

**ESTUDIO Y APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL  
–CAPE– PARA EL ANALISIS DE PROTECCIONES ELECTRICAS  
EN SISTEMAS DE POTENCIA**

Carlos Benavides Moreira<sup>1</sup>, Iván Carchipulla Salazar<sup>2</sup>, Jorge Zavala Andrade<sup>3</sup>, Alberto Hanze Bello<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2003

<sup>2</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2003

<sup>3</sup>Ingeniero Eléctrico en Potencia 2003

<sup>4</sup>Director de Tesis. Ingeniero Electrico de Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

**RESUMEN**

En este proyecto de tesis se realizó el estudio del programa de ingeniería de protección asistida por computadora CAPE adquirido por la FIEC al proveedor Electrocon International, Inc., mediante el cual se determinó las principales herramientas con las que se desarrolla el estudio de las protecciones de un sistema de potencia.

Se elabora la base de datos del Sistema Nacional de Transmisión Ecuatoriano (SNT), dicha base de datos consideró todos los parámetros necesarios para poder establecer estudios de flujo de potencia como de cortocircuitos, lo que permite realizar estudios más realistas de la operación de las protecciones eléctricas.

Se obtuvo una representación gráfica del sistema de potencia (diagrama unificar) que permite visualizar los resultados de las simulaciones a realizar en los diferentes módulos que hace uso CAPE.

En la base de datos del sistema se realizó el ingreso de la información del sistema de protección de las líneas de transmisión del SNT.

Establecida toda la información en la base de datos, analizó del comportamiento de las protecciones eléctricas de una parte del SNT, simulando fallas que incluyen condiciones de prefalla obtenidas del estudio de un flujo de potencia, se obtuvieron y analizaron los reportes de dichas simulaciones, lo que nos permitió determinar conclusiones respecto de la operación del sistema de protecciones de líneas del SNT.

## **INTRODUCCIÓN**

Un sistema eléctrico de potencia debe tener provisiones para un funcionamiento normal y disminuir el daño cuando ocurran fallas en el sistema. Existen herramientas computacionales que ayudan a evaluar el estado de los esquemas de protección eléctrica de un sistema de potencia, CAPE es uno de ellos.

El presente trabajo de tesis tiene varios objetivos, el estudio del programa de ingeniería de protección asistida por computadora CAPE , la elaboración de la base de datos del Sistema Nacional de Transmisión Ecuatoriano (SNT) y del sistema de protección, estudio de Flujo de potencia, estudio de cortocircuitos, la simulación y análisis del comportamiento de las protecciones de líneas del SNT.

Se hizo el análisis del comportamiento de las protecciones eléctricas para fallas en las siguientes líneas de transmisión:

- Santo Domingo – Santa Rosa circuito uno, 230 KV.
- Ambato – Totoras, 138 KV.
- Vicentina – Latacunga, 138 KV.

## **CONTENIDO**

### **Programa de ingeniería de protección asistida por computadora (CAPE).**

CAPE consiste en una serie de módulos opcionales para el análisis y la información, vinculados a una base de datos de propósito general, siendo el módulo Ejecutable el vínculo entre los demás módulos y la base de datos. Del estudio de programa se definieron los siguientes módulos para el desarrollo de la tesis:

- Módulo Editor de base de datos, donde se ingresan los datos de sistema y de protecciones del SNT.
- Módulo Diagrama unifilar, que provee de una representación del SNT y muestra resultados gráficos de las simulaciones efectuadas por otros módulos.

- Módulo Flujo de Potencia, muestra información sobre la operación en estado estable del sistema de potencia y provee de condiciones iniciales de falla más realistas al módulo de cortocircuito.
- Módulo Cortocircuito, calcula y muestra resultados de distintas fallas y contingencias en la red.
- Módulo Simulador de Sistema, que permite simular y evaluar la respuesta de los sistemas de protección.
- Módulo Gráficos de Coordinación, para evaluar gráficamente la coordinación entre conjuntos de relés.

### **Sistema Nacional de Transmisión y su ingreso en CAPE.**

En el capítulo dos se da la descripción del SNT. Se muestran los modelos utilizados en CAPE para la representación de los elementos del sistema y detalles de su ingreso. En la base de datos de sistema se ingresaron subestaciones, barras, líneas de transmisión y algunas de subtransmisión, transformadores de dos devanados, transformadores y autotransformadores de tres devanados, generadores y sistemas equivalentes, cargas, capacitores y reactores. Posteriormente se estableció un estudio de flujo de potencia para el SNT en condiciones operativas de época lluviosa en hora de demanda máxima.

### **Protección de líneas de transmisión del SNT.**

En el tercer capítulo se hace una introducción sobre la protección del SNT. Se describe y se establece en la base de datos los esquemas de protección piloto con sobrealcance permisivo de disparo transferido y de distancia por zonas, ambos constituidos por relés de distancia, estos esquemas de protección son denominados primaria y secundaria.. Se presentan la principales características de los relés instalados en el SNT para protección de líneas del anillo de 230 Kv y líneas a nivel de 138 Kv en la zona Norte y Nor-occidental.

**Tabla I. Relés de Distancia Utilizados en la Protección Primaria y Secundaria de Líneas de Transmisión a nivel de 230 KV.**

MARCA	PROTECCION PRIMARIA	
	MODELO	ESTILO
GEC Measurements	YTG33_FULL	YTG33_EFJ_5A
General Electric	CEY51A	12CEY51A1D

MARCA	PROTECCION SECUNDARIA	
	MODELO	ESTILO
GEC Measurements	YTG31_FULL	YTG31_3Y_5A
General Electric	CEY51A	12CEY51A1D
	SLYG681A	SLYG681A3D

**Tabla II. Relés de Distancia Utilizados en la Protección Secundaria de Líneas de Transmisión a nivel de 138 KV.**

MARCA	PROTECCION SECUNDARIA	
	MODELO	ESTILO
GEC Measurements	YTG31_FULL	YTG31_3Y_5A
General Electric	CEY51A	12CEY51A1D
	SLYG681A	SLYG681A3D
	GCX51A	12GCX51A11A
	GCXG51A	12GCY51A11A
	GCY51A	12GCY51A1A
	GCXG53	12GCXG53A1A

## **Simulación y análisis del sistema de protección de líneas de transmisión a nivel de 230 KV.**

El cuarto capítulo trata del estudio de la protección de distancia a nivel de 230 KV ante fallas de una fase a tierra: La línea de transmisión escogida para el estudio es la Santo Domingo – Santa Rosa circuito 1, con el objetivo de validar los ajustes y los esquemas de protección de distancia empleados, tanto en protección piloto como en protección por zonas.

## **Simulación y análisis del sistema de protección de líneas de la unidad de Transmisión Norte (UTN) a nivel de 138 KV.**

El capítulo cinco es dedicado al análisis de dos tipos de protección de líneas a nivel de 138 Kv. Se empieza con el estudio de la protección direccional de sobrecorriente para la línea Ambato – Totoras para las fallas que causan los mínimos y máximos valores de corrientes de cortocircuitos en dicha línea en las condiciones establecidas en el flujo de potencia. Finalmente se examina el comportamiento de la protección de distancia por zonas para la línea Vicentina – Latacunga ante fallas de una fase a tierra con valores de impedancia de 5, 15 y 40 ohmios.

## **CONCLUSIONES**

Todos los módulos del programa CAPE se complementan para realizar un estudio adecuado de un sistema de protección, con resultados más precisos, mostrando detalles importantes y creando procedimientos para tareas repetitivas.

Se puede modelar todos los elementos del Sistema Nacional de Transmisión tanto para estudios de cortocircuito como de flujo de potencia.

En el estudio de la línea Santo Domingo – Santa Rosa se analizó el desempeño de las unidades de los relés de distancia, donde el esquema de distancia con sobrealcance de disparo transferido (protección piloto) actuó adecuadamente, cubriendo el 100% de la línea en tiempos de operación instantáneos.

La protección de distancia por zonas en la subestación Santa Rosa actuó correctamente como protección primaria de la línea en las simulaciones efectuadas y como protección de respaldo remoto de los elementos adyacentes en el SNT. En la subestación Santo Domingo, la protección de distancia por zonas no cubre el 100% de la línea en sus dos primeras zonas de protección. Si la protección piloto queda fuera de servicio, en Santo Domingo habrá un despeje en tercera zona, que no es lo adecuado.

Se recomienda un mayor alcance de la unidad de segunda zona del relé utilizado en Santo Domingo para protección contra fallas a tierra. Los alcances sugeridos son los que constan en la siguiente tabla:

**Tabla III. Alcance sugerido para el relé de protección de tierra en la subestación Santo Domingo.**

Impedancia de la línea (Ohmios primario)	Tipo de relé	Unidad de Distancia	Alcance para fallas a tierra		Alcance sugerido para fallas a tierra	
			Ohmios primario	% de la línea	Ohmios primario	% de la línea
38.739@83.1	YTG31	Zona 2	45.29@83.1	118.09	56.7@83.1	146.36

Con el alcance sugerido se disminuye el tiempo de despeje a 400 mS (24 ciclos) en vez de los 875 mS (52.5 ciclos) que se tenía con los ajustes anteriores.

Del estudio de la línea Ambato – Totoras se establece que la protección piloto actúa correctamente para las fallas de una fase a tierra y de dos fases simuladas, por la operación de unidades direccionales de sobrecorriente instantánea.

Para fallas trifásicas ubicadas en los extremos de la línea, la protección piloto no funciona porque se inhiben las unidades direccionales de los relés situados cerca de la falla. Esto se debe a que el voltaje de alimentación de los relés es cero. Por lo tanto, los relés direccionales deben estar provistos de memoria de voltaje con lo que se asegura la confiabilidad de la protección piloto de la línea.

Existe descoordinación entre Pucará y Ambato ante una falla de la protección piloto, ya que la protección de distancia de Pucará sería más rápida que la de sobrecorriente direccional de tiempo inverso de Ambato.

La protección de distancia de Pucará no ofrece respaldo para fallas de una fase a tierra en la línea Ambato . Totoras porque la protección de tierra en Pucará la provee un relé de tipo reactancia, el cual no tiene factor de compensación para corriente de secuencia cero en la unidad de tercera zona. El efecto de esto es que la unidad de tercera zona o componente direccional, subalcance la falla e inhiba la operación del relé en todas sus zonas. Entonces se necesita un relé que tenga ese factor para tener respaldo para fallas en el extremo de Ambato.

El análisis de la línea Vicentina – Latacunga nos permite realizar la siguientes conclusiones:

En todas las simulaciones de fallas a tierra con resistecia de falla de 5 ohmios, el despeje de falla fue producido de manera correcta por la protección primaria de distancia por zonas.

El esquema de protección primaria por zonas fue afectado por el subalcance producido por las fallas a tierra de mayor resistencia de arco (15 y 40 ohmios). Fue afectada la respuesta en los relés de distancia de tercera zona (tipo Mho) presentes en los relés de distancia tipo reactancia de la línea.

## REFERENCIAS

1. C. Benavides, I Carchipulla, J Zavala, “Estudio y aplicación de la herramienta computacional – CAPE – para el análisis de protecciones eléctricas en sistemas de potencia” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003)
2. J. Grainger, W. D. Stevenson, Análisis de Sistemas de Potencia. (Reading, Massachussets. Mc Graw-Hill,1996), Capítulos 3, 11 y 12.
3. C. Mason, Art & Science of Protective Relaying. (Reading, Massachussets. Addison-Wesley, 1956), capítulos 1, 2, 3, 4, 5, 9, 13, 14 y 15.
4. V. Warrington, Protective Relays: Their theory and practice. Volumen 1. (London Chapmanand Hall. Ltd, 1969), pp. 198-203, 214-223.
4. V. Warrington, Protective Relays: Their theory and practice. Volumen 2. (London Chapmanand Hall. Ltd, 1969), pp. 163-165.
5. Manual del programa, Computer-Aided Protection Engineering System. (Electrocon International. Inc, 2001).

---

Ing. Alberto Hanze Bello

Director de Tesis.