

# Esquemas de Protección Sistémica del Sistema Nacional Interconectado

V. Flores

W. Almeida

Centro Nacional de Control de Energía - CENACE

**Resumen.-** Este artículo realiza un análisis al marco teórico sobre Protecciones Sistémicas, adicionalmente estudia al Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano con el fin de diseñar esquemas de protección sistémica aplicables a la realidad nacional y preservar las condiciones de estabilidad del sistema ante contingencias probables.

**Palabras clave -** Protección Sistémica, contingencia, restablecimiento, sistema eléctrico de potencia.

## 1. INTRODUCCIÓN

La expansión de los sistemas eléctricos de potencia se ve limitada por las grandes cantidades que se requieren para la inversión, y por los tiempos de construcción de las obras, tanto en generación como en transmisión, aspectos que impiden abastecer la demanda en condiciones óptimas de calidad, seguridad y economía.

En el sistema eléctrico ecuatoriano, el crecimiento acelerado de la demanda de energía eléctrica, en los últimos años, ha obligado a operar los elementos de la red de transmisión con altas cargabilidades, exponiéndose a colapsos parciales y totales ante simples y dobles contingencias.

Con la finalidad de mantener la estabilidad del sistema eléctrico, en medida de lo posible, ante simples y dobles contingencias, se diseñan sistemas de protección sistémicas, que involucran desconexión de generación, desconexión de carga, y/o cambios de topología de la red de transmisión; los mismos que se caracterizan por responder ante eventos bien definidos, ejecutando las acciones en el orden y en los tiempos definidos.

## 2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Definir para el corto plazo, mecanismos automáticos, que permitan operar en forma segura el sistema eléctrico ecuatoriano interconectado con el sistema eléctrico colombiano en condiciones de contingencias simples y dobles.

- Ejemplificar cómo actúan las protecciones sistémicas y sus ventajas de aplicación en sistemas eléctricos no tan robustos.

## 3. MARCO TEORICO

En este artículo, se presentará una de las protecciones sistémicas a nivel, especificando los antecedentes, los resultados, y la propuesta a ser implementada.

### 3.1. Qué es una Protección Sistémica

Los Esquemas de Protección para la Integridad del Sistema de Potencia o Protecciones Sistémicas son un conjunto de elementos de protección y control que permiten detectar y controlar condiciones anormales de operación en el Sistema. Estos esquemas actúan sobre los equipos de la red, con el fin de minimizar la extensión y duración de eventos, así como colapsos parciales o totales de la demanda atendida. Aunque en la práctica están compuestos por elementos de protección, se diferencian conceptualmente de la protección de equipos, en que su función es proteger el sistema (la continuidad de la atención de la demanda) y no elementos de la red en particular.

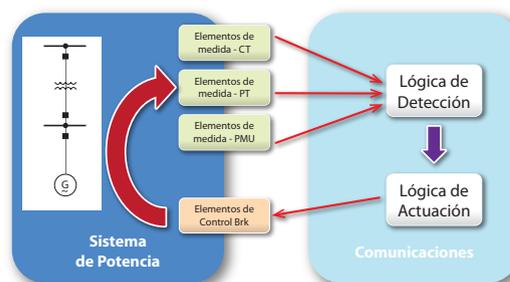


Figura 1: Esquema de una protección sistémica

### 3.2. Características de una Protección Sistémica

Las características a cumplir por parte de las protecciones sistémicas son:

- **Fiabilidad**

Es el grado de certeza con el que la protección actuará, para un estado prediseñado. Es decir debe actuar en el momento en que se requiere, desde el diseño.

- **Seguridad**

Una protección sistémica no actuará para casos en los cuales no tiene que actuar.

- **Selectividad**

Este aspecto es importante en el diseño de un sistema de protección, ya que indica las acciones que deben ejecutarse sobre los elementos seleccionados.

- **Velocidad**

Corresponde al tiempo en el que se ejecutan las acciones, el ciclo de detección-acción más el tiempo de apertura del interruptor. Muchos dispositivos detectan instantáneamente la falla, pero tardan fracciones de segundo en enviar la señal de disparo al interruptor correspondiente. Por eso es muy importante la selección adecuada de una protección de tal forma que evite la pérdida de estabilidad el Sistema.

- **Simplicidad**

Mientras menos complejo sea el diseño de una protección sistémica, existe menor riesgo de falla de la misma, por lo tanto es recomendable realizar el diseño de la forma más sencilla posible.

- **Economía**

Cuando se diseña un sistema de protección, lo primero que se debe tener en cuenta es el costo de no abastecer la demanda. A veces el costo de un sistema de protección no es el punto a discutir, sino la importancia de la sección del sistema que se debe proteger, lo recomendable es siempre analizar múltiples opciones para determinar cuál de ellas es la que satisface los requerimientos de protección al menor costo.

Adicionalmente hay que considerar que los mecanismos encontrados, deberán ser flexibles y reajustables en el tiempo, de acuerdo a los cambios topológicos de la red de transmisión, crecimiento de demanda, ingreso de nueva generación, entre otros.

### 3.3. Objetivos de una Protección Sistémica para el S.N.I.

Las protecciones diseñadas para el Sistema Nacional Interconectado deben cumplir con las siguientes premisas.

- Estabilizar el sistema eléctrico Ecuatoriano frente a una falla específica analizada
- Permitir un incremento de la capacidad de transmisión de las líneas existentes (doble circuito y bajo criterio N-1) en forma segura.

- Permitir la utilización segura de la sobrecapacidad de las líneas impuesta por los requerimientos de redundancia (criterio de uso N-1)
- Disminuir el tiempo de reposición ante fallas en el sistema.

### 3.4. Metodología de estudios sobre protecciones sistémicas

Una vez detectada una condición en el Sistema Nacional Interconectado que ponga en riesgo las condiciones de seguridad del sistema se procede a:

- Plantear los casos de análisis, considerando las condiciones críticas de operación, para la contingencia analizada.
- Considerar el plan de expansión de generación y transmisión, para el período de análisis.
- Plantear las posibles soluciones al problema analizado, protecciones sistémicas.
- Realizar el análisis para cada propuesta en estado estable y dinámico, a fin de determinar cuál de ellas presenta mayores ventajas para el sistema eléctrico.
- Analizar la propuesta con mejores características para el sistema, con estudios de sensibilidad, considerando diferente escenarios de despacho y generación.
- Implantar el Sistema de Protección escogido.

### 3.5. Ejemplo teórico de una protección sistémica

En la Fig. 2 se muestra un diagrama eléctrico, el cual permitirá explicar de una forma sencilla cómo actúa una protección sistémica que implica desconexión de generación.

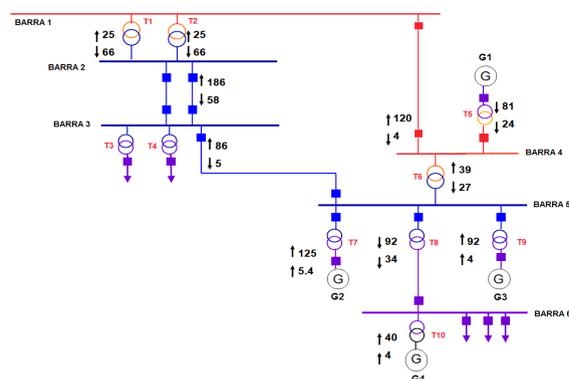


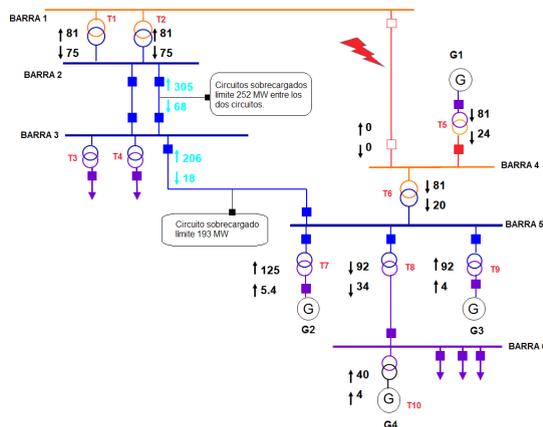
Figura 2: Sistema Eléctrico de ejemplo (Caso Base)

Los límites permisibles para los elementos asociados al caso base se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 1: Límites de disparo de las L/T del caso base**

L/T	Límite de disparo (MW)
2-3	126
3-4	193

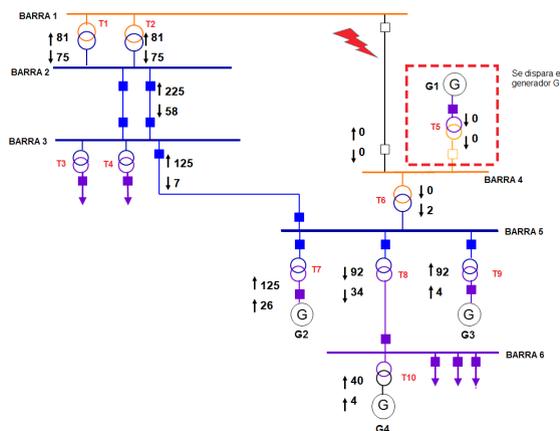
Ante el disparo de la línea comprendida entre las barras 1 y 4, se sobrecarga los circuitos comprendidos entre las barras 2 y 3 y el circuito comprendido entre las barras 3 y 5, en el caso de presentarse esta sobrecarga, puede producirse el disparo de los circuitos 2-3 y 3-5, provocando el colapso de toda el sistema eléctrico del ejemplo, tal como se evidencia en la Fig. 3.



**Figura 3: Caso Base ante el disparo de la línea 1-4**

A fin de salvar la mayor parte de la carga y la generación del sistema, se ha estudiado la mejor alternativa y se concluye que una opción a implementar constituye el disparo del generador No. 1 (G1), ante la salida intempestiva del circuito comprendido entre las barras 1 y 4, con el fin de evitar sobrecargas en los circuitos restantes posterior a la falla.

El flujo de potencia considerando la protección en mención se muestra en la Fig. 4.



**Figura 4: Caso Base con la implementación de la protección sistémica**

El resumen de la pérdida de carga y generación total del área que se daría con y sin la implementación de la protección sistémica se visualiza en la Tabla 2, de donde se concluye que al activar el disparo del generador No. 1 ante la salida intempestiva de la línea ubicada entre las barras 1 y 4, el sistema pierde únicamente 81 MW en comparación de los 288 MW de carga y 338 MW de generación que se perdería en el caso de que no existiese ningún esquema implementado.

**Tabla 2: Pérdida de carga y generación ante el disparo de la línea 1-4**

	Sin la Protección Sistémica.	Con la Protección Sistémica
<b>Pérdida de generación</b>		
G1 (MW)	81	81
G2 (MW)	125	-
G3 (MW)	92	-
G4 (MW)	40	-
<b>Pérdida de carga</b>		
Carga (MW)	288	-

Con la finalidad de evitar la apertura no deseada del generador 1, ante el disparo de la línea 1-4.

El esquema debe ser activado bajo la siguiente filosofía:

El generador 1 dispara si: Se detecta apertura de uno o los dos extremos de la línea 1-4 y la sumatoria previo a la falla de los flujos por las líneas 1-4 y 2-3 superan el valor de 252 MW (Límite de operación entre los dos circuitos 2-3).

#### 4. APLICACIÓN DE PROTECCIONES SISTÉMICAS AL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO -S.N.I.

El S.N.I., al momento se han implementado protecciones sistémicas, y otras en vías de estudio y desarrollo, de las cuales se procederá a nombrar las principales, para conocimiento general y de forma detallada se explicará el estudio realizado para la implementación de una protección sistémica zonal (protección sistémica ante apertura intempestiva del circuito 2 de L/T Santo Domingo - Quevedo 230 kV).

A octubre de 2011, el Sistema Nacional Interconectado cuenta con las protecciones sistémicas detalladas en la tabla 3, donde consta el nombre de la protección y el objetivo principal que persigue.

**Tabla 3: Resumen de protecciones sistémicas del S.N.I. a octubre 2011**

1	<b>ESQUEMA DE PROTECCIÓN DEL AUTOTRANSFORMADOR ATT DE LA S/E TOTORAS 20/138 kV.</b>
	Evita el disparo del autotransformador ATT 230/138 kV de la S/E Totoras por sobrecarga sostenida.
2	<b>ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LA L/T PROSPERINA - TRINITARIA 230 Kv</b>
	Evita el disparo por sobrecarga de la L/T Trinitaria - Salitral 138 kV, ante la apertura intempestiva de la posición Nueva Prosperina en la S/E Trinitaria 230 kV
3	<b>ESQUEMA DE PROTECCIÓN POR BAJOS VOLTAJES EN LA S/E PORTOVIEJO</b>
	Evita el colapso de la S/E Portoviejo por problemas de bajo voltaje.
4	<b>ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LA L/T SANTA ROSA - TOTORAS 230 kV</b>
	Evitar el colapso del sistema ante la salida intempestiva de los dos circuitos Santa Rosa - Totoras 230 kV
5	<b>ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LA L/T SALITRAL - PASCUALES 138 kV</b>
	Evita el disparo de un circuito de la L/T Pascuales - Salitral 138 kV por sobrecarga, ante el disparo del otro circuito de dicha línea y evita el colapso del área de Salitral, ya que se produciría el disparo de la L/T Salitral - Trinitaria 138 kV por sobrecarga.
6	<b>ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE LOS AUTOTRANSFORMADORES ATU Y ATT DE LA S/E SANTA ROSA 230/138 KV</b>
	Con la indisponibilidad de uno de los autotransformadores, evita el colapso de la zona norte del país ante la salida del autotransformador disponible.

#### 4.1. Protección sistémica ante apertura intempestiva del circuito 2 de L/T Santo Domingo Quevedo 230 Kv

Con el fin de atender la demanda del Sistema Nacional Interconectado, el mes de febrero de 2011 ingresó en operación la Central Térmica Quevedo II de 100 MW, conectada al Sistema Nacional de Transmisión a través de la utilización provisional de la bahía Santo Domingo 1 de la subestación Quevedo 230 kV.

Con las actuales condiciones de despacho del S.N.I., se observa que el flujo por el circuito 2 de la L/T Quevedo - Santo Domingo de 230 kV (indisponible el circuito 1 de la L/T Quevedo - Santo Domingo de 230 kV), supere los límites de estabilidad, cuya apertura intempestiva implica la apertura del anillo troncal de 230 kV y un alto riesgo de colapso del S.N.I.

Con base a lo expuesto, se analizó la implementación de una protección sistémica, que permita al sistema eléctrico encontrar un nuevo punto de estabilidad ante el disparo del C2 Quevedo – Santo Domingo 230 kV.

El análisis de la protección sistémica se realiza para los períodos de demanda mínima, media y máxima de un día laborable.

Protecciones sistémicas analizadas:

- **Caso 1:** Disparo de la carga correspondiente a la S/E Santo Domingo 69 kV.
- **Caso 2:** Disparo del autotransformador ATU 230/138 kV de la S/E Santo Domingo, lo que implica la salida de carga de la S/E Santo Domingo y la S/E Esmeraldas incluida la carga de la refinería.
- **Caso 3:** Disparo del autotransformador ATU 230/138 de la S/E Santo Domingo, más la generación de la central Quevedo

Análisis técnico, (se expondrán únicamente los resultados obtenidos para demanda máxima)

**Tabla 4: Resultados ante el disparo del C2 Sto. Domingo – Quevedo 230 kV sin la implementación de ningún esquema sistémico**

	MW	MW
Transferencia Interconexión con Colombia	28.2	58
Transferencia por el C2 Quevedo – Santo Domingo	170	150
Generación Paute	645.4	555
Voltaje Santa. Rosa 230 kV (p.u.)	-	0.9522
Actúa el Esquema de Separación de Áreas	Si	No
Encuentra un nuevo punto de equilibrio	No	Si

Para transferencias mayores a 170 MW por el circuito 2 de la L/T Quevedo – Santo Domingo 230 kV, se implementa los dos esquemas propuestos.

**Tabla 5: Resultados de los 3 esquemas sistémicos planteados**

<i>Flujo mayor a 170 MW</i>			
Actúa el Esquema de Separación de Áreas	ATU Santo Domingo	Carga de Santo Domingo	ATU Santo Domingo más C.T. Quevedo
Actúa el Esquema de Separación de Áreas	Si	Si	No
Alcanza nuevo punto de equilibrio	No	No	Si
Voltaje Santa Rosa 230 kV (p.u.)	0.8826	0.7609	0.93
Carga disparada en S/E Santo Domingo (MW)	71	71	71
Carga disparada en S/E Esmeraldas (MW)	78	-	78
Generación Disparada C. Quevedo (MW)	-	-	85

Se evidencia que para flujos superiores a 150 MW por el C2 Quevedo – Santo Domingo 230 kV, la desconexión de carga solamente en la S/E Santo Domingo no es suficiente, para llevar al sistema a un nuevo punto de equilibrio, es necesario activar el disparo del autotransformador ATU 230/138, a fin de desconectar la carga de las S/E Santo Domingo y Esmeraldas.

Para flujos superiores a 170 MW, incluso la desconexión de carga en la S/E Esmeraldas y Santo Domingo, no permite que el sistema encuentre un nuevo punto de equilibrio.

Para todos los casos analizados, el aplicar un esquema que considere tanto la desconexión de carga de la S/E Esmeraldas, Santo Domingo y la generación de la C.T. Quevedo, permite al sistema eléctrico encontrar un nuevo punto de equilibrio de operación.

## 4.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Se concluye que para que el sistema encuentre un nuevo punto de equilibrio ante el disparo del C2 Quevedo – Sto. Domingo 230 kV, con transferencias mayores a 140 MW es necesaria la implementación de una protección sistémica que cumpla con las siguientes características:

1. Detecte apertura de uno de los dos disyuntores en la S/E Santo Domingo o en la S/E Quevedo.
2. Dispare el autotransformador ATU 230/138 en la S/E Santo Domingo.
3. Dispare la posición C. T. Quevedo en la S/E Quevedo

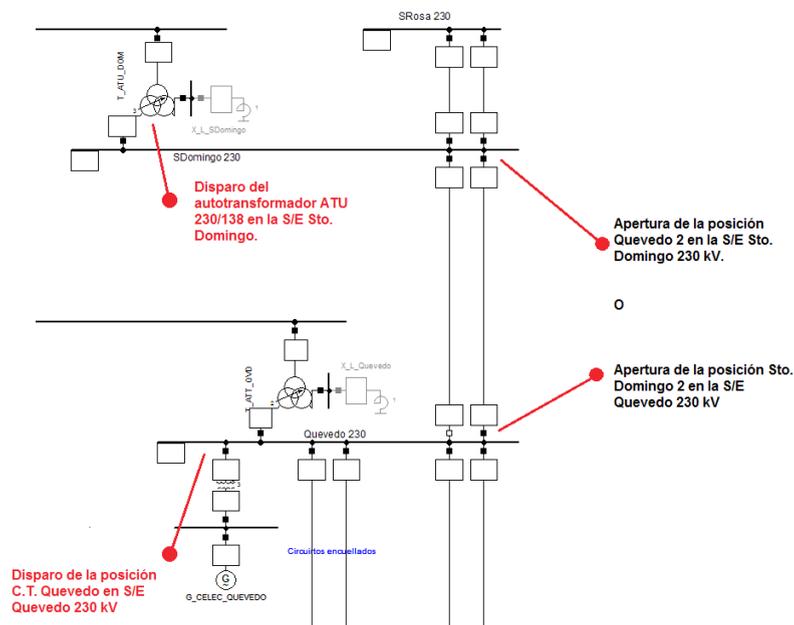


Figura 4: Implementación del esquema sistémico ante la apertura del C2 Santo Domingo – Quevedo 230 kV

## 5. CONCLUSIONES

En el proceso de explotación de los sistemas eléctricos de potencia pueden aparecer fallas y regímenes anormales en sus distintos elementos, los cuales pueden conducir a fallas e interrupciones de servicio a los consumidores, y por lo tanto reducción de la calidad de servicio y daños en el equipo.

Es necesario establecer soluciones de mediano plazo, mediante análisis técnico – económico, que permitan operar en forma segura el sistema eléctrico ecuatoriano interconectado con el sistema eléctrico colombiano, ante contingencias simples y dobles en el anillo de 230 kV, considerando el Plan de Expansión de Generación y de Transmisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IE-10 PROTECCIONES. Norberto I. Sirabonian, Alfredo Rifaldi.
- [2] Definición del proyecto SPS, CENACE 2011.
- [3] Estudio Protección Sistémica ante apertura intempestiva del circuito 2 de L/T Santo Domingo Quevedo 230 kV, CENACE 2011.
- [4] Sistema de Respaldo Nacional ante Eventos de Gran Magnitud – SIRENA, Una aplicación de Redes Inteligentes en el Sistema de Transmisión Nacional de Energía, Ramón León – Jorge Enrique Gómez, XM S.A. E.S.P. Compañía de Expertos en Mercados.



María Verónica Flores Soria.- Nació en Latacunga, Ecuador, en 1974. Recibió su título de Ingeniera Eléctrica de Escuela Politécnica Nacional en el 2000, de Máster en Economía y Regulación de Servicios Públicos de la Universidad de Barcelona, especialidad Energía, España en el 2004, y de la Maestría en Dirección de Empresas de la Universidad Andina en el 2009, especialidad Finanzas.

Actualmente se desempeña en el cargo de ingeniera de planeamiento eléctrico en el Centro Nacional de Control de Energía.



Wendy Susana Almeida Solano.- Nació en la ciudad de Quito – Ecuador en 1979. Recibió su título de Ingeniera Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional en el 2004, realizó estudios de post grado en el Instituto de Energía Eléctrica en San Juan – Argentina en 2006, y de Maestría en Sistemas de Gestión Integrados en la Universidad de Huelva – España en convenio con UTPL de Ecuador.

Actualmente se desempeña como ingeniera de planeamiento eléctrico en el Centro Nacional de Control de Energía.