

# SISTEMA EXPERTO EN ANÁLISIS DE FALLAS EN LÍNEAS ELÉCTRICAS DE TRANSMISIÓN SAF

*Alejandro Degl'Innocenti (Transener S.A.)  
Julio Eloy Salcedo (Transener S.A.),  
Esteban Antonio Hollman (Transener S.A.),  
Bibiana D. Rossi (ITBA)*

**Resumen:** Los Sistemas eléctricos de Transmisión están sometidos a distintos tipos de fallas, que degradan la capacidad de transporte de energía, y provocan como consecuencia un elevado costo en penalidades a la empresa responsable del transporte. Frente a las dificultades que plantea la obtención rápida de un diagnóstico, se estableció como objetivo el desarrollo de un Sistema Experto que procese en tiempo real la información adquirida y que frente a un suceso característico de una falla, emita un diagnóstico y asista a los especialistas y los operadores a identificar rápidamente el origen del problema y efectuar las operaciones que correspondan.

**Palabras Claves:** Alarma, Eventos, Sistema Experto (SE), Falla, Diagnóstico, Sistema de protección.

## 1. Introducción

Los Sistema de Transmisión de Energía Eléctrica (STEE) están sometidos a diversos fenómenos (contingencias) que producen distintos tipos de fallas (perturbaciones) eléctricas. Entre los fenómenos físicos causantes de una falla eléctrica, podemos mencionar entre otros: el viento, el incendio de campo, la caída de una torre, las maniobras, las descargas atmosféricas. Estos fenómenos pueden originar diversos tipos de fallas: monofásica, bifásica, trifásica, sobretensión etc.

Ante una falla, la Empresa de Transporte de Energía Eléctrica debe hacerse cargo de la reposición de las partes afectadas y de los costos de las penalidades que le impone el Ente Regulador, encargado de reglamentar la relación entre los diferentes agentes del Mercado.

El análisis de las fallas es una tarea esencial del especialista en protecciones. Luego de ocurrida la falla el especialista accede a la información capturada por el Registrador Cronológico de Eventos (RCE), que es almacenada en una base de datos. Con esta información realiza el diagnóstico del tipo de falla y el probable origen de la misma.

La reposición del servicio y por ende las penalidades por indisponibilidad, depende de la obtención de un diagnóstico rápido y confiable. Este es un aspecto crítico del problema, dado que no siempre el especialista se encuentra disponible. Por ejemplo en caso de una falla fuera de los horarios normales de trabajo, el especialista debe concurrir a su lugar de trabajo, acceder a la información, analizarla y emitir un diagnóstico, todo el tiempo transcurrido se traduce en un elevado costo por penalidades.

La minimización del tiempo post-falla está íntimamente relacionada con el conocimiento de las causas que originaron la falla y el estado post-falla del STEE

La mayor parte del tiempo que insume este proceso es empleado en tareas poco relevantes, tales como:

- ◆ El tiempo requerido para convocar al especialista,
- ◆ El tiempo necesario para obtener los datos adquiridos por los Registradores de Eventos de las Estaciones, que es la información que documenta la falla.

Frente a esta problemática se planteó una línea de investigación cuyo objetivo es el desarrollo de un Sistema Experto en el análisis de las fallas ocurridas en las líneas eléctricas de transmisión (SAF),

Se ha encontrado un único antecedente con características similares y relacionado con la temática del presente proyecto es el desarrollado en Francia por Dong-Yih Bau y Patrick J. Brézillon [Dong 92] "Model-Based Diagnosis of Power-Station Control System" Este sistema fue desarrollado conjuntamente entre la Universidad de Paris y Electricité de France. El presente trabajo se diferencia del proyecto francés en que además del objetivo mencionado, se intenta identificar el origen o fenómeno físico causante de la falla.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se hace una breve descripción de los objetivos del proyecto, en la sección 3 se describe el análisis de viabilidad, en la sección 4 se describe la metodología utilizada para el desarrollo, en la sección 5 se presenta el esquema de razonamiento del sistema, en la sección 6 se presentan las conclusiones y futuras líneas de investigación.

## 2. Descripción del proyecto

El ámbito de desarrollo del presente proyecto es el Sistema de Transmisión de alta tensión de la República Argentina cuya operación y mantenimiento está a cargo de TRANSENER S. A.. La red es de aproximadamente 8800 Km. De línea, cuenta con 28 estaciones transformadoras. El ámbito de utilización del sistema es la Estación Transformadora Chocón Oeste, en la Región Sur.

SAF debe procesar en tiempo real la información adquirida por el Registrador de Eventos y frente a un suceso característico de una falla, debe analizar la falla y emitir un diagnóstico que asista a los especialistas y los operadores a identificar rápidamente el origen del problema y efectuar las operaciones que correspondan.

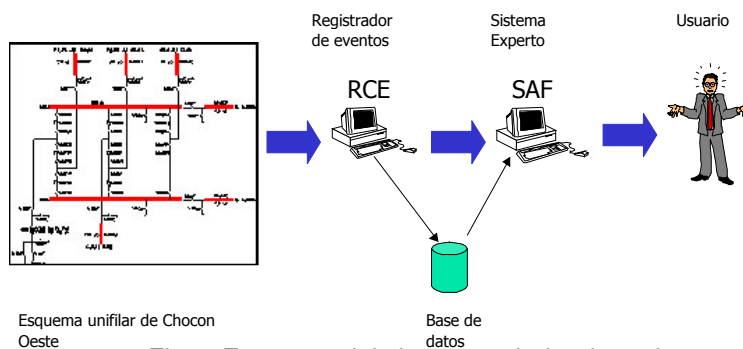


Fig. 1 Esquema del sistema trabajando en la estación

A la izquierda de la figura 1 se puede observar el unifilar de una estación, los eventos allí generados son almacenados en una base de datos por el Registrador Cronológico de Eventos (RCE), ante la ocurrencia de una falla, el RCE, habilita al SE. Este sistema lee los eventos registrados y emite un diagnóstico que permite a los operadores revisar el origen probable de la falla y facilita a los especialistas el análisis de la situación.

Paralelamente al análisis de la falla, el sistema experto ejecutará ante cada falla una supervisión sobre la actuación de las Protecciones, detectando cualquier indicio de defecto, en una típica acción predictiva, a fin de evitar actuaciones futuras no deseadas.

## 3. Análisis de Viabilidad

Para analizar la viabilidad del proyecto, se utilizó el método propuesto por Alonso, Maté y Pazos [Gómez.99] que permite obtener un valor acerca de la viabilidad de desarrollo de un sistema experto. Este método permite trabajar con valores lingüísticos, los cuales son cuantificados en intervalos difusos.

El método seleccionado utiliza una serie de características agrupadas sobre cuatro dimensiones:

- ◆ Plausibilidad de un Sistema Experto
- ◆ Justificación de un Sistema Experto

- ◆ Éxito de un Sistema Experto
- ◆ Adecuación de un Sistema Experto

El conocimiento que utilizan los especialistas en la solución del problema proviene mayormente de la experiencia, que se traduce en una serie de heurísticas. El valor obtenido para SAF fue altamente satisfactorio, sobre una escala de 1 a 10 se obtuvo un valor de 7.9.

#### 4. Metodología

La metodología seleccionada para el desarrollo de este sistema, es la metodología I.D.E.A.L. desarrollada en 1995 por Alonso [Gómez.99]. La metodología I.D.E.A.L. incorpora un ciclo de vida en espiral cónico en tres dimensiones. Está basada en el modelo en espiral de Böehm, en el que cada fase del ciclo de vida finaliza con el desarrollo de un prototipo.

A continuación se describe en forma breve las diferentes etapas del Ciclo de Vida.

- **Adquisición de Conocimientos:** los problemas abordados con la tecnología de la Ingeniería del Conocimiento intentan emular a través de un software, el quehacer de un experto humano al desempeñar una determinada tarea. Una de las actividades que requiere mayor esfuerzo, por su complejidad es la adquisición de conocimientos, por medio de la cual se intenta descubrir el proceso de solución del problema.  
En la actualidad, la adquisición de conocimientos constituye el verdadero cuello de botella en la construcción de SE.
- **Conceptualización:** en esta fase se estructuran los conocimientos adquiridos. Esta actividad está constituida por dos tareas fundamentales: una de Análisis, basada en la detección de conocimientos estratégicos, tácticos y fácticos, y la actividad de Síntesis donde quedan expresados dichos conocimientos en forma estructurada.
- **Formalización:** se define una adecuada representación de los conocimientos, que garanticen su correcta manipulación. Es el primer acercamiento a la máquina en lo que respecta a su implementación.
- **Implementación:** se transforman los conocimientos formales en un modelo computable.
- **Evaluación:** se establece el grado de experiencia alcanzado por el sistema. Esta evaluación es realizada por expertos en el área, quienes analizan el desempeño del sistema, determinando la calidad de las respuestas que brinda el sistema experto ante diferentes problemas a resolver.

#### 5. Esquema de razonamiento de SAF

El problema se analiza como si se tratara de dos sistemas que interactúan mutuamente como se muestra en la figura 2.

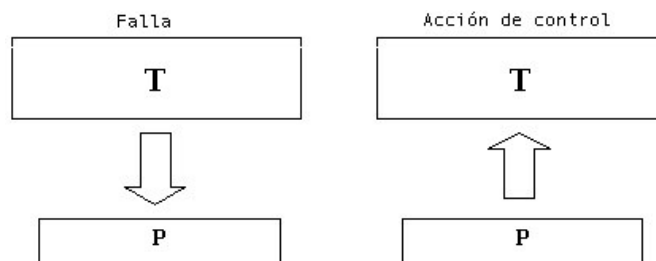


Fig. 2 Interacción de dos sistemas

Se llama "T" a un sistema que realiza una determinada función (transmisión de la energía). "P" a un sistema que ejerce funciones de control (proteger las líneas de transmisión). Así una falla en "T" genera la acción inmediata del sistema de control "P". Al sistema "P" le llegan señales que le indican que debe actuar rápidamente ejerciendo funciones de control sobre el sistema "T".

Las funciones de control, “P” las ejecuta a través de la apertura de interruptores, desvinculando de esta manera el segmento afectado por la falla.

Se puede obtener información de la falla observando directamente el sistema “T” o bien se puede inferir observando el sistema de control “P”. Las anomalías en “P” (sistema de protección) son detectadas analizando el comportamiento cuando este actúa para eliminar una falla en “T”.

Los conocimientos estratégicos obtenidos en la fase de Conceptualización constituyen los pasos modulares que guían al SE para la solución del problema. El siguiente esquema (figura 3) muestra la estrategia de solución que sigue SAF en el análisis de la falla.

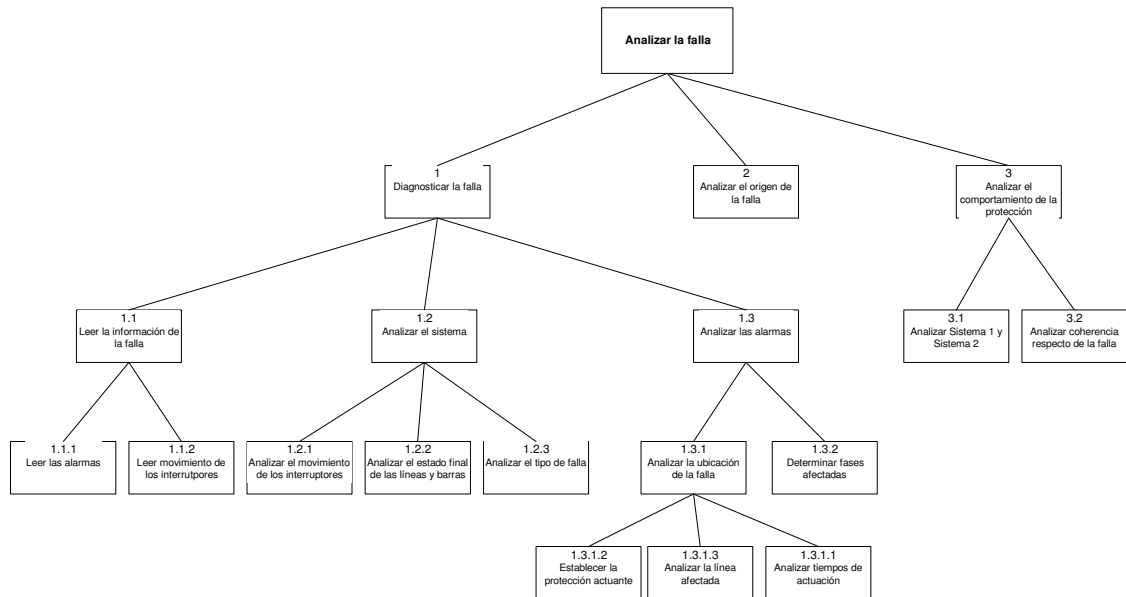


Fig. 3 Estrategia de solución del problema

El análisis y la obtención de los pasos modulares son de vital importancia en la construcción de un SE, dado que permiten tratar un problema complejo descomponiéndolo en partes menores y abordables.

El primer paso que debe realizar SAF luego de ocurrida una falla, es seleccionar sólo los eventos que resulten relevantes para el análisis del fenómeno ocurrido. Los eventos relevantes para el análisis consisten en las alarmas de las protecciones actuantes y el movimiento de los interruptores.

Una vez obtenido los eventos relevantes, el SE debe analizar el comportamiento del sistema de transmisión durante la falla y cómo responde a esta el sistema de protección. El SE obtiene un primer indicio acerca de la falla observando directamente el sistema de transmisión (el movimiento de los interruptores). La observación posterior del comportamiento del sistema de protección permite confirmar y refinar el diagnóstico.

El origen de la falla, es el fenómeno físico causante de la falla eléctrica. La experiencia ha demostrado que los comportamientos característicos de estos fenómenos, se ven reflejados en los eventos que registran la falla. Una adecuada lectura de estos patrones permite deducir con aproximación, el fenómeno físico originario de la falla. Este es un conocimiento de tipo especulativo o hipotético que depende en gran medida de la experiencia del experto.

Un análisis estadístico de la historia de las fallas sufridas en el sistema de transmisión de Transener ha permitido corroborar estos patrones y en algunos casos precisarlos aún más generando nuevo conocimiento que fue ingresado a la base de conocimientos del sistema.

El análisis del comportamiento de la protección consiste en definir si actuó en forma correcta ante la falla. Las anomalías son detectadas analizando el comportamiento del sistema de protección, cuando este actúa para eliminar una falla. Esto lo realiza de dos maneras:

- ◆ Analiza la interacción de ambos sistemas (el sistema de transmisión y el sistema de protección). El sistema de transmisión por sí solo otorga suficiente información acerca de la falla. Luego el análisis de la protección permite detectar anomalías en el comportamiento de la misma ante la falla.
- ◆ Analiza la lógica de actuación del sistema de protección y detecta los desvíos que esta tiene (tanto cualitativos como cuantitativos).

La base histórica con los eventos ocurridos en los últimos siete años. Ha permitido poner a prueba y precisar el diagnóstico del sistema

## 6. Conclusiones y Futuras líneas de investigación

De la experiencia obtenida en el desarrollo de SAF, resulta claro que la mayor dificultad y el mayor esfuerzo se concentra en la fase de adquisición de conocimientos. La principal razón es que los expertos trabajan con un conocimiento compilado producto de años de experiencia en el tema, lo cual dificulta su estructuración.

Se espera con la aplicación del sistema SAF, lograr mejoras en los siguientes aspectos:

- ◆ Tiempo de respuesta en la obtención de la falla (obtiene el diagnóstico en forma inmediata)
- ◆ Fiabilidad (Se espera que minimice los errores del análisis)
- ◆ Disponibilidad (SAF esta disponible las 24 hs. del día)

Los siguientes puntos representan extensiones al sistema y futuras líneas de investigación.

- ◆ Extender las capacidades SAF para fallas en equipos de la estación.
- ◆ Incluir como fuente de información para el análisis del sistema, al registrador de falla. (en la actualidad solo utiliza el RCE). Esto último implica la construcción de un módulo específico que procese la información del mismo y alimente a SAF.
- ◆ Incorporar un factor de incertidumbre en el análisis del origen de la falla. Al analizar el origen de la falla, la incertidumbre juega un papel muy importante, dado que la afirmación que se hace acerca de la causa del problema, es de carácter probabilística. La cuantificación de dicha probabilidad, permitiría enriquecer en gran medida el diagnóstico.

## Bibliografía

- [Gómez.99], Gómez A., Juristo N., Montes C., Pazos J. “**Ingeniería del Conocimiento**”, Ceura, 1999.
- [Giarratano 01], Giarratano, Riley, “**Sistemas Expertos, Principios y Programación**”, Thomson, 2001.
- [Nebendahl 88], Nebendahl, “**Sistemas Expertos, Introducción a la técnica y aplicación**”, Marcombo, 1988.
- [Dong 92], Dong Yih Bau, Patrick J. Brézillon, “**Model-Based Diagnosis of Power-Satation Control Systema**”, IEEE EXPERT, 1992.
- [Montané 93] Montané P. “**Protecciones en las instalaciones eléctricas**”, Marcombo, 1993
- [Booch 99], Booch G., Rumbaugh J. y Jacobson I. : “**El lenguaje unificado de Modelado**”. Adison Wesley, 1999.
- [Larman 99], Larman C., “**UML y Patrones. Introducción al análisis y diseño orientado a objetos**”, Prentice Hall, 1999.
- [CEAC 85], Enciclopedia CEAC de electricidad, “**Estaciones de transformación y distribución. Protección de Sistemas Eléctricos**”, CEAC, 1985.