

Esquema de Protección para Línea de 115 kV de Tres Terminales utilizando Relevadores de Distancia en Comparación Direccional

Martín R. Monjarás Méndez
CFE División de Distribución Bajío
Guanajuato, GTO, México

José Manuel Jaramillo Martínez
CFE División de Distribución Bajío
San Juan del Río, QRO, México

J. Ignacio Muñoz González
Schweitzer Engineering Laboratories, S.A. de C.V.
León, GTO, México

Resumen: Este artículo analiza la aplicación de un esquema de protección para línea de 115 kV de tres terminales, con relevadores de protección de distancia (21), en comparación direccional con lógica de disparo transferido permisivo por sobrealcance (POTT) multiterminal realizada por un procesador lógico, utilizando enlaces de comunicación por fibra óptica.

La necesidad de utilizar estos esquemas de protección se presenta en líneas de tres o más terminales que alimentan circuitos industriales en 115 kV, en donde no es posible aplicar la protección diferencial de línea debido a la presencia generalizada de múltiples cargas en derivación (taps).

En el artículo se presentan los criterios para aplicación y ajuste de los elementos y funciones de protección, así como la lógica necesaria para llevar a cabo la operación del esquema, además de realizar un análisis de operación para fallas simuladas en la línea protegida.

Palabras clave: Relevadores de protección, protección de líneas, teleprotección, enlace de comunicaciones, oscilogramas.

I. INTRODUCCIÓN

La Norma de Referencia NRF-041-CFE Esquemas Normalizados de Protecciones para Líneas de Transmisión, indica que para líneas cortas ($L < 10$ Km) en voltajes de 161 kV y menores, el esquema de protección debe ser protección diferencial de línea (87L) como protección primaria y protección direccional de sobrecorriente de tierra (67N) como protección de respaldo.

En conglomerados o parques industriales con plantas alimentadas en 115 kV, generalmente se tienen líneas menores de 10 kilómetros alimentando a varias subestaciones industriales conectadas en derivación.

En la mayoría de los casos, estas líneas forman parte de un anillo. Debido a la presencia de múltiples cargas intermedias, no es posible aplicar la protección diferencial

de línea (87L), presentándose una situación difícil en lo relativo a la protección de la línea, la cual típicamente se hace por medio de relevadores de distancia (21) como protección primaria, con un relevador direccional de sobrecorriente para fallas de fase a tierra (67N) como protección de respaldo. Pudiendo tener un esquema de comparación direccional si existe disponibilidad de enlace de comunicación entre subestaciones extremas de la línea.

Dada la reducida longitud de este tipo de líneas, en ocasiones es necesario reducir los alcances de la zona 1 de los relevadores de distancia, esto conduce a la pérdida de operación en alta velocidad (menos de 3 ciclos) en los relevadores de protección primaria de línea y compromete la coordinación de protecciones entre las líneas del anillo de subtransmisión.

Para superar esta situación, es necesario aplicar un esquema de protección piloto (teleprotección) que garantice la operación de la protección en alta velocidad para fallas en cualquier localidad de la línea, incluyendo las múltiples derivaciones. Para aplicar un esquema de teleprotección es necesario contar con un enlace de comunicaciones entre terminales de la línea.

Factores adicionales de complicación son: el número de plantas industriales conectadas en derivación a la línea de 115 kV y la presencia de generadores en las plantas industriales operando sincronizados al sistema de CFE.

El esquema apropiado para la protección de líneas en esta situación debe tener las siguientes características:

- Operación en alta velocidad para fallas en cualquier punto de la línea.
- Canales de comunicación entre subestaciones.
- Esquema de teleprotección (preferentemente POTT y con elementos direccionales de sobrecorriente de secuencia negativa para mejor cobertura de fallas de fase a tierra con resistencia de arco).
- En los casos de líneas de 3 o más terminales: Utilizar un procesador lógico para llevar a cabo las operaciones en la lógica de comparación direccional POTT entre todas las terminales de la línea, o al menos, entre las terminales que tengan aportación a la falla.
- Utilización de relevadores de protección multifunción con elementos de distancia y direccionales de sobrecorriente (21/67) con protocolo de comunicaciones para lógica interna relevador-relevador con el fin de minimizar los tiempos de operación de la protección de la línea

y poder llevar a cabo las operaciones de lógica en el procesador.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La propuesta para aplicación de esta solución es en el anillo de 115 kV de San Juan del Río, Qro., en la línea SJP-73290-SJR, el diagrama unifilar correspondiente es:

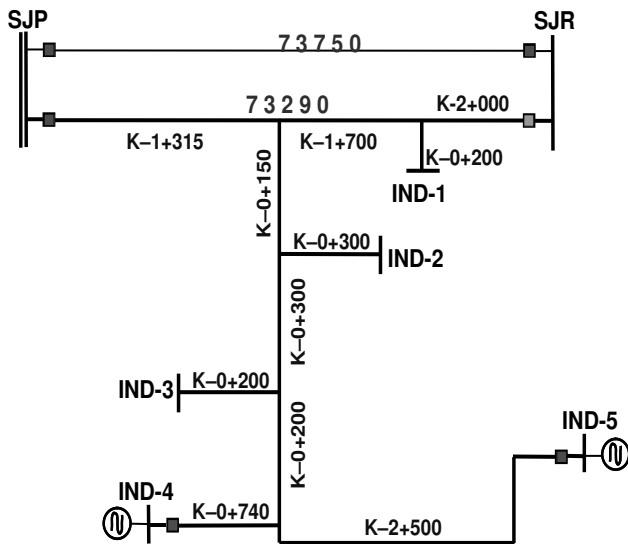


Fig. 1. Diagrama unifilar de la línea SJP-73290-SJR.

En la figura 1 observamos que la línea tiene 5 plantas industriales conectadas en derivación, dos de las cuales tienen generación propia y están sincronizadas al sistema de CFE. En este artículo trataremos la protección de la línea considerando solamente tres terminales: San Juan Potencia (SJP) CFE, San Juan del Río (SJR) CFE e IND-4 (la cual cuenta con generación propia). El esquema de protección de línea propuesto utilizando un procesador lógico puede expandirse hasta 16 terminales, esto es, las dos terminales de CFE más 14 terminales de industrias conectadas derivación de la línea. La longitud de la línea entre subestaciones SJP-SJR es de 5.015 Km.

La planta industrial IND-4, está a punto de iniciar operaciones como cogenerador para autoabastecimiento, su transformador de potencia de 7.28 MVA tiene sus devanados de alta tensión (115 kV) en conexión delta y baja tensión (4.16 kV) en conexión estrella, al tener conexión delta el transformador de potencia en IND-4 no tendremos aportación de corriente de secuencia cero de IND-4 a fallas a tierra en líneas de 115 kV, lo cual hace estrictamente necesario utilizar un esquema de teleprotección con el fin de librar las fallas a tierra dentro de la línea en tiempos cercanos a los de alta velocidad (3 ciclos) y el uso de disparo transferido directo de los relevadores de

las subestaciones de CFE hacia el interruptor de línea de IND-4 en situaciones especiales.

Actualmente, los esquemas de protección de la línea en SJP, SJR, IND-4 e IND5 son:

- Protección primaria: Relevadores de distancia (21).
- Protección de respaldo: Relevadores direccionales de sobrecorriente (67).

III. SOLUCIÓN PROPUESTA

El esquema de protección propuesto se llevará a cabo mediante un esquema POTT de tres terminales utilizando la zona 2 de los elementos de distancia y direccionales de sobrecorriente de secuencia negativa para la comparación direccional.

También se utilizará el disparo transferido directo del procesador lógico hacia el relevador extremo IND-4.

Los enlaces de comunicación están formados por dos pares de fibras ópticas: uno de IND-4 a SJP y otro enlace de IND-4 a SJR. En IND-4 estará instalado el procesador de lógica y se conectará localmente con el relevador de protección de línea, tal como se indica en la figura 2.

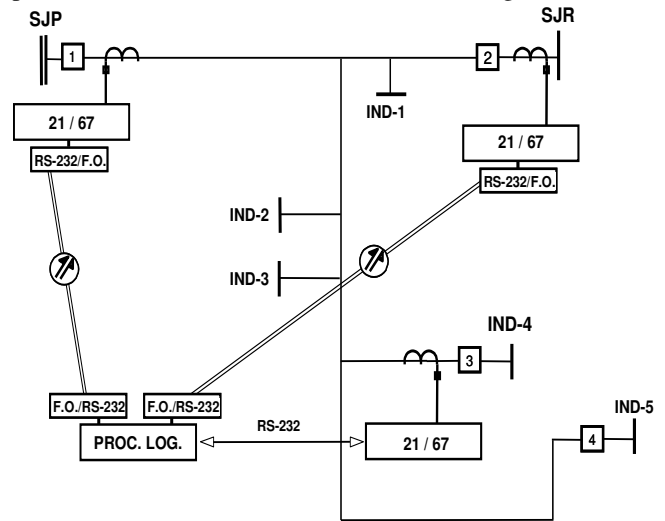


Fig. 2. Componentes del esquema propuesto.

Los relevadores 21/67 instalados en las terminales SJP, SJR, IND-4 tienen una función programable que permite transmitir y recibir estados de elementos internos del relevador para aplicar funciones de protección y control a través de un enlace de comunicaciones por radios, fibra óptica u otros medios.

La solución propuesta contempla:

- Utilizar los relevadores de protección de línea existentes
- Habilitar la lógica de teleprotección POTT integrada en los relevadores.
- Agregar procesador lógico en IND-4 para llevar a cabo la lógica POTT multiterminal.

- Agregar convertidores RS232 a fibra óptica en cada extremo de los enlaces de fibra óptica.
- Habilitar los enlaces de comunicación por fibra óptica.
- Ajustar los puertos de los relevadores al protocolo de comunicación de elementos internos para utilizar los enlaces por fibra óptica.

El procesador tiene la función de lógica programable que permite transmitir y recibir estados de elementos internos del relevador para aplicar funciones de protección y control a través de un enlace de comunicaciones por radios, fibra óptica u otros medios.

Los criterios de ajuste de los elementos de distancia y direccionales de sobrecorriente para utilizar la lógica de teleprotección POTT en los relevadores son los siguientes:

- **Zona 1.-** Detección de fallas hacia adelante entre fases y de fase a tierra en el lado más cercano de la derivación de la línea SJP-73290-SJR, sobrealcanzando el punto de conexión de la primera derivación.
- **Zona 2.-** Detección de fallas hacia adelante entre fases y de fase a tierra (sensibilidad para sobrealcanzar el bus remoto más alejado considerando el efecto de infeed). Función de transmisión de disparo permisivo, de comparación direccional y de disparo local después del retardo correspondiente de 18 ciclos.
- **Zona 3.-** Detección de fallas hacia atrás entre fases y de fase a tierra (sensibilidad mayor al nivel 2 de los relevadores en extremos remotos). Corresponde a la señal de bloqueo en el esquema POTT utilizado.
- **Zona 4.-** Detección de fallas hacia adelante entre fases y de fase a tierra (alcance mayor que la zona 2). Función de disparo temporizado a 60 ciclos, usada como respaldo remoto.
- **Nivel 2 de sobrecorriente de secuencia negativa.-** Detección de fallas hacia adelante de fase a tierra con alta resistencia. Función de transmisión de disparo permisivo solamente.
- **Nivel 3 de sobrecorriente de secuencia negativa.-** Detección de fallas hacia atrás de fase a tierra con alta resistencia. Función de bloqueo en el esquema POTT.
- **Esquema de Aportación Débil (Weak Infeed), usado solamente en relevador de terminal IND-4.-** Esquema complementario del POTT que permite disparar una terminal de la línea con escasa o nula aportación de corriente de falla. Tal es el caso de la aportación lado IND-4 para fallas de fase a tierra en 115 kV. (Transformador conectado en delta).

Una de las ventajas del esquema de protección de línea propuesto, es que no se pierde totalmente la protección por pérdida de alguno o ambos de los canales de comunicación, solo quedan fuera el disparo permisivo (comparación direccional) y el disparo transferido directo, quedando vigentes las funciones de protección de distancia y sobrecorriente direccional de tiempo inverso de los rele-

vadores en cada terminal de la línea. En la siguiente gráfica se muestran los alcances de las zonas de protección.

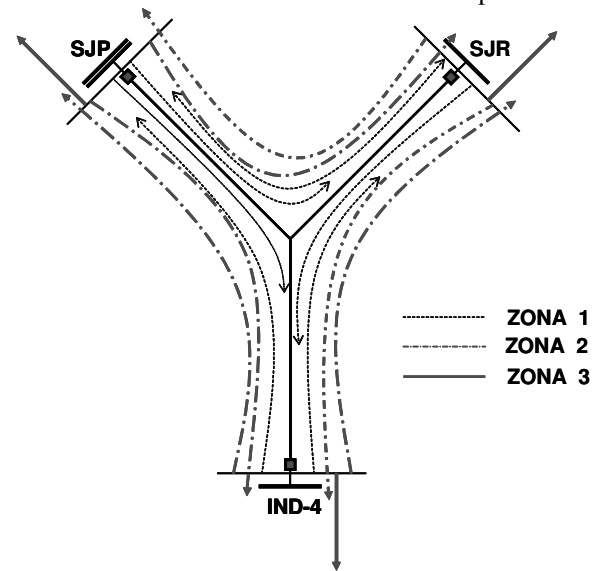
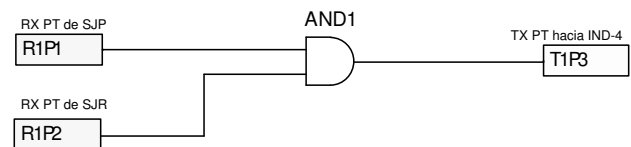


Fig. 3. Alcances de las zonas de protección para tres terminales.

Para utilizar la lógica de teleprotección propuesta, se utilizaron los elementos internos 1, 2 y 3 (MB1A, MB2A y MB3A), de acuerdo a lo siguiente:

- **MB1A ENVIO (TX) / RECEPCION (RX) DE DISPARO PERMISIVO.**
 - **TMB1A:** Envío de disparo permisivo al procesador lógico.
 - **RMB1A: Recepción de disparo permisivo del procesador lógico.**

Procesador Lógico.- Lógica de Comparación Direccional para Tres Terminales



R1P1: Recepción de PT (RMB1A) en puerto 1 (SJP)
 R1P2: Recepción de PT (RMB1A) en puerto 2 (SJR)
 T1P3: Transmisión de PT (TMB1A) en puerto 3 (IND-4)

Fig. 4. Lógica de Comparacion Direccional para tres terminales.

- **MB2A ENVIO (TX) / RECEPCION (RX) DE DISPARO TRANSFERIDO DIRECTO (Solamente entre el procesador lógico y el relevador en la terminal IND-4).**
 - **TMB2A:** Envío de disparo transferido directo (Solo el Procesador Lógico).
 - **RMB2A: Recepción de disparo transferido directo (Solo el relevador en la terminal IND-4).**

- MB3A ENVIO (TX) / RECEPCION (RX) DE SEÑAL DE ESTADO DE INTERRUPTOR (Utilizado en la lógica de disparo transferido directo al relevador del extremo IND-4).
 - TMB3A: Envío de estado del interruptor local al procesador lógico.
 - RMB3A: Recepción del estado de interruptores en el procesador lógico.

El Disparo Transferido directo del procesador lógico hacia la terminal IND-4, tendrá efecto al ocurrir cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando estén abiertos ambos interruptores: SJP-73290 y SJR-73290, o abierto SJP-73290 y detección de falla hacia delante del SJR-73290, o abierto SJR-73290 y detección de falla hacia delante del SJP-73290.
- En caso de detección simultánea de falla hacia delante en relevadores extremos SJP y SJR.

Procesador Lógico.- Lógica de DTD para Tres Terminales

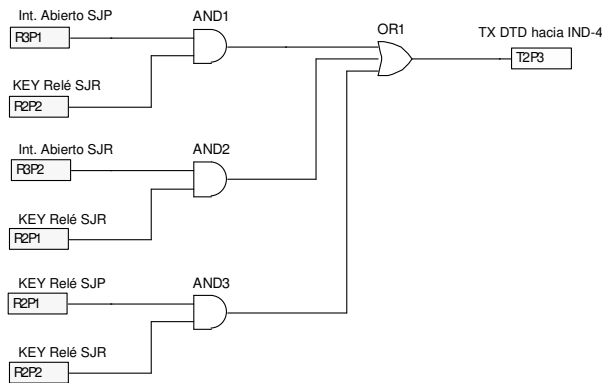


Fig. 5. Lógica para Disparo Transferido Directo al extremo IND-4.

IV. PRUEBAS AL SISTEMA DE PROTECCIÓN

A. Operación para una Falla Interna

Para observar el comportamiento del esquema de protección en esta aplicación, a continuación se analizan oscilogramas de una falla interna simulada. Se muestran los registros de los relevadores en tres terminales de la línea.

La falla interna simulada es de la fase A a tierra a la salida de IND-4.

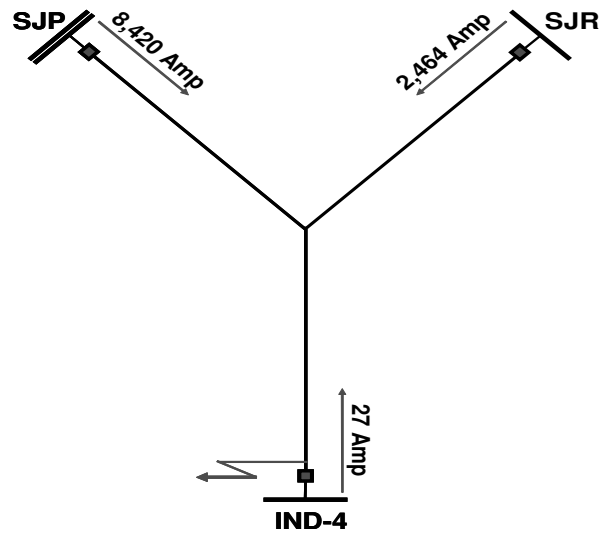


Fig. 6. Aportaciones para falla en la línea SJP-SJR-IND-4 (interna).

Los oscilogramas obtenidos en la simulación de esta falla son los siguientes:

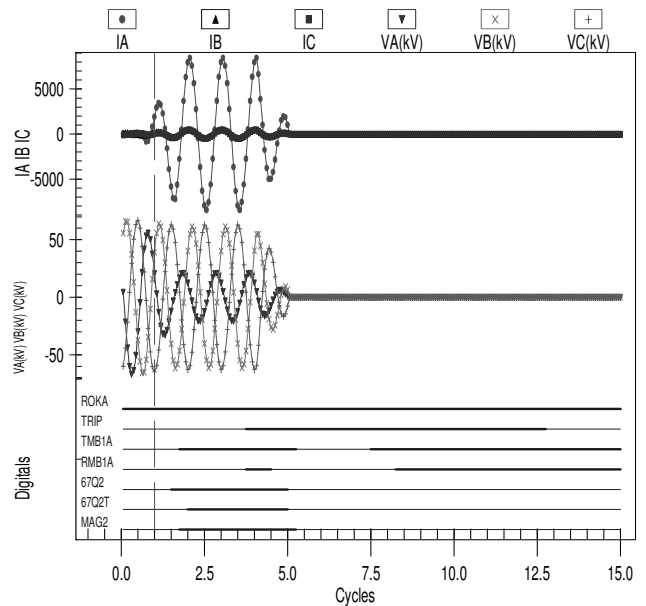


Fig. 7. Oscilograma del registro del relevador ubicado en SE SJP.

En la Fig. 7 se muestra el oscilograma obtenido por el relevador de la SE SJP. Su análisis permite concluir lo siguiente:

- El inicio de la falla es en el ciclo 1 del registro.
- A los 1.5 ciclos se activa el elemento 67Q2 (falla adelante, secuencia negativa)
- A los 1.75 ciclos se activan: MAG2 (Unidad Mho fase A a tierra zona 2) y TMB1A (transmisión de disparo permisivo).

- A los 2.0 ciclos se activa el elemento 67Q2T (falla adelante, secuencia negativa temporizado 0.5 ciclos)
- A los 3.75 ciclos se activa el elemento de recepción de disparo permisivo RMB1A y se completa la condición de disparo local TRIP el cual se activa también a los 3.75 ciclos del registro.
- El elemento supervisor de recepción correcta de canal (ROKA) está activado en todo el registro.
- Desde el inicio de la falla (1.0 ciclo) hasta la salida de disparo local (3.75 ciclos) transcurren 2.75 ciclos.

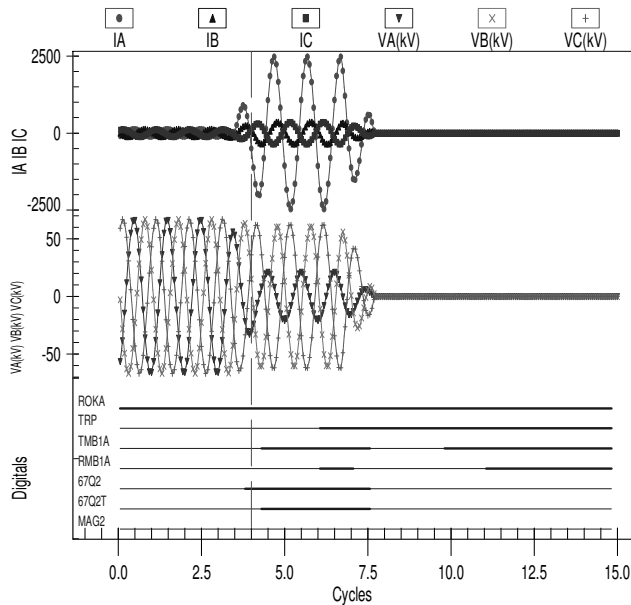


Fig. 8. Oscilograma del Registro del relevador ubicado en SE SJR.

En la Fig. 8 se muestra el oscilograma del relevador ubicado en SE SJR para esta falla interna. Puede concluirse lo siguiente:

- El inicio de la falla es en el ciclo 3.5 del registro.
- A los 3.75 ciclos se activa el elemento: 67Q2 (falla adelante, secuencia negativa).
- A los 4.25 ciclos se activan los elementos: 67Q2T (falla adelante, secuencia negativa temporizado 0.5 ciclos) y TMB1A (transmisión de disparo permisivo).
- A los 6.0 ciclos se activa el elemento de recepción de disparo permisivo RMB1A y se completa la condición de disparo local TRIP el cual se activa también a los 6.0 ciclos del registro.
- Desde el inicio de la falla (3.5 ciclos) hasta la salida de disparo local (6.0 ciclos) transcurren 2.5 ciclos.

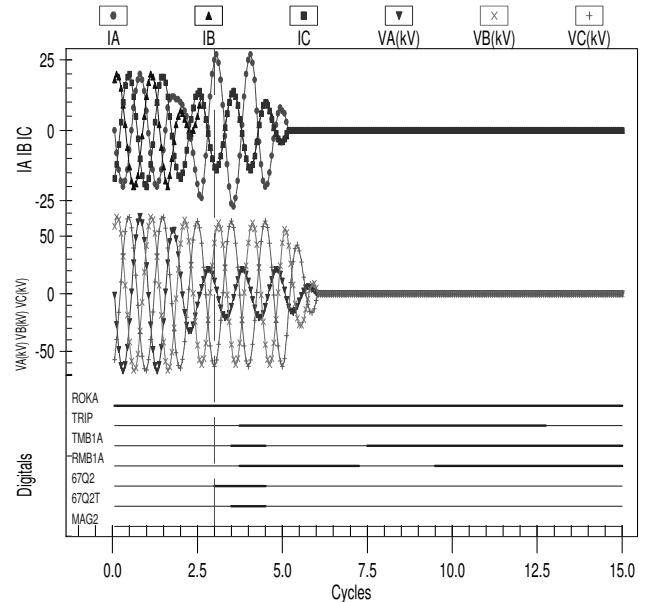


Fig. 9. Oscilograma del Registro del relevador ubicado en SE IND-4.

En la Fig. 9 se muestra el oscilograma del relevador ubicado en SE IND-4 para esta falla interna. Puede concluirse lo siguiente:

- El inicio de la falla es aproximadamente en el ciclo 1.75 del registro.
- A los 3.0 ciclos se activa el elemento: 67Q2 (falla adelante, secuencia negativa).
- A los 3.5 ciclos se activan los elementos: 67Q2T (falla adelante, secuencia negativa temporizado 0.5 ciclos) y TMB1A (transmisión de disparo permisivo).
- A los 3.75 ciclos se activa el elemento de recepción de disparo permisivo RMB1A y se completa la condición de disparo local TRIP el cual se activa también a los 3.75 ciclos del registro.
- Desde el inicio de la falla (1.75 ciclos) hasta la salida de disparo local (3.75 ciclos) transcurren 2.0 ciclos.

En resumen, el esquema de protección operó correctamente para esta falla monofásica a tierra interna. El tiempo total de operación del esquema de protección de la línea para esta falla es de 2.75 ciclos (46 msec.).

V. COMENTARIOS ADICIONALES AL ESQUEMA PROPUESTO

La protección por comparación direccional puede utilizarse con distintos tipos de canales de comunicación. La solución propuesta en este trabajo para la protección de una línea de 115 kV es un esquema de comparación direccional con lógica POTT multiterminal (utilizando para ello un procesador lógico), y con enlaces de comunicación por fibra óptica.

Una variación que es necesario considerar, es utilizar enlaces de comunicación por medio de radios en lugar de fibra óptica, ya que la falta de ésta es una condición casi generalizada en las líneas para alimentación de grupos de industrias, precisamente debido a la limitante mencionada para utilizar protección diferencial de línea cuando tenemos múltiples cargas en derivación. El equipamiento sería similar: relevadores multifunción, procesador lógico y enlaces de comunicación, en este caso por radios de espectro disperso. Es necesario garantizar la existencia de una línea de vista entre cada par de radios para la aplicación de este tipo de enlaces de comunicación.

VI. CONCLUSIONES

- El esquema de protección propuesto utilizando relevadores multifunción, un procesador lógico y enlaces de comunicación a través de fibra óptica es una opción viable para aplicación en líneas cortas en anillos de 115 kV que alimentan varias industrias en derivación. Puede aplicarse con tres o más terminales.
- El tiempo total de operación de este esquema (46 milisegundos), es cercano al límite de la protección de alta velocidad, pero es aceptable dada la complejidad del sistema a proteger y el nivel del voltaje de la aplicación.
- Es forzoso implementar un esquema similar al propuesto en los casos de líneas con industrias que tienen generación propia sincronizada al sistema de CFE y el primario de sus transformadores en conexión delta.
- Es necesario utilizar elementos direccionales de sobrecorriente de secuencia negativa en el esquema de disparo permisivo para detección de fallas desbalanceadas con resistencia de arco.

VII. REFERENCIAS

- [1] K. Behrendt, "Three Terminal Line Protection Using SEL-321-1 Relays with Mirrored Bits Communication", Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. 1996, 2002.
- [2] J. Kumm, "Three Terminal POTT Protection Using the SEL-321 Relay", Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. 1997.
- [3] G. Alexander, "Applying SEL-311C Relay on Three Terminal Lines", Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. 2000.

VII. BIOGRAFIAS



Martín R. Monjarás Méndez es Ingeniero Electricista, egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Guanajuato en 1990. Ingresó a la División de Distribución Bajío de la CFE en el año de 1991, donde ha desempeñado los siguientes cargos: Suptte. de Área de Distribución de 1991 a 1994 en la Zona San Juan del Río, QRO; Jefe Ofna. SE's, Líneas y Protecciones de 1994 a 1997 en la Zona San Juan del Río, QRO; desde 1997 ocupa el puesto de Jefe Ofna. Protecciones Divisional en Guanajuato, GTO. rafael.monjaraz@cfe.gob.mx.



José Manuel Jaramillo Martínez es Ingeniero Electromecánico, egresado de la Facultad de Ingeniería Campus San Juan del Río de la Universidad Autónoma de Querétaro en 1995; recibió un Diplomado en Ingeniería de Calidad del Insituto Tecnológico Regional de León en 2005. Ingresó a la División de Distribución Bajío de la CFE en el año de 1994, donde ha desempeñado los siguientes cargos: Técnico en Protecciones de 1994 a 2002 en la Zona San Juan del Río, QRO; desde 2002 ocupa el puesto de Jefe Oficina de Protecciones en la Zona San Juan del Río, QRO. manuel.jaramillo01@cfe.gob.mx.



Juan Ignacio Muñoz González es Ingeniero Electricista, egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Guanajuato en 1978. De 1981 a 1997 trabajó en CFE en Protección de Sistemas de Distribución y Transmisión. De 1997 a 2000 trabajó en INELAP-PQE como Ingeniero de Soporte Técnico. Desde el 2000 labora en Schweitzer Engineering Laboratories, S.A. de C.V., donde actualmente ocupa el puesto de Director de Servicios Técnicos. De 1988 a 1997 trabajó también como profesor de asignatura en la Universidad Iberoamericana, Plantel León, Departamento de Ciencias de Ingeniería. Es miembro del IEEE y del Colegio de Ingenieros Mecánicos, Electricistas y Electrónicos del Estado de Guanajuato. ignacio_munoz@selinc.com.