. A continuación se analizan dos casos:

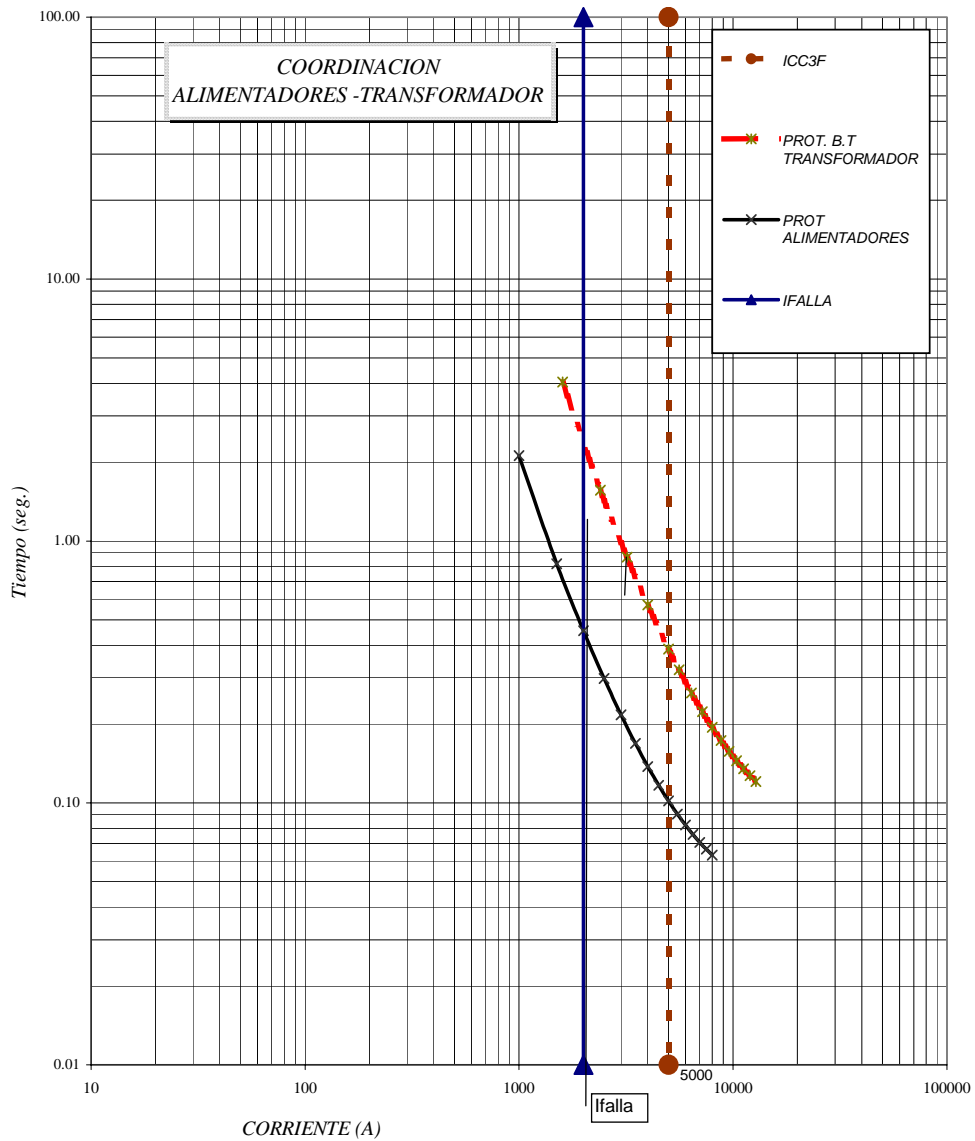


Fig. 3. Coordinación correcta para una falla en un alimentador.

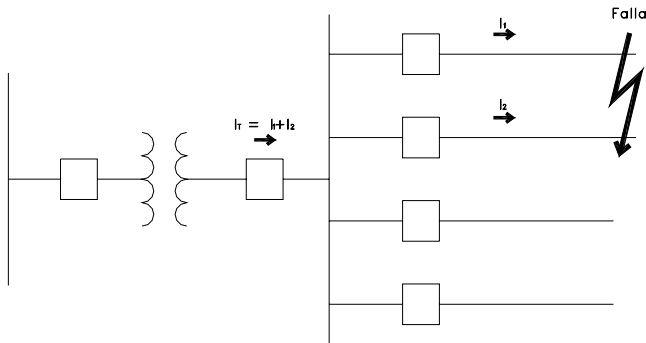


Fig. 4. Corrientes para una falla simultánea en dos alimentadores.

a) Falla dentro del alcance de los elementos instantáneos de los relevadores de los alimentadores

Esta situación se da típicamente para una falla sólida en ambos circuitos (es decir, sin resistencia de falla), cerca de la subestación. En este caso la corriente de cortocircuito es elevada, y operan los elementos instantáneos (50) de los relevadores de los alimentadores. Esto garantiza la coordinación, como puede observarse en la Fig. 6. En este ejemplo los elementos 50 de los alimentadores están ajustados a 3000 A primarios, y la corriente de falla en cada alimentador es 4000 A. La separación entre los tiempos de operación de los

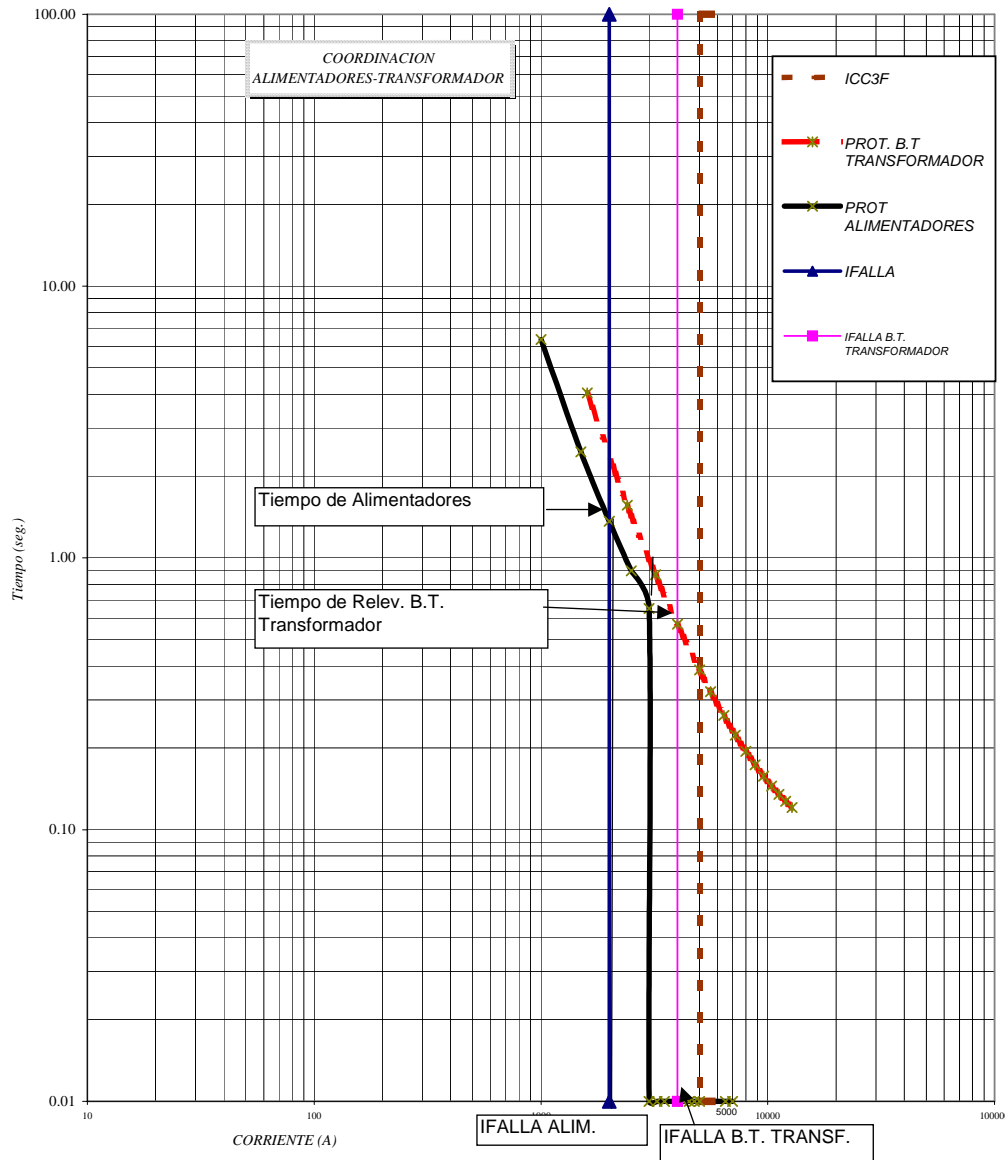


Fig. 5. La coordinación se pierde para una falla simultánea en dos alimentadores.

elementos 50 de los alimentadores y el elemento 51 del transformador es de casi 0.6 s, lo que asegura una operación correcta.

b) Falla fuera del alcance de los elementos instantáneos

Esta situación puede presentarse para fallas localizadas cerca de los extremos de los alimentadores, o incluso para fallas cercanas a la subestación, pero con cierta resistencia de falla. En este caso los elementos de los alimentadores que operan son los de tiempo inverso (51). Por tanto, la situación que se presenta es la que se describe en las Fig. 4 y 5. Es decir, la corriente que mide el relevador del

interruptor de baja tensión del transformador es la suma de las corrientes de los alimentadores, más la corriente de carga de los otros alimentadores, por lo que hay una pérdida de coordinación y una operación incorrecta.

IV. ESQUEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA FALLAS SIMULTÁNEAS

Del análisis anterior se concluye que la coordinación entre el relevador del lado de baja tensión del transformador y los relevadores de los alimentadores se pierde cuando la falla simultánea ocurre fuera del alcance de los elementos instantáneos de los alimentadores.

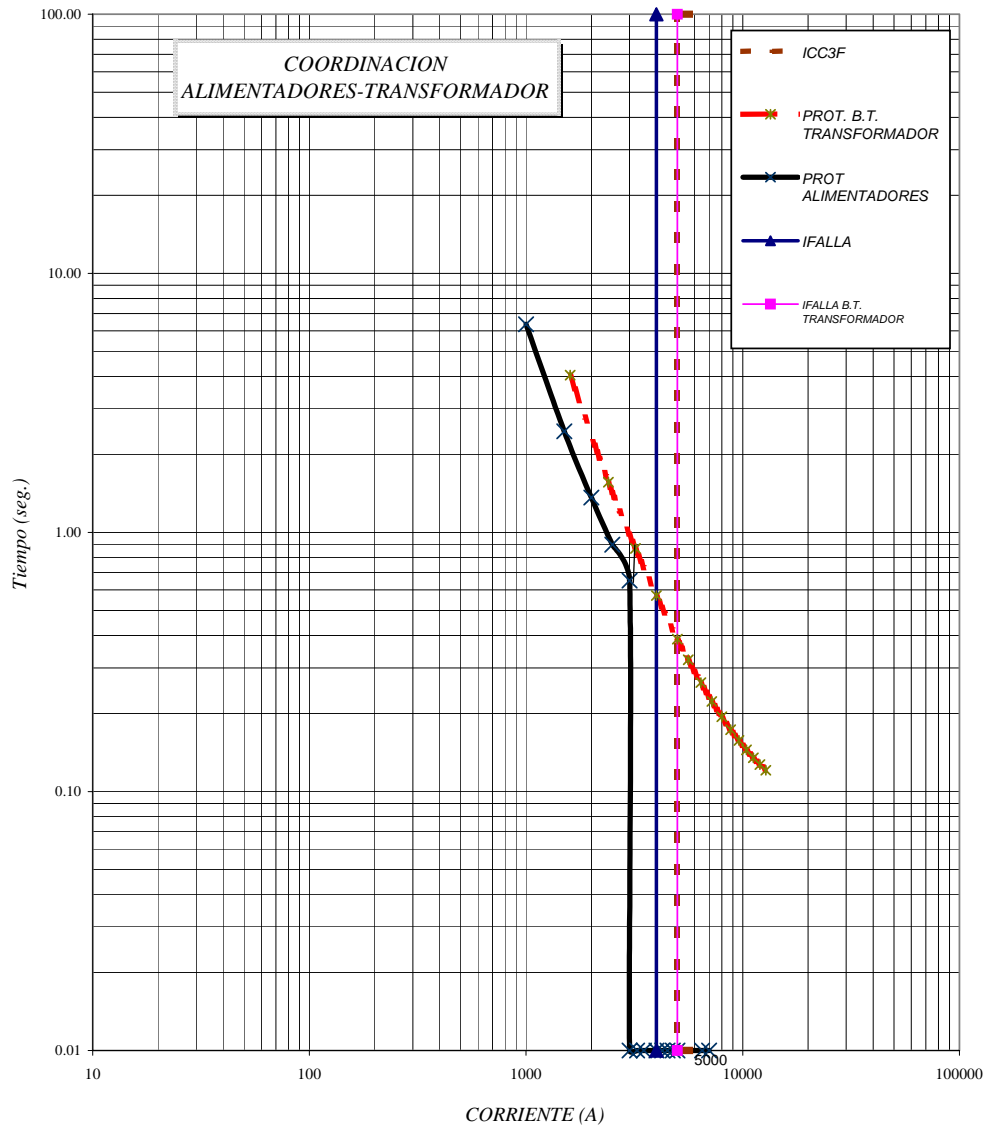


Fig. 6. Coordinación correcta para falla simultánea dentro del alcance de los elementos instantáneos.

La solución de este problema consiste en detectar la falla simultánea y acelerar el disparo de los relevadores de los alimentadores fallados, para preservar la coordinación. Debe darse un pequeño retardo intencional de seguridad (un valor adecuado es de 3 a 6 ciclos) para evitar operaciones incorrectas por efecto de la corriente de restablecimiento de carga fría de los alimentadores. A continuación se describen cuatro posibles esquemas de protección contra fallas simultáneas.

A. *Esquema con lógica alambrada entre los relevadores de los alimentadores*

En este esquema (ver Fig. 7) se utilizan las salidas

instantáneas (detectores de arranque) de los elementos de tiempo inverso de fase (51P) y tierra (51G) de los alimentadores como base para detectar las fallas simultáneas. Estos elementos sobrealcanzan a los elementos instantáneos y, por tanto, detectan las fallas que pueden provocar la pérdida de coordinación (fallas fuera del alcance de los elementos instantáneos).

A modo de ejemplo, en la Fig. 7 se muestra la lógica para dos alimentadores. El relevador de cada alimentador, al detectar una falla dentro del alcance de su elemento 51P y/o 51G, de manera instantánea cierra un contacto de salida (OUT104). El cierre de cada contacto

activa la variable lógica del otro relevador de alimentador (IN102). Esas variables lógicas pasan por un temporizador de seguridad, y habilitan una compuerta AND. Si el relevador correspondiente está detectando la falla (51P = 1 ó 51G = 1), se emite la señal de disparo acelerado de ese alimentador. Para falla simultánea, se disparan los interruptores de ambos alimentadores. Para una falla en un solo alimentador, se dispara sólo ese alimentador.

Los relevadores de los alimentadores inician también el recierre automático de sus respectivos interruptores. Este recierre se hace en forma secuencial, de modo que uno de los interruptores de los alimentadores fallados recierre primero. Si la falla está aún presente, no reaparece como falla simultánea, sino como falla simple en ese alimentador.

El temporizador de seguridad del esquema tiene un tiempo de operación (T_o), que típicamente se ajusta en 3 a 6 ciclos, para evitar la operación incorrecta del esquema por corrientes de carga fría. El contador tiene un tiempo de reposición (T_r), que debe ser mayor que el tiempo de apertura del interruptor. Un valor de ajuste típico es 9 ciclos.

Este esquema tiene la ventaja de que puede aplicarse con cualquier tipo de relevador digital de sobrecorriente que cuente con salidas lógicas programables a contactos, y con entradas lógicas temporizables. Puede, por ejemplo, aplicarse como una mejora en instalaciones existentes. Una desventaja del esquema es que los cables de cobre no son supervisados y, si fallan, no hay señal de alarma, y puede perderse la coordinación si ocurre una falla simultánea. Otro inconveniente es que el alambrado

es complejo cuando el esquema incluye varios alimentadores.

B. Esquema con lógica alambrada entre los relevadores de los alimentadores y el relevador del lado de baja tensión del transformador

En este esquema (ver Fig. 8) se utiliza el relevador del lado de baja tensión del transformador como concentrador de información y como procesador lógico de esa información. Se requiere para ello un relevador digital de sobrecorriente con salidas lógicas programables a contactos, con entradas lógicas temporizables, y con capacidad de programación de ecuaciones lógicas.

En la Fig. 8 puede observarse que para que un alimentador emita una señal de salida de disparo acelerado, tiene que estar operando uno de sus detectores de arranque (51P ó 51G), y al menos uno de los detectores de arranque de otro alimentador.

Este esquema tiene, con respecto al anterior, la ventaja de que, al estar concentrada toda la información en un solo relevador, se dispone de registro secuencial de eventos de las fallas en los alimentadores, lo que facilita el análisis de estas fallas. Por el contrario, el cableado es más complejo que en el esquema anterior, pues hay que llevar señales lógicas de todos los relevadores de los alimentadores al relevador del transformador, y llevar las salidas de disparo de este relevador a los relevadores o a los circuitos de disparo de los alimentadores.

C. Esquema con lógica basada en la comunicación relevador-relevador entre los alimentadores

En este esquema (ver Fig. 9) se requieren relevadores

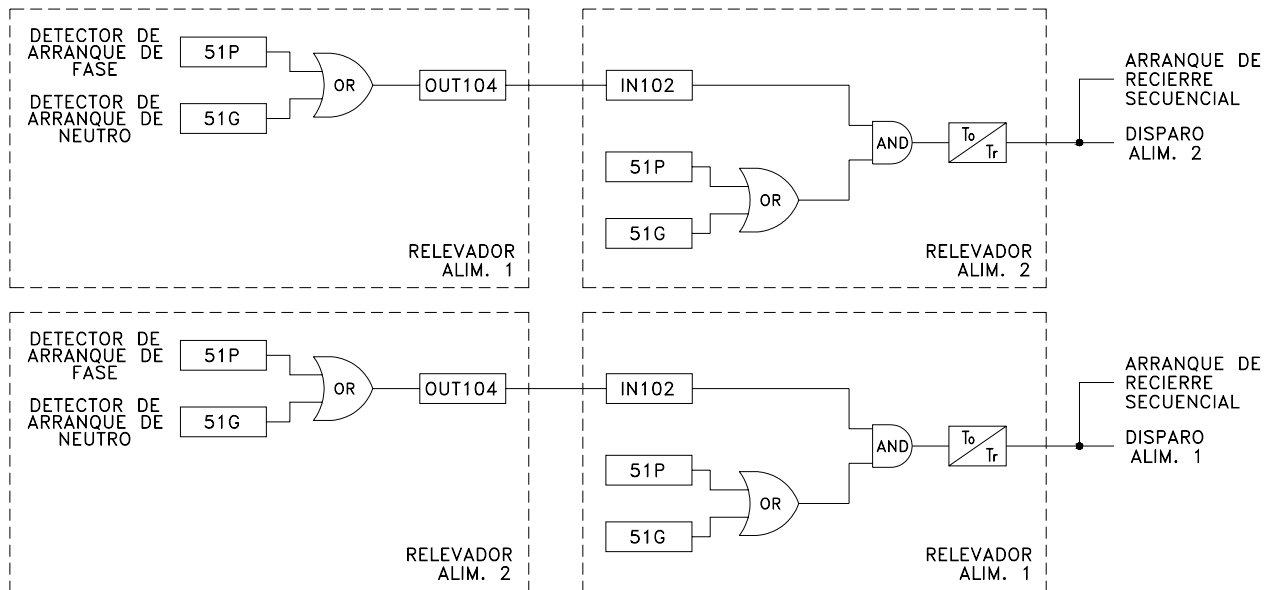


Fig. 7. Esquema con lógica alambrada entre los relevadores de los alimentadores.

digitales con capacidad de comunicación directa relevador-relevador. Esta comunicación puede hacerse por fibra óptica o por conductores de cobre. En cualquier variante los enlaces entre relevadores son supervisados continuamente por cada relevador, de manera que, si falla algún enlace, se emite una señal de alarma; esto permite reparar el enlace fallado antes que ocurra una falla simultánea y se pierda la coordinación.

D. Esquema con lógica basada en la comunicación relevador-relevador y en un procesador de protección

En este esquema (ver Fig. 10) se añade un procesador de protección, que sirve como concentrador y procesador lógico de la información de los relevadores de los alimentadores. Los enlaces pueden ser de fibra óptica o cobre, y están supervisados en todo momento. La ventaja principal de este esquema con respecto a los anteriores es que el procesador de protección puede realizar otras funciones, tales como el disparo rápido de barras, la protección de respaldo de fallo de interruptor y operaciones de restablecimiento automático de transformadores no fallados [2].

V. OPERACIÓN DURANTE UNA FALLA REAL

En la Subestación Eléctrica Oaxaca Uno, perteneciente a la División de Distribución Sureste de la Comisión Federal de Electricidad, se encuentra en operación desde

el 16 de Diciembre de 2003 un esquema con lógica alambrada entre los relevadores de los alimentadores y el relevador del lado de baja tensión del transformador, para cuatro alimentadores (ver Fig. 8). El relevador del transformador, que sirve como elemento concentrador y procesador de información, cuenta con la capacidad de programación y ejecución de ecuaciones lógicas.

El diagrama de interconexión por conductores de cobre de los relevadores se muestra en la Fig. 11. Los contactos OUT104 de los relevadores de los alimentadores (denominados, en la subestación Oaxaca Uno, alimentadores OAX-4010, OAX-4020, OAX-4040 y OAX-4060) están conectados a las entradas IN103-IN106 del relevador del transformador. Este relevador tiene programadas las ecuaciones que ejecutan la lógica del esquema de la Fig. 8. Los contactos OUT104-OUT107 del relevador del transformador están a su vez alambrados a los circuitos de disparo de los interruptores de los alimentadores OAX-4010, OAX-4020, OAX-4040 y OAX-4060. El único elemento del esquema de la Fig. 8 que no está implementado en la Subestación Oaxaca Uno es el recierre secuencial de los interruptores de alimentadores.

A modo de ejemplo de la operación correcta de este esquema para una falla simultánea, en la Fig.12 se presenta el registro capturado por el relevador del lado de baja tensión del transformador para un evento real.

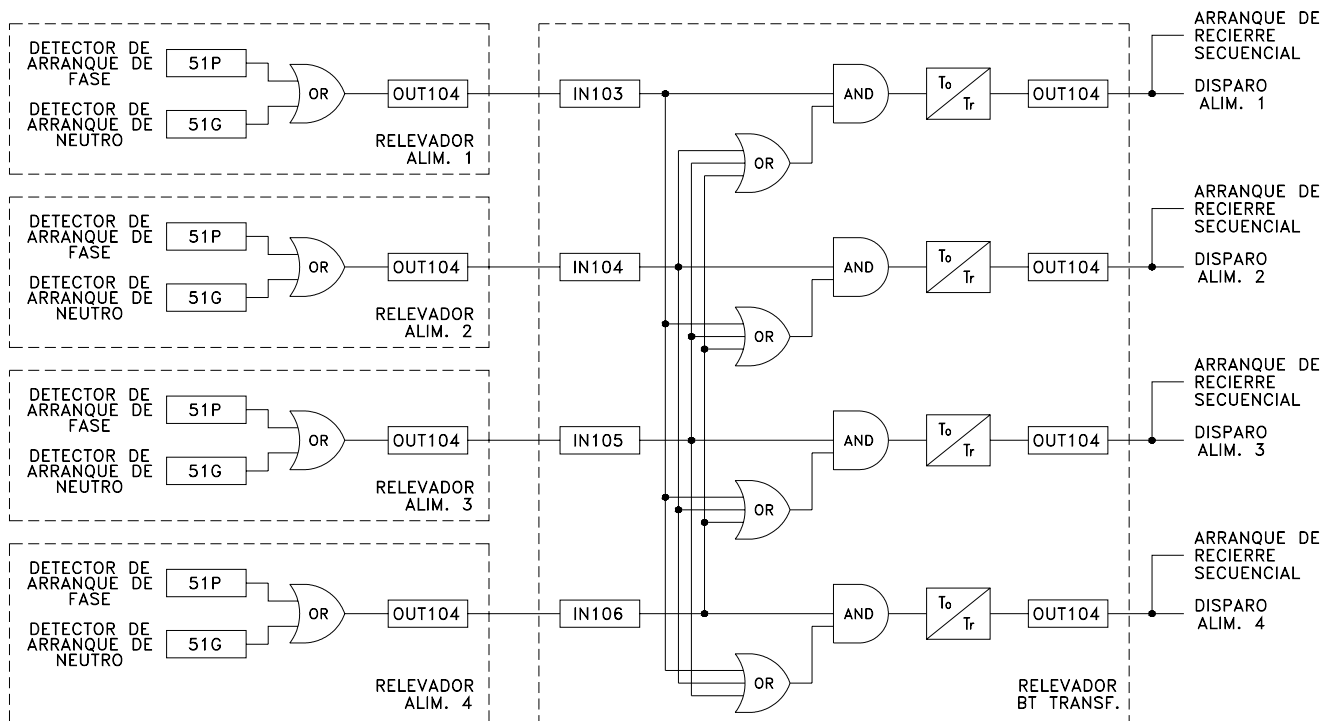


Fig. 8. Esquema con lógica alambrada entre los relevadores de los alimentadores y el relevador del lado de baja tensión del transformador.

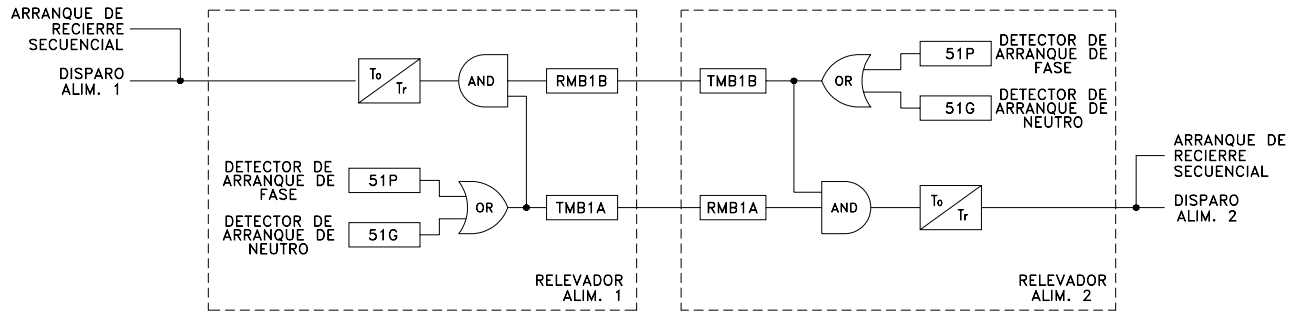


Fig. 9. Esquema con lógica basada en la comunicación relevador-relevador entre los alimentadores.

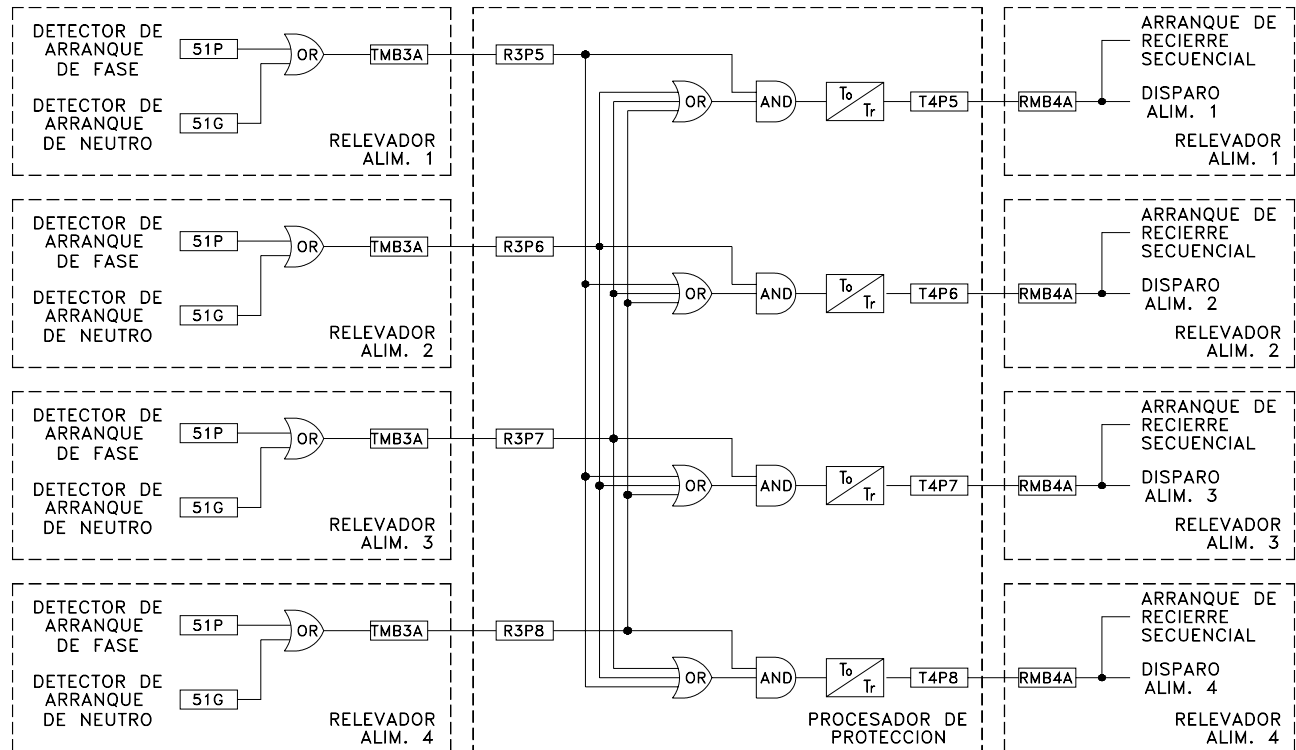


Fig. 10. Esquema con lógica basada en la comunicación relevador-relevador y en un procesador de protección.

El día 8 de Mayo de 2005, a las 18:28:22 horas, ocurrió una falla en la subestación eléctrica Oaxaca Uno. Por condiciones ambientales de lluvia y descargas atmosféricas severas, esta falla involucró tres alimentadores: OAX-4010, OAX-4020 y OAX-4040. En el oscilograma de la Fig.12 se muestra el evento capturado por el relevador del lado de baja tensión del transformador. Se observa que el evento se inició en el ciclo 3.75 (indicado por la línea discontinua A en la Fig.12), activándose el elemento de sobrecorriente de fase 51P; posteriormente se activó el elemento de

sobrecorriente de tierra 51G en el ciclo 4.25 (línea B). El evento entre los instantes A y B provocó una corriente de aproximadamente 2280 A. En el ciclo 5 (línea C) se activó la entrada IN105, indicando que la protección del alimentador OAX-4040 detectó corriente de falla; después se activó la entrada IN104, indicando que el alimentador OAX-4020 también detectó la falla. Se observa que entre los instantes denominados C y D la corriente aumenta a un valor de 4000 A aproximadamente. En el instante señalado como D (ciclo 7.25) se inician los temporizadores de la lógica de fallas

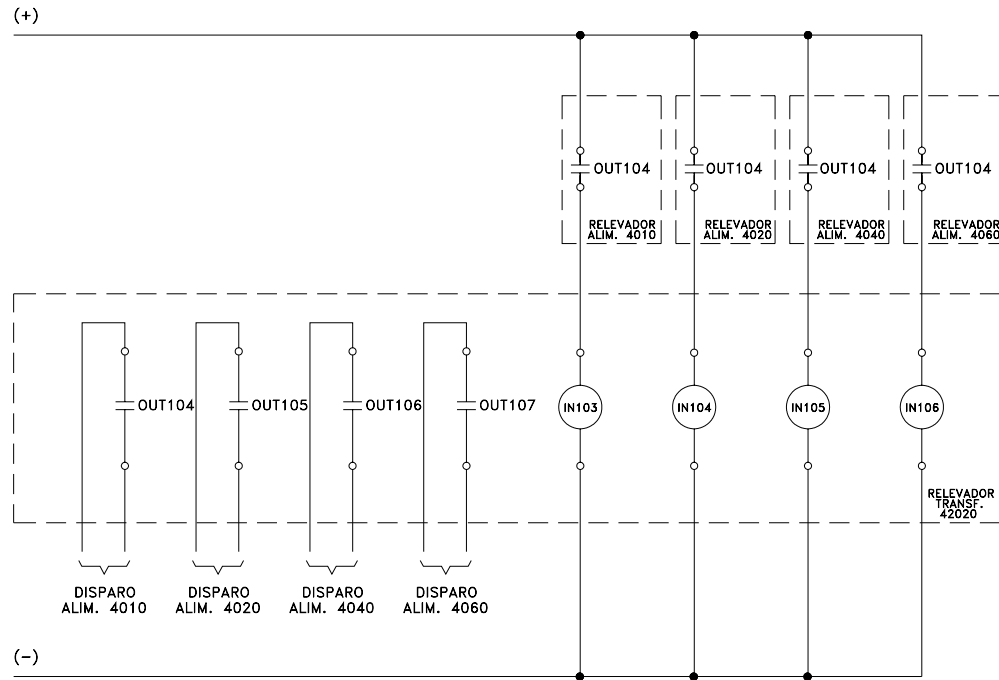


Fig. 11. Diagrama de interconexión de los relevadores del esquema de protección contra fallas simultáneas de la Subestación Oaxaca Uno.

simultáneas, resultando en la activación de las salidas OUT105 (disparo del alimentador 4020) y OUT106 (disparo del alimentador 4040) en el instante F (ciclo 10.25) del registro oscilográfico.

También puede observarse en la Fig. 12 que en el instante E (ciclo 8) se activó la entrada IN103, indicando que el alimentador 4010 detectó la falla; dado que las entradas IN104 e IN105 aún estaban activadas, se inició el temporizador para este alimentador, concluyendo en el instante G (ciclo 11) con la activación de la salida OUT103 de disparo del alimentador 4010.

El tiempo ajustado en el temporizador del relevador del transformador para generar el disparo es de 3 ciclos. Esto se comprueba al analizar los tiempos de arranque y terminación de la lógica de fallas simultáneas en el oscilograma de la Fig. 12.

El operador del Centro de Operación de la ciudad de Oaxaca, después de ocurrido el evento, demoró aproximadamente dos minutos en restablecer manualmente los alimentadores (aún no está habilitado el recierre automático en el esquema). De no haber existido el esquema de protección contra fallas simultáneas, posiblemente hubiese operado el interruptor del lado de baja tensión del transformador, lo cual requeriría mayor tiempo de restablecimiento, ya que se tendría que reportar la maniobra a la Subárea de Control correspondiente, y esperar instrucciones para el restablecimiento. Esto hubiera provocado una demora de 10 a 30 minutos en el restablecimiento del servicio.

VI. CONCLUSIONES

- En circuitos de distribución pueden ocurrir fallas que involucran dos o más alimentadores, denominadas fallas simultáneas. Entre las posibles causas de estas fallas están las configuraciones de doble circuito de alimentadores, los enlaces entre alimentadores con cuchillas normalmente abiertas y las condiciones meteorológicas severas.
- Cuando ocurre una falla simultánea en dos o más alimentadores de distribución, puede perderse la coordinación entre los relevadores de los alimentadores y el relevador del lado de baja tensión del transformador.
- La pérdida de coordinación ocurre para fallas fuera del alcance de los elementos instantáneos de los alimentadores. Estas pueden ser fallas alejadas de la subestación, o incluso fallas cercanas, con cierta impedancia de falla.
- En este artículo se describen cuatro esquemas de protección contra fallas simultáneas en alimentadores. Estos esquemas evitan el disparo incorrecto del interruptor del lado de baja tensión del transformador.
- El esquema con lógica alamburada entre los relevadores de los alimentadores puede aplicarse con cualquier relevador digital que cuente con salidas programables y entradas lógicas temporizables. El alamburado puede

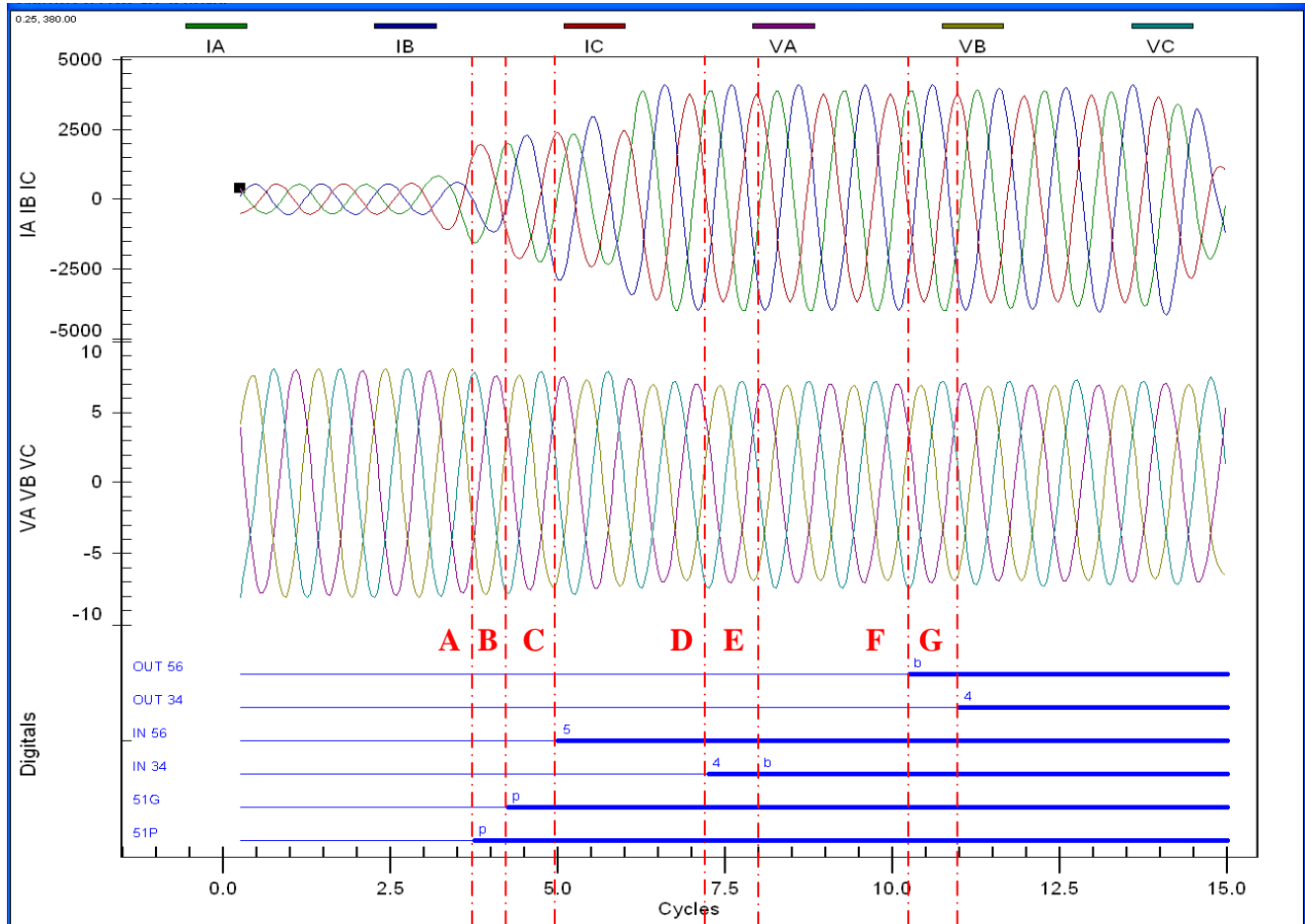


Fig.12. Registro de una falla simultánea real por el relevador del lado de baja del transformador de la Subestación Oaxaca Uno.

llegar a ser complejo, y no es supervisado por los relevadores.

- El esquema con lógica alambrada entre los relevadores de los alimentadores y el relevador del lado de baja tensión del transformador requiere un relevador digital con lógica programable; tiene la ventaja de que se dispone de registro secuencial de eventos para fallas en los alimentadores, pues la información está concentrada en un solo relevador. Un esquema de este tipo, instalado en la Subestación Oaxaca Uno, ha operado satisfactoriamente para fallas simultáneas.
- El esquema con lógica basada en la comunicación relevador-relevador entre los alimentadores tiene la ventaja de que los enlaces entre relevadores son supervisados continuamente, y se emite una alarma si falla un enlace. Esto incrementa la confiabilidad del esquema.
- El esquema con lógica basada en la comunicación relevador-relevador y en un procesador de protección

tiene la ventaja de que el procesador puede realizar otras funciones, como disparo rápido de barras, respaldo de fallo de interruptor y reconexión automática de transformadores.

- Con estos esquemas se mejora la calidad del servicio, al evitar la desconexión de la carga de los alimentadores no fallados.

REFERENCIAS

- [1] Comisión Federal de Electricidad, *GOM-1520: Procedimiento para Coordinación de Protecciones de Sobrecorriente en Sistemas de Distribución*, Marzo de 1988.
- [2] D. Sánchez, E. Alcázar, O. Márquez, H. Altuve, A. Martínez, "Aplicación de relevadores multifuncionales y procesadores de protección en subestaciones de distribución", *Décimonovena Reunión de Verano de Potencia del IEEE Sección México, Acapulco, Gro.*, Julio 2005.

BIOGRAFÍAS

Eliseo Alcázar Ramírez se graduó de Ingeniero Electricista en el Instituto Tecnológico de Oaxaca en 1998. De 1999 al 2001 se desempeñó como Jefe de Oficina de Protección, Control y Medición en CFE, División de Distribución Sureste, Zona Tehuantepec. De 2001 a 2004 trabajó como Jefe de Oficina de Protecciones Divisional en CFE, División de Distribución Sureste. Desarrolló actividades de supervisión, mantenimiento, mejoras, puesta a punto y puesta en servicio de esquemas de protección, control y medición en las entidades ya mencionadas. Tiene experiencia en análisis de fallas, estudios de cortocircuito, coordinación de protecciones y diseño de esquemas de protección de sistemas eléctricos de potencia. Desde Abril del 2004 trabaja como Ingeniero de Protección en Schweitzer Engineering Laboratories, S. A. de C. V. Su trabajo incluye el diseño de sistemas de protección, control y medición, así como la participación en puestas a punto, puestas en servicio y cursos de capacitación a ingenieros de empresas eléctricas y la industria.

David Sánchez Escobedo se graduó de Ingeniero Electricista en la Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica (FIMEE) de la Universidad de Guanajuato en 1994. De 1994 a 1998 se desempeñó como Jefe de Oficina de Protección y Medición en CFE Transmisión. De 1996 a 1998 cursó estudios de Posgrado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Guadalajara. En 1998 se desempeñó como Profesor en la Universidad Autónoma de Guadalajara. De 1998 a 2000 trabajó en la empresa INELAP-PQE como Ingeniero de Diseño de Sistemas de Protección. Desde Septiembre de 2000 trabaja como Ingeniero de Protección en Schweitzer Engineering Laboratories, S. A. de C. V. Su trabajo incluye el diseño de sistemas de protección y la impartición de cursos a ingenieros de empresas eléctricas y la industria.

Francisco Vázquez Estudillo se graduó de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) en 1989. Entre 1989 y 1991 realizó estudios de postgrado en Ingeniería Eléctrica, Opción Potencia, en la Universidad Veracruzana (UV). De 1991 a 1996 trabajó en la CFE, en diferentes oficinas de áreas de distribución de redes eléctricas, ocupando de 1996 a 2003 el puesto de Jefe de Oficina de Protección, Control y Medición en las Zonas Huatulco y Oaxaca de la División Sureste. En el año 2003 ingresó a Schweitzer Engineering Laboratories, S. A. de C. V., donde desempeña actualmente el puesto de Gerente de Ventas para la Región Sureste de México.

Héctor Jorge Altuve Ferrer se graduó de Ingeniero Electricista en la Universidad Central de Las Villas, Cuba, en 1969. Recibió el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Politécnico de Kiev, URSS, en 1981. De 1969 a 1993 trabajó como Profesor Titular en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Las Villas. De 1993 a 2001 fue Profesor Titular del Programa Doctoral de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Fue Profesor Visitante de Washington State University en el curso 1999-2000. Desde 2001 trabaja en Schweitzer Engineering Laboratories, S.A. de C.V., donde actualmente ocupa el puesto de Director General. Su área de investigación es la protección, control, medición y supervisión de sistemas eléctricos de potencia. Es Senior Member del IEEE y Conferencista Distinguido de su Sociedad de Potencia.

Jorge Betanzos Manuel se graduó en 1983 de Ingeniero Industrial Eléctrico en el Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO). En 1984 inició sus actividades en la CFE-División Sureste como Supervisor de Construcción. De 1986 a 1993 trabajó en la CFE-Región de Transmisión Sureste como Ingeniero de Protección, Control y Medición de la Zona Istmo (1986-1990) y la Zona Malpaso (1990-1993). De 1993 a 1997 se desempeñó como Jefe de la Oficina de Protecciones de la Zona de Distribución Oaxaca. De 1997 a 2000 se desempeñó como Jefe de la Oficina de Estudios de Redes de Alta Tensión del Departamento de Planeación en la CFE-División Sureste. Del 2000 a la fecha se ha desempeñado como Jefe del Departamento de Protecciones de la División Sureste. Está a cargo del proyecto de monitoreo de la calidad de la energía y del proyecto de modernización de los tableros de protección, control y medición de la División Sureste.

Mario Vázquez Pablo se graduó de Ingeniero Eléctrico en el Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO) en 1997. Desde Febrero de 1999 trabaja en CFE-División Sureste, Zona de Distribución San Cristóbal, adscrito a la Oficina de Subestaciones y Líneas, donde se desempeñó como Jefe de Oficina de Subestaciones y Líneas de 1999 a 2002, realizando trabajos de puesta en servicio de transformadores de potencia, puesta en servicio de tableros SISCOPROMM y mantenimiento de líneas de subtransmisión. En el año 2002 fue promovido para ocupar la Oficina de Subestaciones y Líneas, adscrita a la Zona de Distribución Oaxaca. Desde el 2003 es Jefe de la Oficina de Protecciones, atendiendo la especialidad de Protecciones Eléctricas. Sus responsabilidades incluyen la modernización de los esquemas de protección estáticos de las subestaciones de distribución a digitales, y la integración de estos sistemas.