



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

---

## **PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES EN LA ANDE. ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LA ZONA DE PROTECCIÓN DEFINIDA**

**Gregorio Espínola Zaracho**

**Administración Nacional de Electricidad (A.N.D.E.)**

**Paraguay**

### **RESUMEN**

Este trabajo resulta de un análisis realizado sobre las actuaciones de las protecciones diferenciales de transformadores en algunas instalaciones de la ANDE. Fueron tomados los registros históricos de los eventos ocurridos en Estaciones y Subestaciones del Sistema Metropolitano para evaluar el desempeño de dicha protección, teniendo en cuenta el tipo de falla y las consecuencias derivadas del evento.

Los eventos relacionados con transformadores de potencia, que fueron tomados como ejemplo para el análisis, han demostrado que existe una deficiencia en el criterio utilizado en la ANDE en la definición de la zona protegida por el relé diferencial; deficiencia que se pretende poner en evidencia a través de la comparación entre lo practicado en ANDE y los criterios propuestos en las literaturas sobre protecciones.

Los objetivos perseguidos con este trabajo son los siguientes:

- Identificar las deficiencias en el criterio actual de definición de la zona protegida por el relé diferencial.
- Promover un espacio de discusión sobre la necesidad de revisión de los criterios utilizados para la protección de transformadores en la ANDE.

### **PALABRAS CLAVES**

Protección de Transformadores, Relé Diferencial, Definición de Zona de Protección, Eventos, Fallas o Defectos, Análisis de Eficiencia.

---

## 1. ALGUNOS FUNDAMENTOS BASICOS DE PROTECCIONES

El objetivo general de las protecciones es: “Eliminar o aislar el defecto lo más rápido posible, de modo a dejar el menor número de consumidores sin energía” [1]. Además de evitar la avería de los equipos de potencia por causa de las fallas.

### 1.1. Zona de Protección

Cada Relé es colocado para proteger a un equipo, o una línea o trecho de una línea; cuya cobertura es denominada zona de protección o zona de selectividad de la protección. La primera defensa es hecha a través de la protección principal, y en segunda instancia por la protección secundaria o de retaguardía. En algunos casos se pueden agregar protecciones de respaldo o redundante, que pueden ser réplicas de la protección principal.

Las zonas de protección de los relés están delimitadas por los elementos sensores, constituidos por los TC's, TP's, y los interruptores.

### 1.2. Aspectos a considerar en la definición de las Zonas de Protección

En relación a la protección principal, se debe efectuar la instalación de la protección teniendo en cuenta las siguientes consideraciones [2]:

- Que haya superposición de las zonas de actuación de los relés de protección principal.
- Que cada interruptor esté cubierto o contenido dentro de por lo menos dos zonas de protección principal.
- Que siempre haya un interruptor entre cada circuito complementario o conjunto de equipos

La zona de la protección principal se inicia en el punto instalación del TC o los TC's del circuito eléctrico. Idealmente, en los interruptores pertenecientes a la superposición de zonas, los TC's deben estar entrelazados, es decir, los TC's deben estar posicionados de modo que el interruptor quede en medio de ellos [2], conforme ilustrado en la Figura 1. En la práctica, para reducir los costos se utilizan el esquema mostrado en la Figura 2.

### 1.3. Influencia de las probabilidades de falla

Las prácticas de protecciones están basadas en las probabilidades de la falla en el sentido de que las prácticas actuales son el resultado de años de experiencia, en los que la frecuencia de la falla ha jugado un papel importante para la formación de las filosofías de protecciones. Sin embargo, la probabilidad de falla rara vez es considerada para la selección de un tipo particular de equipo de protección, dado que casi siempre es superado por el criterio del costo de implementación de la protección. Se ha dicho que la justificación para una práctica dada iguala la probabilidad de veces el costo del disturbio. En definitiva, aún cuando la probabilidad de falla es insignificante, ninguna parte del sistema de potencia debería estar sin protección [3].

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

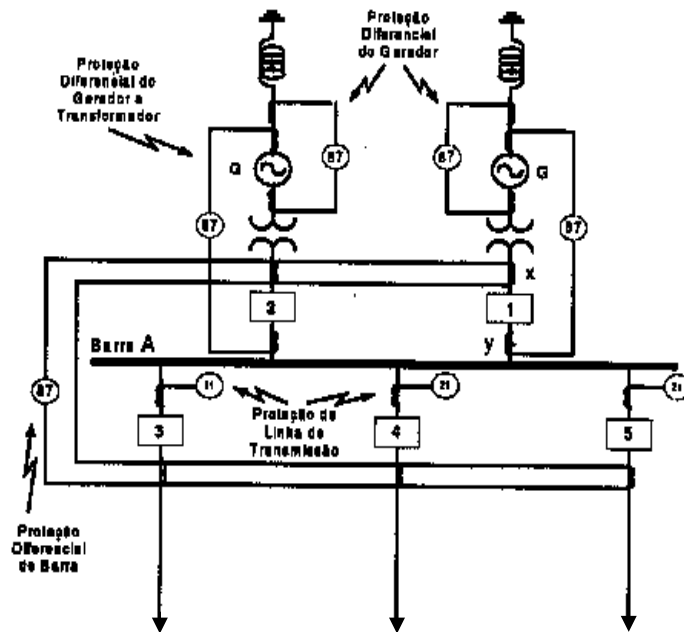


Figura 1: Esquema ideal de ubicación de los TC's

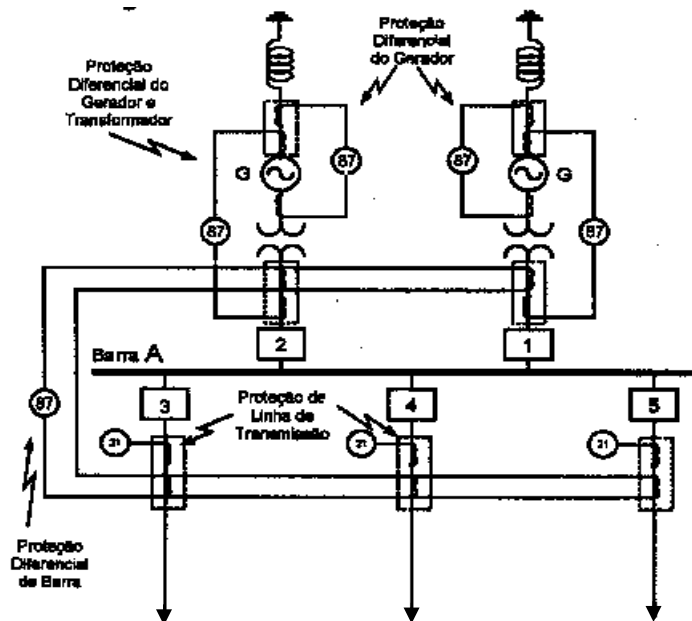


Figura 2: Esquema utilizado en la práctica para reducir costos

## 2. PRACTICAS DE PROTECCIONES VIGENTES EN LA ANDE

Actualmente, el criterio de Protección para Transformadores de Potencia vigente en la ANDE, esta basado en un documento titulado “TRANSFORMADORES DE POTENCIA – FILOSOFÍA DE PROTECCIÓN” [4]. Este documento trata de los aspectos más relevantes relacionados con las protecciones de los transformadores de potencia. Tiene en cuenta la implicancia de la energización en forma remota y la importancia de una correcta discriminación de los defectos en el mismo.

### 2.1. Justificativas del criterio adoptado

Dicho trabajo pone como objetivo principal el de “unificar los esquemas de protección de los equipos ante la implementación de sistemas de monitoreo remoto de las instalaciones”; además el de “garantizar la selectividad de la protección diferencial”. En este documento se define la “filosofía de protección” que debe regir en la ANDE para los transformadores de potencia (de dos y tres devanados) a partir de esa fecha.

### 2.2. Criterio adoptado para Protección Diferencial

En el apartado que se refiere a la protección diferencial, se define la zona de protección que abarcará el relé diferencial. El siguiente texto es la transcripción de dicha definición:

*“De manera a garantizar la selectividad de esta protección, los circuitos de corriente que alimentan al Relé serán proveídos exclusivamente por los secundarios de los TC’s tipo bushing del transformador de potencia. Se admitirá de manera extraordinaria, que tales circuitos provengan de TC’s tipo pedestal, montados ya sea en el patio, ya sea en celdas aisladas de 23kV. Con esta última configuración, en la zona de protección se estarían incluyendo conductores de potencia (220kV y/o 66kV y/o 23kV) y descargadores, con lo que la selectividad de esa protección se vería afectada. Adicionalmente, para transformadores de potencia de 100MVA se recomienda montar dos protecciones diferenciales, una proveniente de los bushing y otra de los TC’s tipo pedestal, englobando conductores de potencia”.*

La figura 3 muestra el diagrama funcional para un transformador de dos devanados (Dyn11), donde se puede apreciar el esquema de protección propuesto.

Es importante señalar que por más que exista una normativa que define el criterio a ser adoptado en la ANDE para la definición de la zona protegida por el relé diferencial, en la práctica no existe una unificación del criterio, pues en algunas instalaciones el relé diferencial toma la referencia de corriente de los TC’s tipo Bushing de los transformadores y, sin embargo, en otras instalaciones la referencia de corriente es dado por los TC’s tipo pedestal y/o por los TC’s instalados dentro de las celdas Metal-clads. Es de comprender que existe una diferencia en cuanto al desempeño de las protecciones para ambas configuraciones.

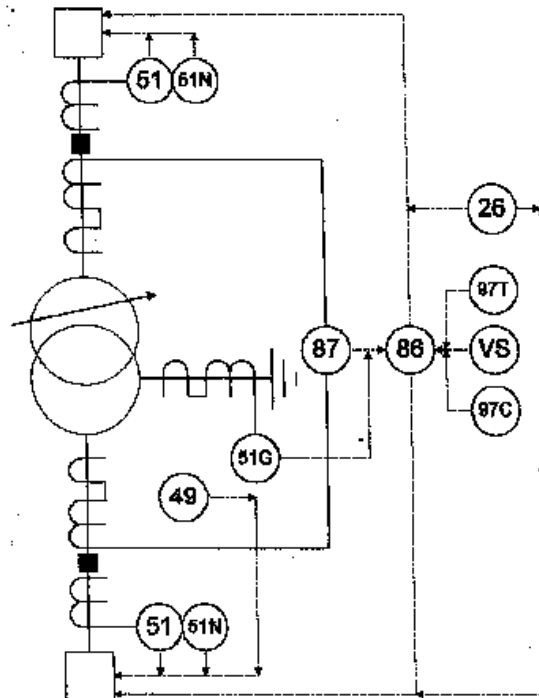
**PROTECCION DE UN TRANSFORMADOR  
DE DOS DEVANADOS****DIAGRAMA FUNCIONAL**

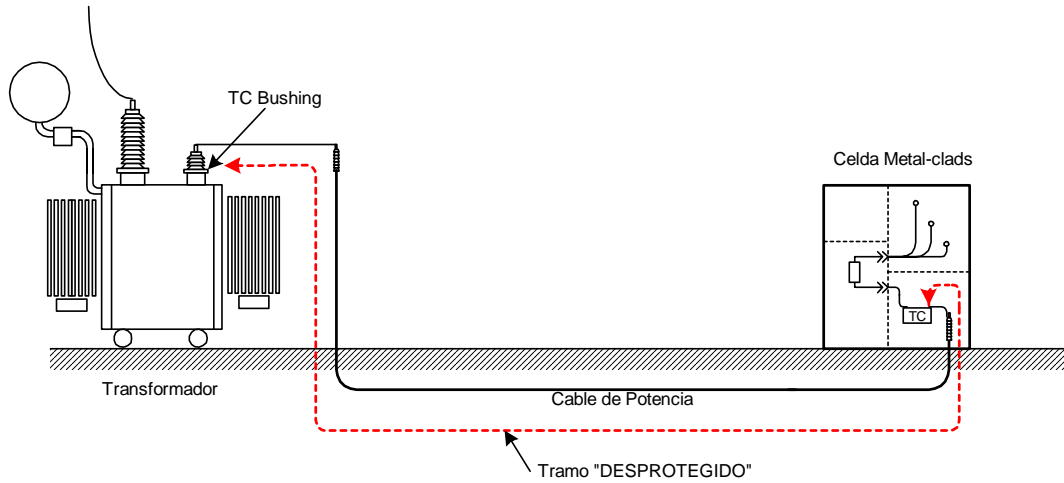
Figura 3: Diagrama funcional con el esquema de protección propuesto

### 3. EFECTIVIDAD DE LAS PROTECCIONES EN EL ESQUEMA PROPUESTO

A seguir se realizará un análisis de la efectividad de las Protecciones de los Transformadores en el esquema o configuración propuesto, evaluando la respuesta de las mismas ante ciertos tipos de fallas y teniendo en cuenta los efectos producidos por dichas fallas.

#### 3.1. Evaluación del esquema general de Protección de los Transformadores

El sistema de protección de los transformadores de la ANDE, definida de acuerdo al esquema propuesto en el mencionado documento, no sería el más eficiente; puesto que existen tramos del circuito que queda sin protección principal, contrariando los principios y fundamentos básicos de las protecciones (ver figura 4). La práctica ha demostrado que el desempeño de las protecciones bajo este esquema resultó ser deficiente, teniendo en cuenta los efectos, en algunos casos hasta desastrosos, que se tuvieron a consecuencia de las fallas ocurridas en los tramos que se encuentran desprotegidos por un relé principal. En cambio, con fallas similares y en las mismas ubicaciones, pero con la diferencia de que se encontraban dentro de la zona protegida por el relé diferencial, las consecuencias fueron mínimas en comparación de lo que se pudiera haber tenido en caso de que se hubiera aplicado el mencionado esquema de protección.



**Figura 4: Tramo del circuito sin protección principal**

### 3.2. Eventos registrados en las EE.SS. y SS.EE. del Sistema Metropolitano

La siguiente tabla muestra el resumen de los eventos registrados en las Estaciones y Subestaciones del Sistema Metropolitano, en el periodo comprendido entre Enero/2004 hasta Agosto/2008.

**Tabla I: Resumen de eventos registrados en el Sistema Metropolitano**

Año / Tipo de falla	2004	2005	2006	2007	2008	Total Periodo
Falla real	32	28	24	34	31	149
Falla humana	2	6	3	1	4	16
Falla de dispositivo	3	1	3	2	1	10
<b>TOTALES</b>	<b>37</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>175</b>

Los datos fueron tomados de los archivos Históricos de Operación – Registro de Eventos [5], donde quedan archivados los informes de operación relacionados a los eventos. En dichos informes se detallan los pormenores de lo ocurrido, tales como: Local, Circuito, Carga interrumpida, Fecha y Hora de inicio, Duración, Protecciones actuadas, Descripción, Equipos afectados, Probables causas, Daños ocasionados, Providencias tomadas, y otros datos.

Del total de eventos registrados, se tomaron todos aquellos registros que están relacionados con fallas en el tramo considerado “desprotegido”, o donde se tuvo explosión en celdas Metal-clads, y los que involucran la actuación del Relé Diferencial. Se encontraron 26 archivos relacionados, los cuales fueron clasificados según la naturaleza de la falla obteniéndose el siguiente cuadro:

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

**Tabla II: Registros seleccionados por Tipo de Falla**

TIPO DE FALLA	CANTIDAD
Pérdida de aislación o descarga en mufas de 23kV	8
Corto circuito por intrusión de animal	6
Explosión dentro de la celda 23kV	3
Pérdida de aislación o descarga en TC 23kV	2
Actuación o falla de descargador	2
Falla humana	4
Falla de dispositivo	1
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>

De este grupo, 14 registros están relacionados con fallas reales localizados en el tramo considerado “desprotegido”, 9,4% del total de fallas, lo que representa una probabilidad de falla o una tasa de falla muy alta en la zona considerada “desprotegida”.

Haciendo una evaluación de las consecuencias resultantes en cada caso, se pudo notar que en las instalaciones donde ocurrieron fallas en el tramo sin protección principal, las consecuencias fueron mucho más graves; aparte del fuera de servicio y pérdida de carga innecesaria, en la mayoría de los casos se tuvieron averías graves de equipos y principios de incendio, dilatando enormemente el tiempo de reposición de los transformadores, sin mencionar el perjuicio económico. En cambio, en las instalaciones donde el tramo mencionado estaba protegido por el relé diferencial, las consecuencias de las fallas fueron marcadamente minimizadas, se evitaron pérdidas de carga y en general el tiempo medio de retorno de los transformadores fue corto.

**3.3. Desempeño de las Zonas de Protección Diferencial en configuraciones diferentes**

**3.3.1. Caso 1: Subestación Barrio Parque (SE-BPA)**

Como primer ejemplo, se tomará el caso de la SE-BPA, que representa al esquema definido de acuerdo al criterio vigente en ANDE, es decir, donde el relé diferencial toma referencia de corriente de los TC’s Bushing y el relé de máxima corriente de los TC’s de la Celda Metal-clads. En este caso queda “desprotegido” el tramo del cable de potencia, desde el Bushing de salida de 23kV del transformador hasta la llegada a la celda del interruptor de 23kV. Algunos eventos ocurridos en el tramo “desprotegido” tuvieron resultados lamentables, según el siguiente resumen:

**Tabla III: Resumen de eventos registrados en la SE-BPA**

N° Informe	Fecha	Posición	Probables causas	Protección actuada	Daños o Consecuencias
33/2005	08/12/2005	TR-2 /23kV	Pérdida de aislación de mufa 23kV	Sobre corriente fase "R" 23kV. Disparo de las LT's 66kV SLO-BPA I y II	Principio de incendio en la celda del 52-76. Para despejar la falla dispararon las 2 Líneas de 66kV.
09/2006	13/09/2006	TR-3 /23kV	Descarga en mufa de 23kV y arco eléctrico.	Sobrecorriente temporizado "R-S-T". Disparo de las LT's 66kV BPA-SLO y BPA-VAU	Incendio de 4 (cuatro) celdas Metal-clads de 23kV. TR-3 y Barra "C" 23kV indisponible durante el periodo de reparación: 22 días.

Aunque el relé de máxima corriente del lado 23kV haga disparar el interruptor de baja del transformador en forma casi instantánea (la SE-BPA posee tres transformadores operando en paralelo), el defecto ubicado en la zona “desprotegida” continúa siendo alimentado por el transformador y no es separado inmediatamente, pues escapa de la zona protegida por el relé diferencial y la protección de máxima corriente del lado de alta no es sensibilizada suficientemente debido a que ésta ve la falla a través de la impedancia del equipo de potencia, sumado a la alta resistencia del arco; y tiende a actuar de manera muy temporizada haciendo que el arco se mantenga por un tiempo muy largo lo que origina casi siempre un principio de incendio dentro de la celda. Como la protección de sobrecorriente de alta del transformador se demora demasiado en actuar, las protecciones de líneas se adelantan y mandan disparar todas las líneas de modo a aislar el defecto, pero a costa de la interrupción de toda la carga del local.

El fuera de servicio indeseado e innecesario de la instalación, puede atribuirse a una deficiencia del esquema de protección utilizada, atendiendo que, en el supuesto caso de producirse la apertura rápida de los interruptores en ambos lados del transformador (si es que se define de manera más eficiente la zona protegida por el relé diferencial), los transformadores remanentes asumirían la demanda y dependiendo del nivel de demanda ni siquiera se tendría pérdida carga.

Evidentemente esta configuración para la protección de transformadores no tiene un buen desempeño. La zona de protección diferencial definida de esta manera no es la más eficiente. Además, paradójicamente, se pierde selectividad para el despeje o aislamiento del defecto lo que puede conducir a situaciones indeseadas hasta de consecuencias graves como fue el caso ocurrido en la SE-BPA en que se tuvo incendio de varias celdas y que llevó 22 días para el retorno en el servicio de la posición del TR-3.

### 3.3.2. Caso 2: Estación Lambaré (ES-LAM)

Como segundo ejemplo se toma la ES-LAM, en este caso todo el tramo descrito anteriormente está incluido dentro de la zona protegida por el Relé Diferencial, pues, tanto el relé diferencial como el de máxima corriente toman referencia de los TC's alojados dentro de la celda Metal-clads. En esta configuración se cumple el principio de la superposición de las zonas de protecciones adyacentes (figura 5) y no queda ningún tramo sin protección principal, por tanto, está acorde con los fundamentos básicos de protecciones.

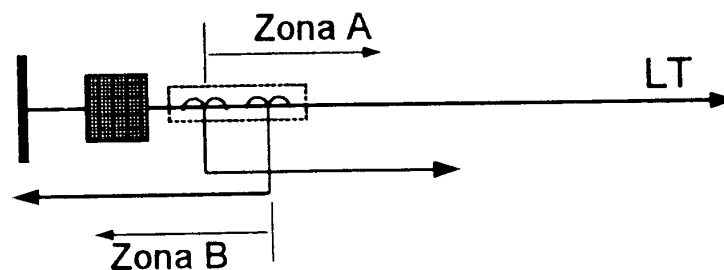


Figura 5: Ejemplo de superposición de Zonas de Protección



**VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**29, 30 y 31 de Octubre de 2008**

En esta instalación se registraron repetidas veces fallas similares al de la SE-BPA, incluso algunos hasta peores, pero las consecuencias fueron mínimas gracias a la rapidez de la respuesta de la protección diferencial.

En el siguiente cuadro se puede apreciar los detalles de algunos eventos ocurridos en la ES-LAM:

**Tabla IV: Resumen de eventos registrados en la ES-LAM**

N° Informe	Fecha	Posición	Probables causas	Protección actuada	Daños o Consecuencias
17/2005	12/08/2005	TR-2 /23kV	Corto circuito por intrusión de animal (gato).	Relé diferencial	Avería de un multimetro
19/2006	21/11/2006	TR-1 /23kV	Descarga en la mufa de llegada del cable de potencia.	Relé diferencial	Avería de la mufa de 23kV
38/2007	24/12/2007	TR-2 /23kV	Pérdida de aislación en mufa 23kV	Relé diferencial	Explosión de la mufa del cable de potencia de salida del TR-2
17/2008	14/05/2008	TR-2 /23kV	Pérdida de aislación en mufa 23kV, llegada del TR-2.	Relé diferencial	Mufa con rastro de descarga.
41/2008	31/05/2008	TR-2 /23kV	Corto circuito por intrusión de animal (gato).	Relé diferencial y sobrecorriente fase "R"	Retirado el cuerpo del animal, se normalizó sin inconvenientes

En todos estos eventos hubo actuación de la protección diferencial, una protección de respuesta rápida y por ese motivo las consecuencias fueron mínimas. El hecho de aislar el defecto de manera rápida preserva a los equipos de posibles daños que puedan sufrir a causa de la corriente de falla o por la formación de arco eléctrico de defecto. En todos los casos citados no se produjeron carbonillas que suelen aparecer cuando se produce un arco eléctrico prolongado dentro de las celdas; no fue necesario realizar limpieza de las celdas, lo que resultó en que se tenga un tiempo de retorno en operación de los transformadores relativamente corto [6].

Gracias a la rapidez en el despeje de las fallas, en la generalidad de estos casos no se produjeron pérdida de carga porque el transformador remanente se encargó de sostener toda la carga.

#### 4. CONCLUSIONES

Con base a lo expuesto se puede concluir que el criterio adoptado para la protección de transformadores de potencia en la ANDE, sufre de defectos que necesitan ser corregidos.

Según las estadísticas, la tasa de falla en el tramo del cable de potencia de 23kV es elevada y es justamente esta zona la que queda desprotegida con el esquema planteado en el documento vigente. Se debe revisar el esquema de protección de modo a incluir dicho tramo dentro de la Zona de protección diferencial.

La definición de la Zona protegida por el Relé Diferencial debe ser modificada de modo a optimizar la función de protección y cumplir sobretodo con el propósito de evitar los daños "evitables" en los equipos a consecuencia de las fallas. Además puede evitar pérdidas de cargas innecesarias.



## BIBLIOGRAFIA

[1] G. Kindermann. “Proteção de Sistemas Elétricos de Potencia - Volume 1” (2ª. Edição, Florianópolis-SC 2005).

[2] G. Kindermann. “Proteção de Sistemas Elétricos de Potencia - Volume 2” (Edição do Autor, UFSC, Florianópolis-SC 2006).

[3] Página WEB. “<http://html.rincondelvago.com/proteccion-de-transformadores-y-generadores.html>”

[4] INFORME N° 3/2003. “Transformadores de Potencia – Filosofía de Protección” (Grupo de Trabajo de Protecciones, ANDE, Diciembre-2003).

[5] Archivos de INFORME DE EVENTOS. Asistencia Técnica de la Sección Sistema Metropolitano – Dpto. Transmisión Centro Norte-Oeste de la División de Generación y Transmisión – ANDE.

[6] Archivos de NOVEDADES DE OPERACIÓN. Centro de Operación Regional Metropolitano (COR-M) – Dpto. Transmisión Centro Norte-Oeste de la División de Generación y Transmisión – ANDE.