

# Behavior of the Digital Fourier Transform as Numerical filter in Distance Protection of Series Compensated Transmission Lines. Simulations With a Real Transmission System

E. Orduña, D.G. Colomé, G. D. G. Venerdini, *Member, IEEE*, G. Rattá, *Senior Member, IEEE*, O. M. Torres and J. S. Ulloa

**Abstract**— In this paper, a MATLAB model of a Digital Fourier Transform (DFT)-based digital distance relay was developed and then its behavior was analyzed when it is applied on distance protection of a real series compensated transmission system, belonging to the Chilean generation and transmission utility Colbún S.A. The complete signal processing and the impedance calculation of real relays are simulated by the model. The transmission system was modeled with ATP and various fault types at buses and diverse line locations were simulated. The DFT-model response was evaluated in each fault case from the obtained current and voltage signals. The results show how series capacitors impact negatively on the impedance calculation using DFT.

**Keywords**— Digital Fourier Transform, Transmission Line Protection, Series Capacitor, Relay Model, Signal Processing.

## I. INTRODUCCIÓN

ES UN hecho conocido que la compensación serie de líneas de transmisión de Alta Tensión pueden causar problemas en el cálculo de impedancias en relés de distancia numéricos [1]. Durante el período transitorio, después de un evento de falla, las trayectorias de la impedancia compleja calculadas en los lazos de falla puede trasladarse erróneamente hacia las zonas de disparo, causando la innecesaria salida de una o varias líneas de transmisión. Esto conlleva a que las empresas generadoras pierdan importantes sumas de dinero por no poder entregar su energía o, en el caso de las transportistas, sean severamente multadas.

El propósito de este trabajo fue desarrollar un modelo de relé numérico que aplique la Transformada de Fourier Discreta (DFT) como filtro numérico [2] y analizar su comportamiento cuando es aplicado en protecciones de distancia de un sistema de transmisión compensado serie real; en este caso se tomó como ejemplo real el sistema perteneciente a la empresa Chilena de generación y

transmisión Colbún S.A. Se simularon diversos tipos de fallas en diferentes barras y diversos lugares de la línea con el fin de observar lo que los relés de distancia calculan utilizando las señales de corriente y tensión.

Las trayectorias de impedancia de los lazos de falla son obtenidas en los puntos de medición de los TV (transformadores de tensión) y TI (transformadores de corriente) de la red. Se verifican las trayectorias en dónde se cruzan las zonas de disparo durante el transitorio post-falla. Por lo tanto, son detectados aquellos lugares donde la DFT podría causar disparos erróneos. Las trayectorias de impedancia son calculadas utilizando el modelo de MATLAB [3], que simula el procesamiento de señal completo y el cálculo de la impedancia de relés reales.

En las secciones siguientes se muestran el modelo de red desarrollado, el modelo de cálculo, las fallas simuladas y los resultados más importantes. Al final se incluyen las conclusiones.

## II. MODELO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE COLBUN (STC)

Se desarrolló un modelo de red ATP del STC con el fin de simular las fallas seleccionadas y obtener los oscilogramas de corrientes de fase y tensiones de fase a tierra. El STC consiste principalmente de dos líneas largas de transmisión principales (215 km aprox.) de 220 kV en paralelo con un 70% de compensación serie entre las subestaciones Candelaria (final de línea con la compensación) y la subestación Colbún, donde las plantas de generación hidroeléctrica Colbún, Machicura y Chiburgo están conectadas. Además, hay 2 líneas de transmisión cortas (46 km aprox.) no compensadas y también paralelas entre la subestación Candelaria y la subestación Maipo. La interconexión entre el STC y el Sistema Central de Transmisión Interconectado Nacional Chileno (SIC) se lleva a cabo en la subestación Maipo. El modelo ATP desarrollado del STC se muestra en la Fig. 1.

### A. Puntos de medición de los relés

Se consideraron los siguientes puntos de medición de los relés (ver Fig. 1):

- Las dos líneas de transmisión paralelas Colbún-Candelaria 220kV: en el extremo de la subestación Colbún: Relés 1 y 2 (catalogados REL1 y REL2 respectivamente); en el extremo de la subestación Candelaria: Relés 3 y 4 (catalogados REL3 y REL4 respectivamente).

E. Orduña, Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, eorduna@iee.unsj.edu.ar

D. G. Colomé, Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, colome@iee.unsj.edu.ar

G. D. G. Venerdini, Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, gguidi@iee.unsj.edu.ar

G. Rattá, Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, ratta@iee.unsj.edu.ar

O. M. Torres, Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, mtorres@iee.unsj.edu.ar

J. S. Ulloa, Colbún S.A., Chile, jsalinas@colbun.cl

- Las dos líneas de transmisión paralelas Candelaria-Maipo 220kV: en el extremo de la subestación Candelaria: Relés 5 y 6 (catalogados REL5 y REL6 respectivamente); en el extremo de la subestación Maipo: Relés 7 y 8 (catalogados REL7 y REL8 respectivamente).

En el extremo de la subestación Candelaria, donde está instalada la compensación serie, los TV's están conectados en el lado línea y los TI's en el lado barra. Esta es la configuración usual de medición [1], [4] cuando los capacitores serie están instalados en un solo extremo de línea. Por lo tanto, la medición de la impedancia no se ve afectada por cambios en la impedancia de la fuente.

**B. Modelos de componentes de la Red**

Con el fin de construir el modelo de red ATP, se utilizaron los siguientes modelos de componentes disponibles del ATP-Draw [5]:

- Modelo de Generador: fue seleccionado el modelo de fuente tipo 14.
- Modelo de Transformador: fueron seleccionados modelos de transformadores de 2 y 3 arrollamientos; y en ambos casos no se introdujo pérdidas ni saturación.
- Modelo de línea de transmisión: las líneas principales de 220kV fueron modeladas con modelos PI del bloque tipo CONSTANT LINE, considerando la geometría y las respectivas transposiciones.
- Modelo de Carga: Cargas con los valores de P y Q fueron consideradas en cada barra del sistema.
- Modelo de Varistor ZnO de protección: El varistor de bypass del capacitor pertenece al tipo ABB EXLIM-T.

Comenzando con su curva típica de protección para el nivel de 179,2 kV de pico, el explosor se dispara cuando la energía disipada por el varistor alcanza su valor límite de 9.6 MJ. Por consiguiente, se desarrolló un modelo específico y personalizado utilizando ATP-Draw, el cual mide la energía disipada por cada varistor basándose en la corriente y tensión de cada uno. Si la energía límite se alcanza, entonces un interruptor se cierra simulando el disparo del explosor.

**III. MODELO DE PROTECCIÓN**

**A. Procesamiento de Señales y Modelos Numéricos De Cálculo de la impedancia**

Fue desarrollado un modelo en MATLAB [3] para realizar el cálculo de los lazos de impedancias de falla. Las entradas al modelo son las corrientes y tensiones generadas por el modelo ATP, las cuales se consideraron como si fuesen analógicas. El modelo simula la siguiente secuencia de pasos que los relés digitales normalmente realizan (ver Fig. 2):

- Filtro anti-aliasing pasabajo Butterworth analógico con una frecuencia de corte de 500 Hz.
- Conversor Analógico/Digital (muestreando las señales analógicas de corriente y tensión).
- Filtro pasabajo discreto con una frecuencia de corte de 250 Hz.
- Cálculo de los fasores de corriente y tensión aplicando la DFT, tomando ventanas de muestras de 1 ciclo (por defecto) de la frecuencia nominal (50 Hz) y 20 muestras por ciclo (1000 Hz de frecuencia de muestreo por defecto).
- Los TV's y TI's son considerados como transductores

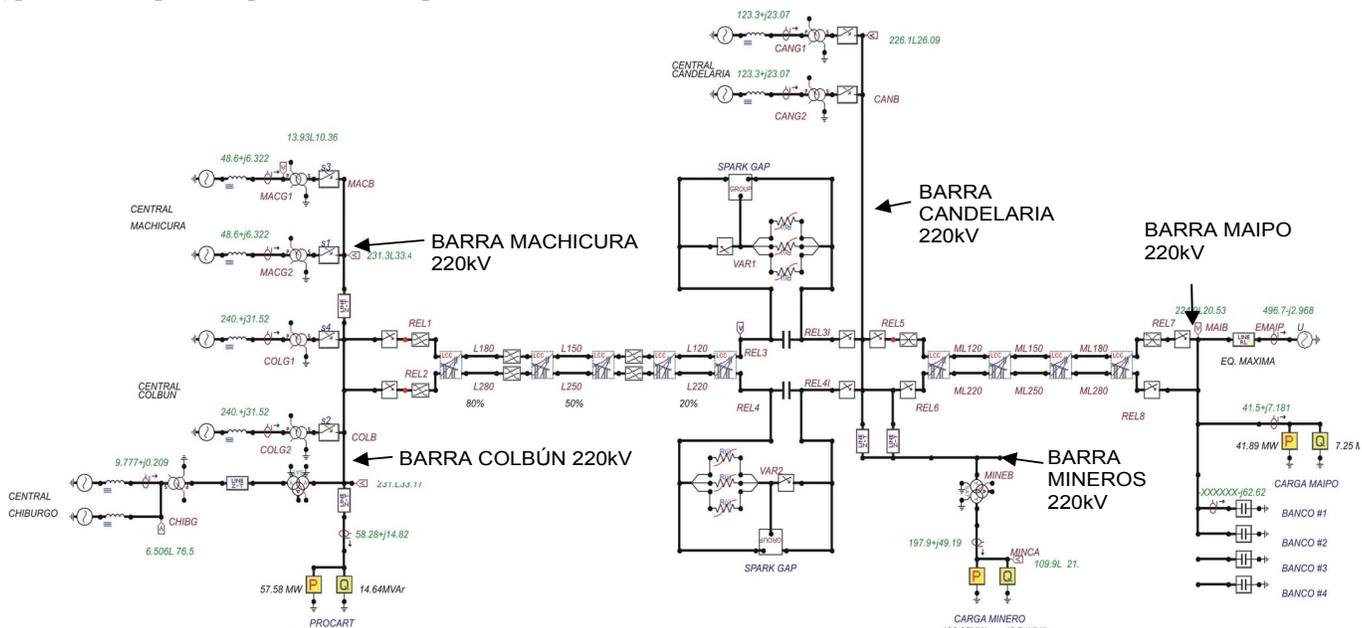


Figura 1. Modelo ATP del sistema de transmisión Colbún.

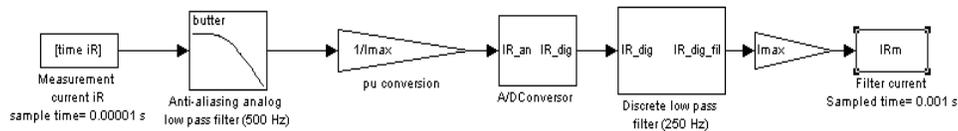


Figura 2. Modelo de procesamiento de señal de corriente implementado en MATLAB.

ideales. Los pasos del procesamiento de señales de corriente del modelo de relé de MATLAB se muestran en la Fig. 2. Un modelo similar es utilizado para procesar las señales de tensión.

La secuencia de cálculos presentada trata de reproducir el comportamiento típico de los relés comerciales [6], [7] y [8]. El modelo puede ser considerado lo suficientemente preciso como para reflejar el comportamiento real de la DFT (ver subsección III-E).

### B. Fundamentos de la DFT

La conocida forma continua de la Transformada de Fourier (FT) de una señal  $y(t)$  [1] se muestra en (1).

$$Y_C = \int_0^T y(t) * \cos(\omega t) * dt \quad ; \quad Y_S = \int_0^T y(t) * \sin(\omega t) * dt \quad (1)$$

$Y_C$  es la parte real del fasor complejo estimado de la señal  $y(t)$  en un período de tiempo de 0 a  $T$ , e  $Y_S$  es la parte imaginaria.

En aplicaciones digitales, la señal  $y(t)$  es muestreada y luego se aplica (2) para obtener la forma discreta de la FT o la llamada DFT.

$$Y_C = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K y_k * \cos(k\theta) \quad ; \quad Y_S = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K y_k * \sin(k\theta) \quad (2)$$

$\theta$  es el ángulo eléctrico entre muestras ( $18^\circ$  para 20 muestras por ciclo), los factores  $\cos(k\theta)$  y  $\sin(k\theta)$  son fácilmente obtenidos fuera de línea. La forma polar de la DFT se muestra en (3).

$$|Y^{(i)}| = \sqrt{[Y_C^{(i)}]^2 + [Y_S^{(i)}]^2} \quad ; \quad \varphi^{(i)} = \arctan \frac{Y_S^{(i)}}{Y_C^{(i)}} = \arctan \frac{Y_S}{Y_C} - i\theta \quad (3)$$

Como se indicó, las estimaciones de los fasores de corriente y tensión se llevan a cabo tomando 20 muestras ( $k$  variando de 1 a 20) y muestreando con ventanas de 20ms a frecuencia de 50Hz. Con cada nueva muestra y con las últimas 19 muestras guardadas, se lleva a cabo una nueva estimación de los fasores (ventana móvil).

Estimaciones adicionales de la impedancia se pueden llevar a cabo cambiando la frecuencia de muestreo de las señales y el ancho de la ventana de muestreo [9].

### C. Cálculo Numérico del Lazo de Impedancia de Falla

Una vez que los fasores de tensión y corriente son obtenidos en cada instante de tiempo, (4), (5) y (6) son aplicados con el fin de calcular las respectivas impedancias complejas de los lazos fase a fase y fase a tierra [10].

$$Z_{RS} = \frac{V_R - V_S}{I_R - I_S} \quad ; \quad Z_{TR} = \frac{V_T - V_R}{I_T - I_R} \quad ; \quad Z_{ST} = \frac{V_S - V_T}{I_S - I_T} \quad (4)$$

$$I_E = -(I_R + I_S + I_T) \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_{RE} &= \frac{V_R}{(I_R - K_0 * I_E - K_{0m} * I_{E//})} \\ Z_{SE} &= \frac{V_S}{(I_S - K_0 * I_E - K_{0m} * I_{E//})} \\ Z_{TE} &= \frac{V_T}{(I_T - K_0 * I_E - K_{0m} * I_{E//})} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

donde:

$Z_{RS}, Z_{TR}, Z_{ST}$  lazos de impedancias compleja fase a fase  
 $Z_{RE}, Z_{TE}, Z_{SE}$  lazos de impedancias compleja fase a tierra  
 $V_R, V_S, V_T$  tensiones complejas fase a tierra  
 $I_R, I_S, I_T$  corrientes complejas de fase  
 $I_E$  corriente compleja de tierra de la línea con falla  
 $I_{E//}$  corriente compleja de tierra de la línea paralela sin falla  
 $K_0$  factor de compensación de tierra para los lazos fase a tierra de la línea con falla  
 $K_{0m}$  factor de acoplamiento mutuo de tierra entre la línea con falla y la paralela  
 $K_0$  y  $K_{0m}$  son parámetros de ajuste de los relés de distancia.

### D. Establecimiento de las Zonas de Disparo de los Relés de Distancia

En cada extremo de las líneas de transmisión fueron consideradas las zonas de disparo de los relés reales. El STC usa principalmente relés de distancia digitales Siemens modelo 7SA513 [7] y ABB modelo REL 531 [6]. Las curvas de las zonas de disparo para cada modelo pueden verse en la Fig. 3.

### E. Análisis de un Registro de Falla que Ocurrió el 26-08-

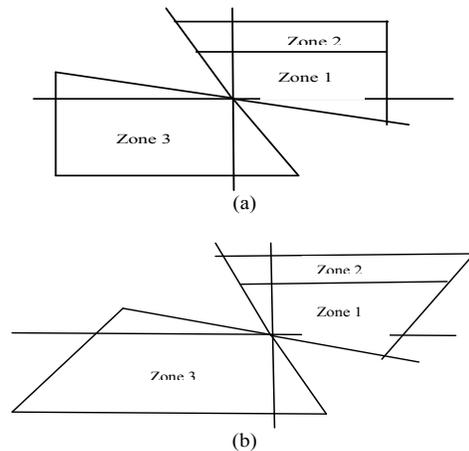


Figura 3. Zonas de disparo en (a) relé 7SA513 y (b) relé EL 531.

2006

Con el propósito de probar la viabilidad del modelo de relé desarrollado, se analizó previamente una falla real fase a tierra ocurrida el 26-08-2006 en la fase S de una de las líneas que vinculan las subestaciones Maipo y Candelaria. Comenzando por el registro original de las señales de corriente y tensión, las curvas de las trayectorias de los lazos de impedancias de falla obtenidas con el modelo desarrollado fueron comparadas con aquellas calculadas con el software comercial SIGRA, desarrollado por Siemens [11]. Las trayectorias de las impedancias de los relés REL5 y REL7 de la línea entre las subestaciones Maipo y Candelaria con falla y los correspondientes relés REL6 y REL8 en la línea paralela sin falla se muestran en las Figs. 4 y 5. Las trayectorias con el modelo desarrollado se muestran en la Fig. 4 y las correspondientes con SIGRA en la Fig. 5. Las Figs. 4 y 5 muestran la gran similitud de las trayectorias de las

impedancias calculadas con el modelo de MATLAB y aquellas calculadas con SIGRA. De esta manera, la viabilidad del modelo de relé desarrollado pudo ser probada con el fin de ser aplicado a las simulaciones de falla y al cálculo de las trayectorias de impedancia.

#### IV. FALLAS SIMULADAS

Tomando como punto de origen a la barra de 220 kV de la

subestación Candelaria, se simularon fallas en las línea Colbún-Candelaria en 0%, 20%, 50%, 60%, 80% y 100% de la longitud de la línea. En las líneas Candelaria-Maipo, a 20%, 50% y 80% de la longitud de la línea. En las líneas Candelaria-Mineros, en la barra de la subestación Mineros, 50% y 100% de la longitud de la línea de transmisión. Se simularon en todos los casos fallas monofásicas, bifásicas a tierra y trifásicas con diferentes valores de

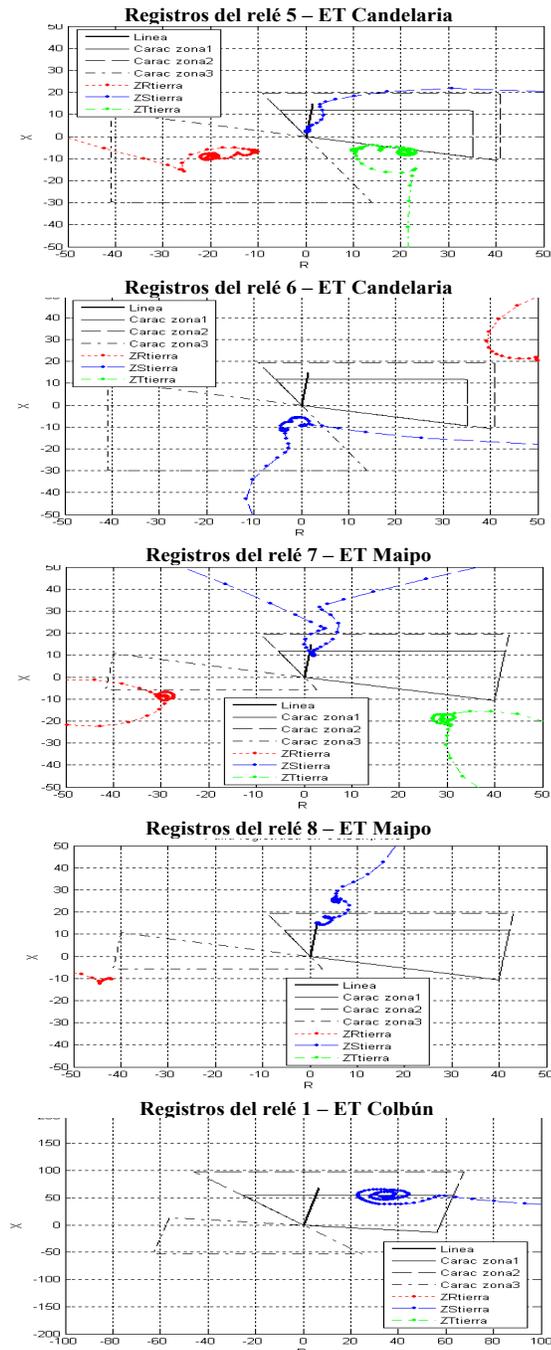


Figura 4. Trayectorias de impedancias de los relés 5, 6, 7, 8 y 1 con el modelo de MATLAB.

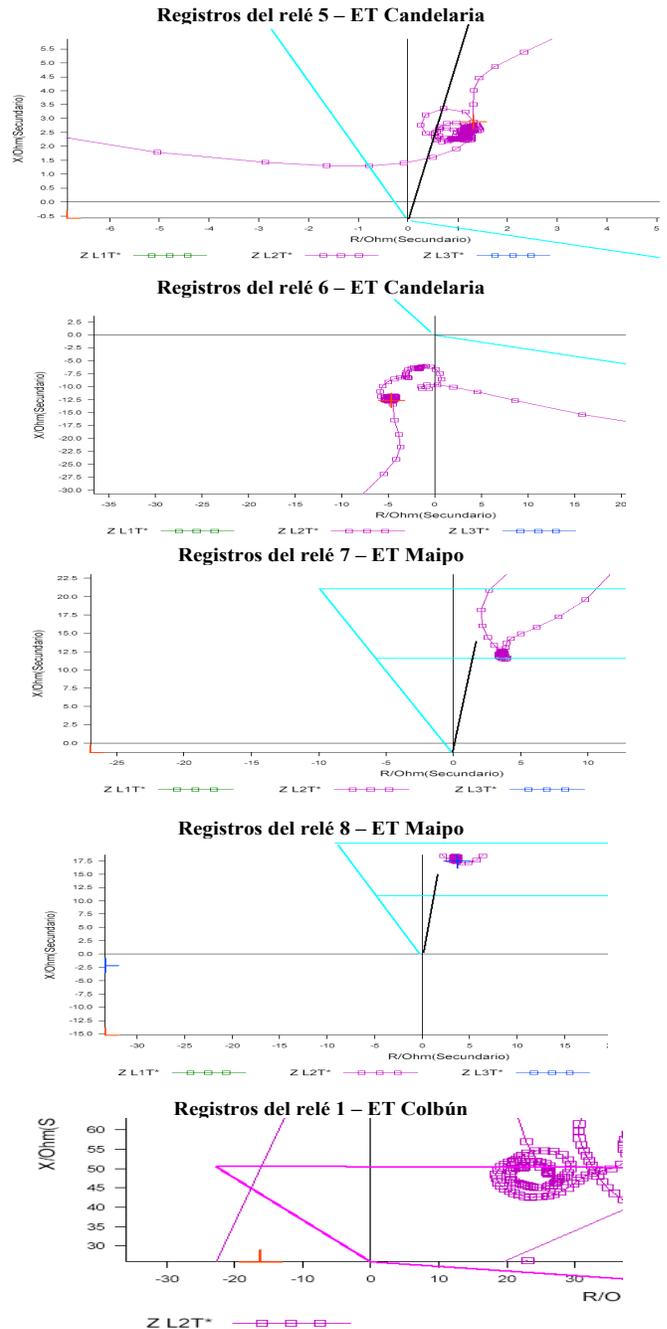


Figura 5. Trayectorias de impedancias de los relés 5, 6, 7, 8 y 1 con el programa de Siemens SIGRA.

resistencia de falla. En total se simularon 494 casos de falla.

## V. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Por cada falla simulada se calcularon las trayectorias de los lazos de impedancias de falla de cada relé modelado. Se consideró que la correcta operación del sistema de protección significa que:

- Por cada falla simulada los relés deberían ver cada lazo de falla correctamente.
- Cada lazo de impedancia de falla debería caer en la correcta zona de disparo.
- Bajo ninguna circunstancia las fallas en una línea deberían resultar con una operación en los relés de la otra línea (sobrefunción), o estar cerca de hacerlo, resultando en una pérdida de la selectividad [12].

- Debido a que cada línea de transmisión está protegida con sistema de teleprotección en el modo POTT (Permissive Overreach Transfer Trip), los relés en ambos extremos de la línea deben ver las fallas en la zona de sobre alcance (zona de actuación de la teleprotección) para intercambiar las señales de disparos.

Además, se dan algunos resultados de las simulaciones con el fin de mostrar las trayectorias de impedancia durante los transitorios luego de las fallas y algunos de los problemas de protección típicos causados por los capacitores serie.

### A. Fallas en la Línea Compensada Serie Candelaria-Colbún

Para las fallas bifásicas a tierra en cada punto de falla de la línea seleccionado, el relé REL3 en la subestación Candelaria determina 2 lazos de falla en lugar de uno. Por ejemplo, para una falla entre las fases R y S al 20% de distancia, el lazo de falla entre las fases S y T es clasificado erróneamente como una falla y el relé puede confundir la falla real como una falla trifásica (Fig. 6). Para una falla trifásica al 0% (falla cercana), el relé REL2 de la subestación Colbún evalúa los lazos fase a fase muy cerca de la zona de la teleprotección y el relé REL4 en la subestación Candelaria evalúa los mismos lazos dentro de la zona de la teleprotección (Fig. 7). En esta situación existe la posibilidad de interrupción de la línea paralela no fallada (sobrefunción).

Esta situación tiende a desaparecer si la falla se produce a mayor distancia.

Para una falla monofásica a tierra en la fase R al 20% de distancia (falla cercana), el relé REL2 en la subestación Colbún evalúa el lazo fase-tierra de la fase sana ZTtierra en la zona de la teleprotección y el relé REL4 de la subestación Candelaria evalúa el lazo fase-tierra de la fase fallada ZRTierra dentro de la zona de la teleprotección (Fig. 8). En esta situación existe la posibilidad de sacar de servicio la línea paralela no fallada (sobrefunción).

### B. Fallas en la Línea Maipo-Candelaria

Para cada tipo de falla a lo largo de la línea, los relés REL1 y REL2 en Colbún ven la falla en zona 1 debido a los capacitores serie. Los relés REL3 y REL4 en la subestación Candelaria ven la falla hacia delante de la zona de la teleprotección. Esto puede causar disparos erróneos y la

innecesaria salida de las líneas. Como ejemplo, las trayectorias de impedancias resultantes para fallas trifásicas, bifásicas a tierra y monofásicas se muestran en la Fig. 9.

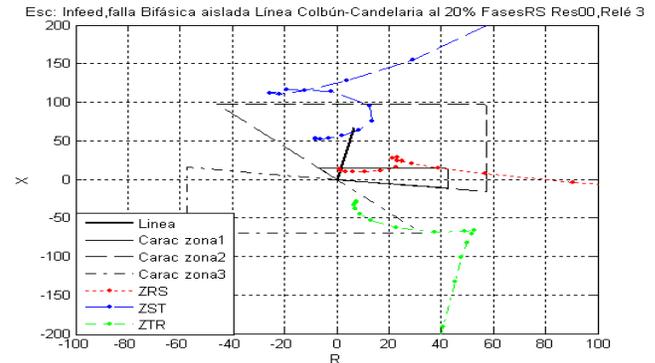


Figura 6. Trayectorias de impedancias del relé 3, falla en las fases RS.

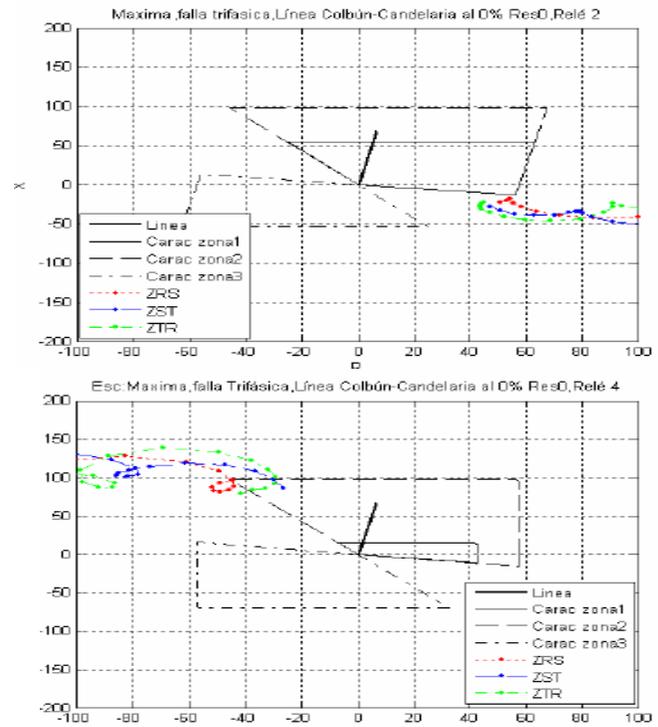


Figura 7. Trayectorias de impedancias del relé 2 y 4, falla trifásica.

### C. Análisis del comportamiento del modelo basado en la DFT

En general, los errores en la clasificación de las fallas y operaciones incorrectas de los relés en la línea paralela sana para todos los tipos de falla, como aquellos mostradas en las Figs. 4 a 6, pueden ser observados en muchos otros casos de fallas. La razón principal de este comportamiento es la presencia de componentes subarmónicas, con frecuencia  $f_e = f_n \sqrt{(XC/XL)}$  (donde  $f_n$  es la frecuencia nominal 50Hz, XC la reactancia capacitiva del compensador serie y XL la reactancia total de la línea), debido a la conexión serie R-L-C

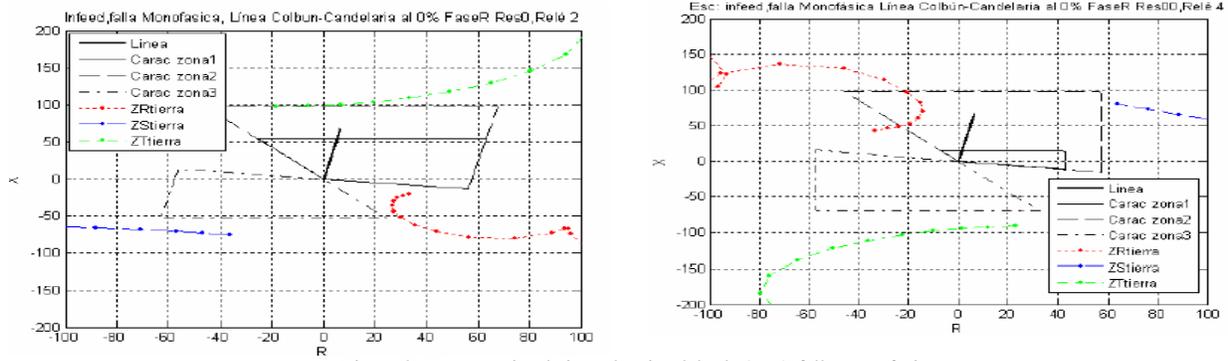
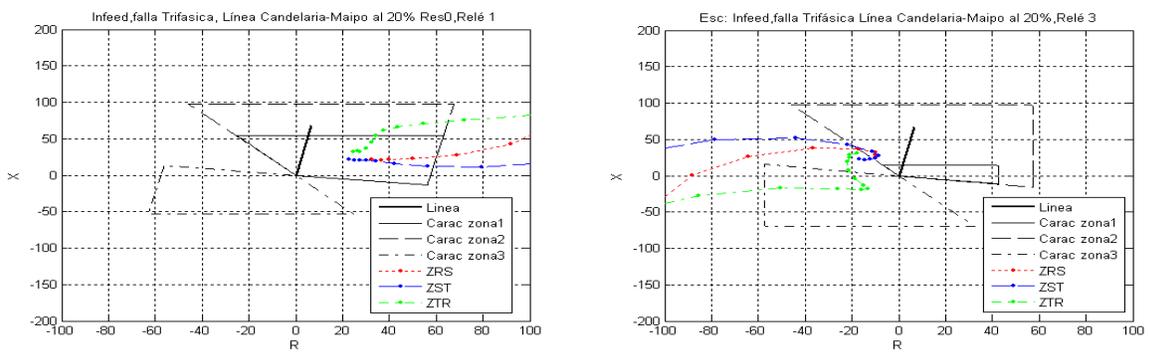
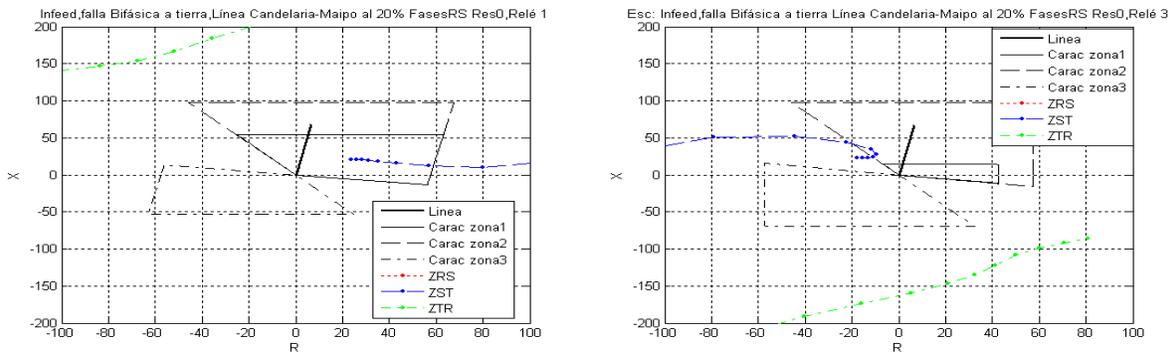


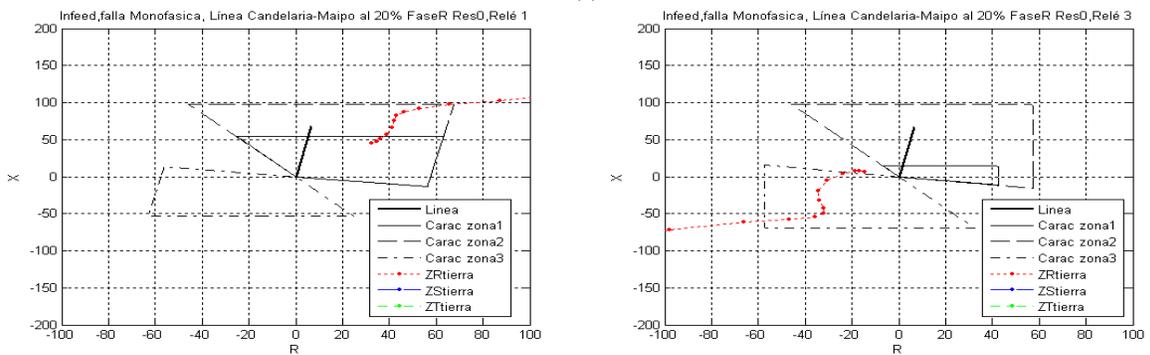
Figura 8. Trayectorias de impedancias del relé 2 y 4, falla monofásica.



(a)



(b)



(c)

Figura 9. Trayectorias de impedancias de los relé 1 y 3 para a) falla trifásica, b) falla bifásica a tierra de las fases ST c) falla monofásica.

de las líneas de transmisión [1]. Antes de que los Varistores sean anulados por el bypass,  $f_e$  es 35Hz a 40Hz, estas componentes subarmónicas no son filtradas completamente por la DFT. Esto se puede observar en la respuesta frecuencial de la DFT en la Fig. 10.

Mientras las componentes subarmónicas están presentes, el cálculo de los lazos de impedancia de falla es seriamente afectado ya que, la respuesta del filtro, no es la esperada. Altas corrientes de falla (fallas cerca del capacitor) producen la anulación del Varistor completamente en forma rápida y las trayectorias de impedancias se ven menos afectadas. Por el contrario, menores corrientes de falla (fallas lejanas) producen el bypass parcial del Varistor y las trayectorias de impedancia son afectadas en mayor medida. Las Figs. 5.1 y 5.2 de la sección III-E muestran parcialmente trayectorias de impedancia circulares que son típicas para fallas con líneas con compensación serie [1]. Esto tiene dos efectos adversos, por un lado una demora en la operación del relé, ya que el algoritmo toma más tiempo para converger a la correcta impedancia de falla y, por otro lado, la trayectoria de impedancia puede cruzar sobre zonas de disparo incorrectas, causando sobrefunción o subfunción del sistema de protección.

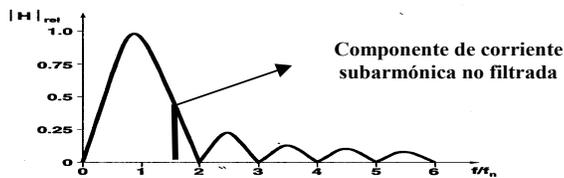


Figura 10. Respuesta frecuencial de la DFT.

## VI. CONCLUSIONES

Un modelo de relé basado en la Transformada de Fourier Discreta (DFT) fue desarrollado en MATLAB y su respuesta fue evaluada al aplicarla en la protección de distancia de un sistema de transmisión real con compensación serie de la empresa Chilena de generación y distribución Colbún S. A. La viabilidad del modelo de relé fue probada con el fin de ser aplicada en cálculos de las trayectorias de impedancia durante las fallas. Así, una comparación entre las respuestas del modelo de relé basado en la DFT y el modelo SIGRA fue llevada a cabo mediante el análisis de una falla real. Se pudo observar una gran similitud entre las trayectorias de impedancia calculadas con el modelo desarrollado y SIGRA. Aunque el modelo desarrollado no es estrictamente el mismo para todos los relés, sus respuestas en la presencia de la compensación serie se puede inferir con errores pequeños.

Luego de la modelación del sistema de transmisión en el programa ATP, se simularon diversos tipos de fallas en las barras y en diversos lugares de la línea y la respuesta del modelo de la DFT fue evaluada en cada caso de falla. Los resultados obtenidos muestran trayectorias de impedancia que son típicas en fallas de líneas con compensación serie cuando están presentes las componentes de corriente subarmónica después del bypass de los varistores.

Esto principalmente tiene dos efectos adversos: demoras en la operación del relé, y que la trayectoria de impedancia puede atravesar zonas de disparo incorrectas, causando sobrefunción o subfunción del sistema de protección. Debido a los efectos negativos que podría ocasionar la presencia de capacitores serie en los relés de distancia, se sugiere en estos casos la aplicación de técnicas seguras de protección para aplicaciones con compensación serie, tal como protección diferencial por comparaciones de fases o diferencial de corriente de fase segregada [4].

## REFERENCIAS

- [1] P.M. Anderson, R.G. Farmer: "Series Compensation of Power Systems", book, PBLSH! Inc, April 1996.
- [2] A. T. Johns, S. K. Salman, "Digital Protection for Power Systems", book, IEE Power Series, Peter Peregrinus Ltd., 1995.
- [3] MATLAB the Language of Technical Computing, software, The MathWorks Inc., R2009.
- [4] CIGRE, Working Group 04 of Study Committee 34 (Protection), "Application guide of protection of complex transmission network configurations", November 1991.
- [5] Alternative Transients Program (ATP), software, BPA (the Bonneville Power Administration).
- [6] "REL 531\*2.5 Technical reference manual Protect IT Line high speed distance protection terminal", Document No: 1MRK 506 176-UEN, Issued: November 2003, ABB.
- [7] "Numerical Distance Protection for EHV Systems, 7SA513 V3.2/v.3.3", Instruction Manual, Siemens.
- [8] J. A. Camarena, "Evaluation of Protection Algorithms: Simulation of Open Loop in ATP", IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, Vol. 4, No. 1, pp. 34-37, March 2006.
- [9] E. G. Gomes, J. C. C.B. Soares de Mello, L. Angulo-Meza, L. Biondi, "Data Envelopment Analysis and Fourier Series Integrated Use: The Case of The Harmonic Distortion Evaluation", IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, Vol. 9, No. 1, pp. 76-82, March 2011.
- [10] G. Ziegler, "Numerical Distance Protection. Principles and Applications", Third Edition, 2008, SIEMENS, Editorial Publicis Corporate Publishing.
- [11] SIGRA - Powerful Analysis of all Prot. Fault Records, software, Siemens.
- [12] A. A. Chavez, D. Sebastian, E. Melgoza, J. I. Guardado, "Distance protection coordination using search methods", IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, Vol. 6, No. 1, pp. 51-58, March 2008.



**Eduardo A. Orduña** was born in San Juan, Argentina. He obtained Eng. Degree from the University of San Juan, Argentina, in 1986 and Dr.-Ing. Degree from the University of San Juan, Argentina, in 1996. From 1986 to 1990 he worked for CONICET at the Instituto de Energía Eléctrica (IEE) of the University of San Juan, Argentina. From 1990 to 1993 he performed research tasks at the Lehrstuhl fuer El. Energieversorgung (LS-EV) of the Dortmund University, Germany. Dr. Orduña is currently Professor at the Instituto de Energía Eléctrica, University of San Juan, Argentina and author of papers on power system protection.



**Delia G. Colomé** was born in 1959. She obtained her Electronic Engineer degree in 1985 and her Ph.D. degree in Electrical Engineering in 2009, both from National University of San Juan, San Juan, Argentina. Since 1983, she has been a researcher and a Professor at Institute of Electrical Energy at National University of San Juan. During this time, she has worked as project manager and as senior engineer in numerous technical support projects in Argentina and different Latin-American countries. Her main fields are control and supervision of power systems, modeling and simulation of power systems, and the development of computational tools for engineering teaching.



**Guillermo D. Guidi Venerdini (S'03 M'11)** was born in San Juan, Argentina on January 8, 1980. He received the electrical engineer degree from Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), Argentina, in 2007 and the Ph.D. Degree in Electrical Engineering in 2011 from the UNSJ as part of scholarship financed by Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Currently, he is a

Researcher with the Instituto de Energía Eléctrica of UNSJ. Dr. Guidi is a member of the IEEE Power Engineering Society. His research interests are electromagnetic transients and power quality.



**Giuseppe Ratta (SM'03)** was born in Catanzaro, Italy, on January 28, 1950. He graduated from Universidad Nacional de Cuyo, San Juan, Argentina, in 1974 as an electromechanical engineer. Currently, he is the Director of Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan, Argentina, where he is a Professor, Researcher, and Consulting Engineer since 1975. His research interests

include high voltage engineering, reactive compensation, electromagnetic transients, power quality, electric tariffs and electric regulation.



**Oscar Mateo Torres** was born in San Juan, Argentina, on November 24 of 1951. He received the Electromechanical engineer degree from Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), Argentina, in 1983. Currently he is with The Instituto de Energía Eléctrica of the UNSJ, working as professor and as a Professional Assistant of the Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

(CONICET) researchers. His areas of interests are electromagnetic transients and electrical measures.



**Juan Salinas** es Ingeniero Civil Electricista de la Universidad de Chile, con 15 años de experiencia en el sector eléctrico, ha desempeñado labores en importantes empresas generadores del sector eléctrico chileno. Actualmente se desempeña en el cargo se Subgerente de Mercado CDEC en la empresa Colbún S.A., segunda empresa en importancia del mercado chileno. Desde sus inicios ha estado ligado al análisis y estudios técnicos

relacionados con estudios de sistemas.