



**MODELO BASADO EN SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES PARA EL  
ENTRENAMIENTO EN ANÁLISIS DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**JOHN JAIRO TOBÓN VARGAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA – ÁREA TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA (TYD)  
MEDELLÍN  
2014**



**MODELO BASADO EN SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES PARA EL  
ENTRENAMIENTO EN ANÁLISIS DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN**

**JOHN JAIRO TOBÓN VARGAS**

**Trabajo de grado para optar al título de Magister en Ingeniería con énfasis en  
Transmisión y Distribución de Energía**

**Director  
JHON ALBEIRO CALDERON SERNA  
Magister en Ingeniería**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA – ÁREA TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA (TYD)  
MEDELLÍN  
2014**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma**  
**Nombre:**  
**Presidente del jurado**

---

**Firma**  
**Nombre:**  
**Jurado**

---

**Firma**  
**Nombre:**  
**Jurado**

**Medellín, 6 de octubre de 2014**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la posibilidad de alcanzar este importante logro en mi desarrollo profesional y personal y a mis familiares en especial a mis padres y a todas las personas e instituciones que me brindaron su apoyo y motivación para adelantar esta maestría.

Agradezco de manera especial a los ingenieros Jhon Albeiro Calderón y Julián Moreno por todo el apoyo recibido durante la realización de este Proyecto y al Ingeniero Idi Amín Isaac por su colaboración durante la realización de esta maestría.

## CONTENIDO

Pág.

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>9</b>
<b>3. CONSIDERACIONES GENERALES .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. MAPA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.1. SISTEMAS E-LEARNING .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA EN EDUCACIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.3. SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.4. DESARROLLO DE LOS SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3.5. SISTEMAS EXPERTOS.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.6. COMPONENTES DEL SISTEMA EXPERTO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.7. TIPOS DE SISTEMAS EXPERTOS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.8. SISTEMA EXPERTO BASADO EN REGLAS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.9. SISTEMA EXPERTO BASADO EN CASOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.10. TEMATICA DEL ENTRENAMIENTO: EL ANÁLISIS DE FALLAS.....</b>	<b>28</b>
<b>4. MODELO DE ENTRENAMIENTO PROPUESTO BASADO EN STI .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1. MODELO PEDAGOGICO PROPUESTO .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.1. PLANIFICACIÓN INSTRUCCIONAL .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1.2. PLANIFICACIÓN INSTRUCCIONAL BASADA EN SECUENCIAMIENTO DE CURRÍCULO .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1.3. ESTRUCTURA DE CURSOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.4. CONTENIDO DE LOS CURSOS.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.5. APLICACIÓN DEL MODELO PEDAGOGICO A LA ESTRUCTURA DE CURSOS DEFINIDA .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.6. FUNCIONAMIENTO DEL MODELO PEDAGOGICO .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2. MODELO DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO PROPUESTO .....</b>	<b>46</b>

4.2.1.	DISEÑO DEL MODELO PROPUESTO .....	47
4.2.2.	APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO .....	48
4.3.	MODELO DE CONOCIMIENTO PROPUESTO .....	52
4.3.1.	NORMATIVIDAD APLICADA A LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE .....	53
4.3.2.	TIPOS DE OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA ANÁLISIS DE FALLAS .....	57
4.3.3.	ALMACENAMIENTO DE LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE.....	62
4.3.4.	CARACTERIZACIÓN DE REGISTROS DE FALLAS REALES Y SIMULACIONES EN ATP .....	63
4.4.	MODELO DEL ESTUDIANTE PROPUESTO .....	69
4.4.1.	CATEGORIZACIÓN DEL ESTUDIANTE .....	71
4.4.2.	RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS APLICADO AL ESTUDIANTE ..	73
4.5.	MODELO FINAL BASADO EN STI PARA EL ENTRENAMIENTO.....	76
5.	APLICACIÓN MODELO PROPUESTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	79
5.1.	APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS AL MODELO STI .....	79
5.2.	RESULTADOS EJECUCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO MODELADO .....	83
5.3.	RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO .....	85
5.4.	COMPARACIÓN EVALUACIONES TRADICIONAL VERSUS STI .....	90
6.	CONCLUSIONES.....	91
7.	TRABAJO FUTURO .....	92
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93

### Lista de Figuras

Figura 1.	Resumen del esquema de la investigación .....	11
Figura 2.	Estructura Sistema Tutorial Inteligente (STI).....	17
Figura 3.	Estructura sistemas experto basado en casos .....	26
Figura 4.	Ciclo de un sistema de razonamiento basado en casos.....	27
Figura 5.	Proceso de análisis de perturbaciones.....	30
Figura 6.	Estructura de cursos considerada.....	37
Figura 7.	Diseño del modelo pedagógico propuesto .....	40
Figura 8.	Diagrama de implementación del curso básico .....	44
Figura 9.	Diseño del modelo de evaluación y diagnostico propuesto .....	48
Figura 10.	Diagrama de aplicación del modelo de evaluación y diagnostico .....	49
Figura 11.	Ejemplo de aplicación IEEE 1484 al archivo falla monofásica.....	55

Figura 12. Archivo de audio aplicado a los temas de análisis de fallas .....	58
Figura 13. Archivo de video introductorio aplicado al análisis de fallas .....	59
Figura 14. Objeto de aprendizaje aplicado al análisis de fallas paso 1.....	60
Figura 15. OA aplicado al análisis de fallas paso 2 condiciones iniciales .....	61
Figura 16. OA aplicado al análisis de fallas paso 3 ejercicio propuesto .....	61
Figura 17. OA aplicado al análisis de fallas paso 4 respuesta 5 correcta .....	62
Figura 18. Ejemplo de almacenamiento de OA´s con metadatos.....	63
Figura 19. Registro de la falla real tomado de RdF línea Barranca – Comuneros 230kV .	64
Figura 20. Registro de la falla real caracterizado por etapas.....	65
Figura 21. Modelo para simulación de la falla en ATP .....	68
Figura 22. Corrientes reales y simuladas .....	68
Figura 23. Tensiones reales y simuladas .....	69
Figura 24. Ejemplo de razonamiento basado en casos.....	74
Figura 25. Diseño del modelo del estudiante .....	75
Figura 26. Modelo final basado en STI para entrenamiento .....	77
Figura 27. Implementación del modelo final basado en STI.....	78
Figura 28. Ubicación del estudiante en el tema habilitado para cursar.....	85
Figura 29. Actividades propuestas para el tema de estudio .....	86
Figura 30. Prototipo de evaluación y retroalimentación - Pregunta Inicial .....	87
Figura 31. Prototipo de evaluación y retroalimentación – Retroalimentación 1.....	88
Figura 32. Prototipo de evaluación y retroalimentación – Retroalimentación 2.....	89
Figura 33. Comparación evaluaciones tradicional versus STI .....	90

## Lista de Tablas

Tabla 1 Saberes generales: invariantes del saber, del hacer y del ser.....	38
Tabla 2 Aplicación al curso básico.....	42
Tabla 3 Característica IEEE 1484.....	55
Tabla 4 Características de estudiante para aplicación de modelo.....	83



## GLOSARIO

**ATP:** Alternative Transient Program.

**ANÁLISIS DE FALLAS:** Conjunto de actividades mediante las cuales se realiza la evaluación de las fallas o perturbaciones ocurridas en el sistema eléctrico de potencia para generar y administrar datos de fallas, detectar anomalías y emitir recomendaciones.

**ARCHIVO COMTRADE:** Es un formato que se emplea para la reproducción y análisis de señales transitorias. En el caso de una falla eléctrica en un sistema de potencia es posible reproducirla en formato COMTRADE para lo cual se emplea un archivo de configuración (.cfg) y un archivo de datos (.dat) mediante los cuales se pueden representar las señales de tensión y corriente por fase.

**ENTRENAMIENTO ADAPTATIVO:** Conjunto de herramientas que sirven de guía al aprendiz en el proceso de enseñanza-aprendizaje de un conocimiento específico.

**ESCUELA TÉCNICA DE ISA:** Se entiende como escuela técnica de ISA el mecanismo para la operacionalización del aprendizaje técnico, mediante programas ordenados y sistemáticos, para desarrollar las habilidades y destrezas técnicas u operativas en la realización del trabajo con calidad y seguridad.

**FALLA ELÉCTRICA:** Perturbación que afecta el funcionamiento normal de un sistema eléctrico de potencia.

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA):** Rama de las ciencias de la computación enfocada en el diseño de sistemas computarizados inteligentes que simulen capacidades humanas tales como: aprendizaje, razonamiento, resolución de problemas, etc.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**ISA:** Interconexión Eléctrica S.A.

**LÍNEA DE TRANSMISIÓN:** Se denominan líneas de transmisión al conjunto de dispositivos necesarios para transportar la energía eléctrica desde los centros de generación hasta los centros de consumo.

**RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS (CBR por sus siglas en ingles):** El razonamiento basado en casos (CBR) es un SE que intenta llegar a la solución de nuevos problemas de forma similar a como lo hacen los seres humanos utilizando la experiencia acumulada hasta el momento en acontecimientos similares.

**SISTEMA TUTORIAL INTELIGENTE (STI):** Sistema cuyo objetivo es lograr el aprendizaje de un conocimiento específico por parte del estudiante mediante la utilización de herramientas informáticas y de la inteligencia artificial.

**SISTEMAS EXPERTOS (SE):** Rama de la IA que puede definirse como un sistema informático (hardware y software) que simula a los expertos humanos en un área de especialización dada.

**SISTEMAS EXPERTOS BASADO EN REGLAS (RBS por sus siglas en ingles):** Un SE basado en reglas (RBS) son sistemas expertos que utilizan para el proceso de inferencia un conjunto de reglas que constituyen la base de conocimiento del experto.

## RESUMEN

Las fallas o perturbaciones en líneas de transmisión son sucesos inevitables en el funcionamiento normal de un sistema eléctrico de potencia, que pueden llegar a comprometer la disponibilidad, calidad y confiabilidad del servicio eléctrico afectando en muchas ocasiones la continuidad en el suministro de energía al usuario final. Es por esta razón que es necesario analizar estos eventos, con el fin de calificar, mejorar y corregir el funcionamiento de los equipos y esquemas de protección y control.

Para realizar el análisis de fallas que afectan el funcionamiento normal de un sistema eléctrico de potencia se requiere tener un personal altamente entrenado y especializado que cuente con las competencias y destrezas para entender y analizar este tipo de fenómenos eléctricos. De acuerdo con las consideraciones anteriores, se hace necesario plantear un modelo de entrenamiento tendiente a establecer un nivel avanzado de aprendizaje en el análisis de fallas partiendo de un nivel básico. Este modelo al estar basado en Sistemas Tutoriales Inteligentes tiene entre otras particularidades cierto grado de adaptabilidad a las características de los estudiantes permitiendo facilitar el aprendizaje de este tipo de temas complejos.

Finalmente se busca implementar un modelo cuyo mayor aporte sea de carácter pedagógico orientado a una enseñanza adaptativa aplicada al entrenamiento en análisis de fallas en líneas de transmisión que posibilite a la organización entre otras cosas gestionar el conocimiento, consolidarlo y asegurar la memoria empresarial de tal forma que pueda ser transmitido fácilmente este conocimiento a los nuevos ingenieros analistas de fallas.

**PALABRAS CLAVES:** ANÁLISIS DE PERTURBACIONES, ENTRENAMIENTO, FALLA ELÉCTRICA, INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA), SISTEMAS EXPERTOS (SE), SISTEMA TUTORIAL INTELIGENTE (STI).

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de todo sistema de potencia es mantener en un alto nivel la continuidad del servicio, de tal forma que cuando ocurran condiciones de falla, sea posible reducir el número de interrupciones indeseadas en el suministro de energía eléctrica. Muchas de estas fallas resultan de descuidos (acercamiento a equipo energizado por animales u objetos extraños) o conexiones accidentales entre conductores de fase entre sí o de un conductor de fase a tierra o por descargas atmosféricas.

Teniendo en consideración el impacto de las fallas en la continuidad del servicio y por lo tanto la afectación al usuario final, es necesario analizar estos eventos, con el fin de detectar posibles condiciones anómalas de operación en equipos y esquemas de protecciones para lo cual se requiere contar con ingenieros analistas de fallas altamente especializados. Por lo anterior, surge la necesidad de proponer modelos de enseñanza-aprendizaje basados en tutoriales inteligentes que hagan más efectivos los procesos de capacitación y entrenamiento, orientados al mejoramiento de las competencias profesionales de las personas vinculadas al ejercicio de la operación y el mantenimiento de los sistemas de potencia.

Considerando la información consultada, se puede afirmar que en Colombia el desarrollo de sistemas tutoriales inteligentes para el área de operación de sistemas eléctricos de potencia es mínimo, razón por la cual se busca aprovechar este potencial educativo poco explorado para facilitar la adquisición de competencias de los profesionales y personas que laboran en esta área.

En este documento se presenta un modelo basado en sistemas tutoriales inteligentes que busca optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de análisis de fallas en líneas de transmisión.

## 2. ANTECEDENTES

Para el grupo empresarial ISA es de vital importancia conservar la memoria empresarial y facilitar la transferencia de conocimiento, por esta razón se ha venido planteando la necesidad de desarrollar un Proyecto de Escuela Técnica soportada en un campus virtual. Se entiende como escuela técnica de ISA el mecanismo para la operacionalización del aprendizaje técnico, mediante programas ordenados y sistemáticos, para desarrollar las habilidades y destrezas técnicas u operativas en la realización del trabajo con calidad, seguridad para mantener y preservar los saberes técnicos del negocio de Transporte de Energía. En este contexto, los ambientes virtuales se consideran un medio adecuado para facilitar el aprendizaje de saberes dado que son mecanismos modernos que combinan herramientas tecnológicas y pedagógicas para consolidar los conocimientos necesarios que requieren los procesos de operación y mantenimiento del sistema de potencia.

Durante la realización de los estudios de Especialización en TyD desde enero de 2010 a junio de 2011, se desarrolló como trabajo de grado el tema: *Metodología para el entrenamiento de protecciones en sistemas de transmisión empleando ambientes virtuales*. Con la aplicación de esta metodología se implementó en ISA el plan piloto para entrenamiento en sistemas de protecciones utilizando una herramienta virtual desarrollada por la compañía para tal fin. La experiencia con esta aplicación ha mostrado como este tipo de técnicas para que sean más efectivas en el proceso de enseñanza-aprendizaje requieren de cierto grado de flexibilidad y adaptabilidad a las características, necesidades y habilidades de los estudiantes lo que hace necesario plantear el presente trabajo con el cual se pretende llevar este proyecto piloto a un nivel más avanzado que optimice los procesos de entrenamiento con cierto grado de adaptabilidad.

### **3. CONSIDERACIONES GENERALES**

#### **3.1. MAPA DE LA INVESTIGACIÓN**

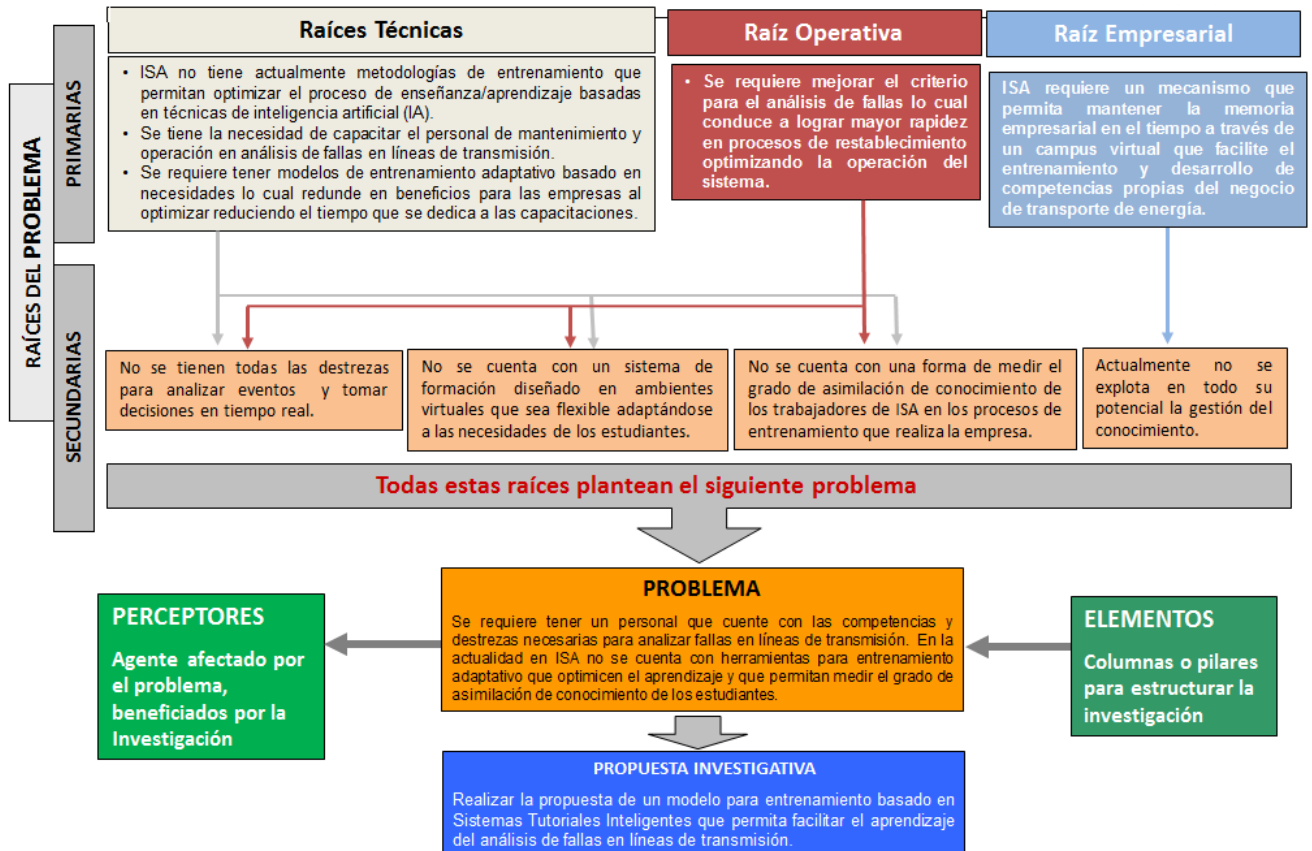
Para el desarrollo de este trabajo de grado, se aplica la metodología propuesta en el Seminario de Investigación de la Especialización y Maestría en Transmisión y Distribución.

La metodología se fundamenta en la identificación de un problema el cual se estructura a partir de una reflexión preliminar orientada por raíces, elementos y perceptores.

Las raíces del problema son carencias, faltantes, vacíos que se convierten en la causa del problema, los elementos son las herramientas materiales o conceptuales que se tienen a mano para resolver el problema y finalmente, los perceptores, son las instituciones, personas o entidades que se ven afectados por el Problema y que serán beneficiados por la solución del mismo.

En la Figura 1, se presenta el esquema general e integrado de la investigación realizada en este trabajo, incluye las raíces, los elementos y los perceptores que sustentan la investigación, permiten identificar un problema y generar una propuesta de investigación.

**Figura 1. Resumen del esquema de la investigación**



Considerando que el análisis de fallas en líneas de transmisión es muy importante desde el punto de vista de la detección temprana de anomalías en equipos y esquemas de protecciones y control para prevenir la posible recurrencia de eventos de alto impacto en el sistema de potencia, por todo lo anterior, se requiere tener un personal que cuente con las competencias y destrezas necesarias para analizar este tipo de fenómenos eléctricos. En la actualidad en ISA no se cuenta con herramientas para entrenamiento adaptativo que optimicen el aprendizaje de

estos temas y que permitan medir el grado de asimilación de conocimiento de los estudiantes mediante metodologías de evaluación y retroalimentación.

Por todo lo anterior, se observa que ISA requiere un plan de entrenamiento técnico especializado para el personal de operación y mantenimiento en el análisis de fallas y dada la complejidad de este tema, ***se hace necesario realizar la especificación de un modelo basado en Sistemas Tutoriales Inteligentes que permita facilitar el aprendizaje de análisis de fallas en líneas de transmisión***, tal que su aplicación mejore sus procesos de tal forma que pueda obtener un mayor reconocimiento nacional e internacional, lo cual conducirá al aumento de la competitividad en la comercialización de sus productos y servicios.

Este modelo al ser adaptativo con base en técnicas de inteligencia artificial tiene los siguientes beneficios:

-Estos modelos permitirán capacitar personal de operación, mantenimiento, análisis de perturbaciones, ingenieros de subestaciones. Estos procesos de entrenamiento al ser adaptativos se realizarán basados en necesidades lo cual redundará en beneficios económicos para las empresas (ahorro en entrenamiento no necesario).

-Estos modelos mejorarán los criterios para el análisis de fallas lo cual conduce a lograr mayor rapidez en procesos de restablecimiento optimizando la operación del sistema.

- Este tipo de herramientas al estar implementadas en plataformas computacionales (campus virtual) le permiten a una empresa como ISA gestionar el conocimiento, consolidarlo y asegurar la memoria empresarial.



-Permitirá obtener beneficios económicos para ISA derivados del desarrollo y comercialización de este tipo de herramientas para entrenamiento dirigidas a empresas del sector eléctrico y universidades.

## **3.2. OBJETIVOS**

### **3.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un modelo para entrenamiento basado en Sistemas Tutoriales Inteligentes que permita al estudiante adquirir un nivel avanzado en el aprendizaje del análisis de fallas en líneas de transmisión empleando técnicas de inteligencia artificial.

### **3.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un estudio detallado de las estructuras que actualmente están planteadas para los STI (Sistemas Tutoriales Inteligentes).
- Proponer una forma de medir el grado de asimilación de conocimiento de los entrenados mediante un modelo de evaluación y de diagnóstico.
- Definir el modelo a desarrollar: de contenidos, de evaluación y de diagnóstico aplicando una base teórica (análisis de fallas en sistemas de potencia) y práctica (simulaciones empleando el programa ATP).
- Considerar en la definición de los modelos la experiencia operativa de ISA (registros reales de fallas), simulaciones de fallas, las metodologías y técnicas del entrenamiento adaptativo y las herramientas propias de la inteligencia artificial.
- Realizar una validación genérica del modelo de manera conceptual considerando la estructura didáctica definida en la tesis de especialización

en TyD denominada “Metodología para el entrenamiento de protecciones en sistemas de trasmisión empleando ambientes virtuales” presentada en diciembre de 2011.

### **3.3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

A continuación se detalla el marco teórico y el estado del arte en el cual se enmarca el desarrollo del presente trabajo.

#### **3.3.1. SISTEMAS E-LEARNING**

Se conoce como *E-learning* por sus siglas en ingles a la educación electrónica que combina las tecnologías informáticas con elementos pedagógicos para entrenamiento, capacitación o enseñanza en línea. En este tipo de enseñanza se pueden emplear metodologías que flexibilicen los contenidos y se adapten a las características del estudiante. El concepto más básico de los sistemas e-learning corresponde a los cursos virtuales como son conocidos los espacios de interacción docente-aprendiz que utilizan tecnologías informáticas para optimizar en cierta forma el proceso de enseñanza-aprendizaje.

En la enseñanza virtual se destacan las siguientes características:

1. El contenido educativo puede estar compuesto de textos, imágenes que refuerzan la información, audios explicativos, animaciones, videos que ayudan al estudiante a visualizar los pasos de un determinado proceso, etc.
2. El contenido educativo se integra utilizando estándares internacionales, lo que permite la ejecución, actualización y rastreo de las interacciones de los aprendices al ejecutarse en cualquier sistema de gestión de aprendizaje.

3. La metodología de enseñanza a distancia se fundamenta en la premisa del aprendizaje activo y personalizado.

De acuerdo con las etapas de desarrollo que han tenido, los cursos virtuales se pueden clasificar en: curso de consulta, curso de apoyo a clases, curso en línea y cursos adaptativos (Arias, 2009).

Un curso virtual de consulta consta básicamente de la publicación en una página web del programa, los contenidos, los objetivos, el temario y demás información que deba ser asequible a todos los estudiantes.

En un curso virtual de apoyo a clases se presenta el material didáctico que permita a los estudiantes adelantar la asignatura de modo autónomo fuera del aula.

Los cursos virtuales en línea son aquellos que emplean herramientas de comunicaciones que permitan la interacción profesor-alumno tales como: chat, foros, correo, etc.

Finalmente están los cursos adaptativos los cuales se abordaran en detalle más adelante.

### **3.3.2. INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA EN EDUCACIÓN**

Las primeras herramientas para la enseñanza a distancia asistida por medios informáticos tenían poca flexibilidad ya que la presentación del material del curso, la elección del material de estudio, la estrategia de enseñanza eran procedimientos estáticos predefinidos e iguales para todos los alumnos. Las primeras aproximaciones a los sistemas tutoriales inteligentes (STI) se desarrollaron desde los años 1960's. A partir de los años 1970's empiezan a aparecer las primeras formas de STI's empleando técnicas propias de la Inteligencia Artificial (IA) para modelar el conocimiento que se quería transmitir.

Con la aplicación de técnicas de IA en la educación se busca crear sistemas de enseñanza asistida por computador con altas capacidades, es decir, que sean inteligentes. La evolución de estas metodologías ha llevado a los primeros

sistemas de enseñanza virtual a convertirse en tutores inteligentes con capacidades adaptativas muy necesarias en la educación en línea.

Una de las ramas de aplicación de la IA con excelentes potencialidades que pueden ser exploradas en el diseño y construcción de los STI's corresponde a los sistemas expertos (SE). Un SE puede definirse como un sistema informático que simula a los expertos humanos en un área de especialización dada. Más adelante se presentaran en detalle los SE.

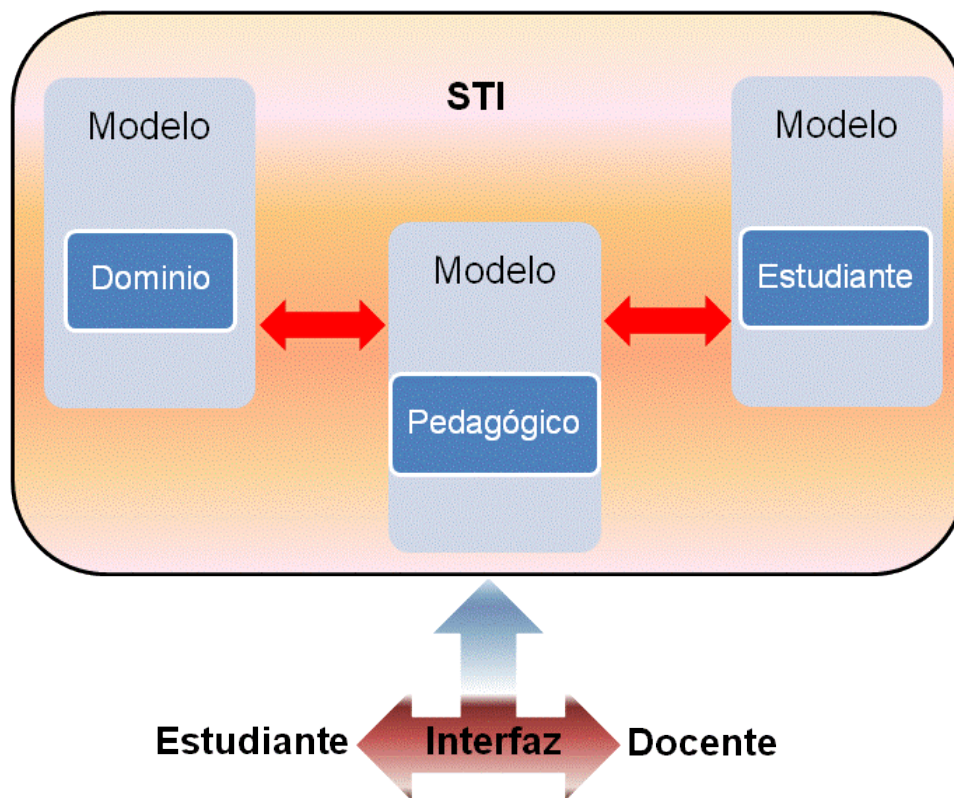
### **3.3.3. SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES**

Un sistema tutorial inteligente (STI) es una herramienta que partiendo de un conocimiento experto en cierta materia lo transmite al estudiante en forma interactiva e individualizada, en otras palabras, trata de reproducir la forma en que un docente tutelaría al alumno en su proceso de aprendizaje (Millán, 2000).

En el desarrollo y la implementación de un STI se pueden considerar varias áreas de la inteligencia artificial con el fin de dar soporte a las diversas funcionalidades que debe tener el sistema. Algunas de estas áreas son: la representación del conocimiento, el diagnóstico, el procesamiento cualitativo, la generación y procesamiento del lenguaje natural, etc. (González, 2004).

A continuación se presenta la estructura básica y los módulos en detalle de un STI tomada de (Ovalle et ál, 2007):

**Figura 2. Estructura Sistema Tutorial Inteligente (STI)**



**Modelo del Dominio:**

Este modelo conocido también como del conocimiento proporciona los conocimientos expertos para presentar los contenidos del curso de tal forma que el estudiante adquiera la conceptualización requerida para el nivel correspondiente de formación. Esto incluye la capacidad de generar preguntas, explicaciones, respuestas, resolver los problemas planteados, corregir las soluciones dadas.

**Modelo del Estudiante:**

Es una representación cualitativa aproximada del conocimiento del alumno sobre el dominio, que puede explicar aspectos específicos del comportamiento del alumno. Es una representación cualitativa porque no es ni numérica ni física, sino

que describe los objetos y los procesos en términos de relaciones espaciales, temporales y causales y es aproximado porque el interés está más en la utilidad computacional que en la fidelidad cognitiva.

#### **Modelo Pedagógico:**

Las representaciones explícitas del conocimiento pedagógico permiten a los STI adaptar y mejorar sus estrategias en el tiempo. Un STI debe ser capaz de:

- Controlar el currículum (selección de material y orden de presentación).
- Responder las preguntas de los alumnos.
- Saber cuándo un alumno necesita ayuda y determinar qué tipo de ayuda necesita.

Para ello se definen las estrategias pedagógicas que a nivel global afectan el orden de presentación de los contenidos y a nivel local las decisiones sobre cuándo y cómo intervenir para proporcionar ayuda, explicaciones, enseñanza, preguntas o correcciones.

#### **Modelo Entorno (Interfaz):**

Específica y soporta las actividades del alumno y los métodos con los que se realizan dichas actividades. Los entornos deben ser amigables y dinámicos de forma que el alumno pierda el mínimo tiempo posible en aprender a utilizar el entorno y pueda centrar toda su atención en el proceso de aprendizaje.

### **3.3.4. DESARROLLO DE LOS SISTEMAS TUTORIALES INTELIGENTES**

A continuación se presentará un breve resumen del desarrollo de los STI y algunas aplicaciones (Ahuja et ál, 2013).

Desde 1960 hasta el presente los STI han sido considerados como uno de los recursos pedagógicos más promisorios desde el punto de vista de la enseñanza-aprendizaje personalizada.

Desde los tempranos años 1960's cierta programación en la instrucción que mejoraba el aprendizaje incluso con bajas competencias individuales ya estaba a la moda.

A partir de los años 1970's se comenzó a vislumbrar una nueva era de desarrollo de los STI introduciendo cierta representación del conocimiento, modelos del estudiante, estrategias de conocimiento, sistemas expertos. Ejemplo de estos primeros desarrollos fue en genética grafica "Genetic" la cual expresaba conocimiento en forma grafica representando las relaciones entre partes del conocimiento como enlaces en una red. En los años 1980's el desarrollo de los STI se fundamentó principalmente en el razonamiento basado en casos, modelos de progresión mental, simulación, procesadores de lenguaje natural, sistemas basados en modelos de rastreo (búsqueda), por ejemplo, el modelo de búsqueda Tutores contenía un modelo cognitivo con simulación del pensamiento examinador de un experto en un dominio.

En los años 1990's los STI se han enfocado en aprendizaje colaborativo en contraste con el aprendizaje individual, el proceso de información y realidad virtual en contraste con el aprendizaje situacional. En el aprendizaje colaborativo ambos el maestro y el aprendiz son participantes activos en el ambiente de aprendizaje.

En la actualidad varios recursos tecnológicos han sido integrados a la educación, desde el año 2000 hasta el 2013 importantes avances en los STI se han desarrollado como: aprendizaje a través de juegos, sistemas tutoriales basados en WEB, modelado del conocimiento mediante información lingüística difusa, tecnología de captura de movimiento, entre otras.

Algunas herramientas basadas en STI que se han desarrollado son las siguientes:

**Basic Instructional Program (1970)** empleaba habilidades procedimentales de enseñanza en el lenguaje de programación BASIC (Barr et ál, 1974).

**SCHOLAR (1970)** se usaron redes semánticas para el modelado del conocimiento y del estudiante (Carbonell, J.R, 1970).

**Socratic tutoring (1975)** almacenaba el conocimiento en forma jerarquizada mediante secuencias de eventos (Collins et ál, 1975).

**MYCIN (1976)** consistía en un sistema experto basado en reglas para el diagnóstico de ciertas enfermedades como la meningitis (Shortliffe, 1976).

**GUIDON (1979)** Se construyó usando la experiencia de MYCIN, para tutoría interactiva mediante un sistema experto basado en reglas que interactuaba con el estudiante. (Clancey, 1979).

**SOPHIE (Sophisticated Instructional Environment. 1982)** desarrollado para asistir a los aprendices en el desarrollo de destrezas electrónicas (Brown et ál, 1982).

**PROUST (1984)** desarrollado por Johnson y Soloway para diagnosticar problemas de sintaxis de los estudiantes en lenguaje de programación PASCAL (Johnson et ál, 1984).

**Hauk Mack III (1990)** esta herramienta aparece en los años 1990's y consistía de un sistema que empleaba simulaciones graficas con la posibilidad de expandir el número de componentes y la complejidad de las animaciones (Kurland et ál, 1989).

**Constraint-Based Model (CBM) (1996)** propuesto por Ohlsson se basaba en la teoría de Ohlsson que consistía en el aprendizaje desde los errores la cual indicaba que un aprendiz siempre comete errores durante la ejecución de una tarea incluso cuando ha sido entrenado en la forma correcta de ejecutarla.



**Affective tutoring systems (ATS) (1997)** utilizan una red de computadores con dispositivos embebidos para detectar emociones de los alumnos y emplear esta información en el modelado del estudiante (Picard, 1997).

**Adaptive Intelligent Web Based Education Systems (AIWBES) (2003)** fue desarrollado como una alternativa a los ambientes tradicionales e-learning basada en la metodología “onesize-fits-all” (Brusilovsky et ál, 2003).

**Multi Criteria decisión model (2008)** ha sido empleado para modelar conocimiento experto mediante información lingüística difusa (Sarrafzadeh, 2008).

**Intelligent Pupil Eye Analysis System (2010)** involucra la relación entre la carga cognitiva de una persona y el tamaño de la pupila (Valverde, 2010).

**Motion Capture Technology (2013)** esta tecnología está siendo usada en sistemas para generación de lecciones automáticas a través de la captura de movimiento, por ejemplo, una aplicación es “Dance Learning from Bottom-Up Structure (DL-BUS)” para enseñar movimientos básicos de danza (Yang et ál, 2013).

### **3.3.5. SISTEMAS EXPERTOS**

Tal como se mencionó anteriormente los sistemas expertos son una rama de la IA que puede definirse como: un sistema informático (hardware y software) que simula a los expertos humanos en un área de conocimiento determinado (Castillo et ál, 1996). De acuerdo con esta definición, un SE debe ser capaz de procesar y memorizar información, aprender y razonar en diversas situaciones, comunicarse con las personas y otros sistemas expertos, tomar decisiones y explicar por qué se han tomado.

Considerando lo indicado por (Castillo et ál, 1996) para el desarrollo del presente trabajo se ha seleccionado de la IA los SE para abordar el modelo de entrenamiento basado en STI por las siguientes razones.

- Con la ayuda del sistema experto se puede enseñar a personas con poca experiencia a resolver problemas que requieren un conocimiento experto, masificando el acceso al conocimiento a mayor cantidad de personas.
- Los SE permiten combinar el conocimiento de muchos expertos logrando un sistema más robusto y muy confiable.
- Los SE pueden suministrar respuestas a problemas complejos mucho más fiables y más rápidamente que un experto humano ya que pueden procesar más información.
- Finalmente, se puede decir que un STI se compone de varios SE interactuando entre sí: un experto que consolida el conocimiento (modelo dominio), un experto que interactúa con el alumno (modelo alumno) y un experto que controla el proceso de enseñanza-aprendizaje (modelo pedagógico).

### **3.3.6. COMPONENTES DEL SISTEMA EXPERTO**

De acuerdo con (Castillo et ál, 1996) los principales componentes de un sistema experto son:

- **La Componente Humana:**

El SE es resultado del trabajo asociado de los expertos humanos (especialistas) que colaboran con los ingenieros de conocimiento (programadores) para llevar

todo un conocimiento estructurado a lenguaje de máquina que luego pueda interactuar con los usuarios.

- **La Base de Conocimiento:**

Los especialistas deben suministrar a los ingenieros del conocimiento la base de conocimiento ordenada y estructurada, y un conjunto de relaciones bien definidas y explicadas.

- **El Motor de Inferencia:**

El motor de inferencia es el corazón del SE. El objetivo principal de esta componente es el de sacar conclusiones aplicando el conocimiento a los datos.

- **Subsistema de Adquisición de Conocimiento:**

El subsistema de adquisición de conocimiento controla el flujo del nuevo conocimiento que fluye del experto humano a la base de datos.

- **Control de la Coherencia:**

Es un componente esencial de un SE. Este subsistema controla la consistencia de la base de datos y evita que unidades de conocimiento inconsistentes (errores) entren en la misma. Ayuda a los expertos a suministrar información fiable.

- **Interfaz de Usuario:**

La interfaz de usuario es el enlace entre el SE y el usuario. Por ello, para que un SE sea una herramienta efectiva, debe incorporar mecanismos eficientes para mostrar y obtener información de forma fácil y agradable.

- **El Subsistema de Ejecución de Ordenes:**

El subsistema de ejecución de órdenes permite al SE iniciar acciones. Estas acciones se basan en las conclusiones sacadas por el motor de inferencia.

- **El Subsistema de Explicación:**

El usuario puede pedir una explicación de las conclusiones sacadas o de las acciones iniciadas por el sistema experto. Por ello, es necesario un subsistema que explique el proceso seguido por el motor de inferencia o por el subsistema de ejecución.

- **El Subsistema de Aprendizaje:**

Una de las principales características de un sistema experto es su capacidad para aprender y obtener experiencia a partir de los datos disponibles.

### **3.3.7. TIPOS DE SISTEMAS EXPERTOS**

Existen entre otros, los siguientes tipos de sistemas expertos: sistemas de razonamiento basados en reglas (Rule – Based System RBS por sus siglas en ingles), sistemas de razonamiento basados en casos (Case - Based Reasoning CBR por sus siglas en ingles) y sistemas de razonamientos bayesianos (Bayesian - Networks Systems BNS por sus siglas en ingles). En ciertas situaciones puede ser necesario combinar varios de estos tipos para determinada aplicación dando como resultado sistemas híbridos.

Los SE que tratan problemas usando un conjunto de reglas que relacionen varios objetos bien definidos son conocidos como sistemas basados en reglas, porque sacan sus conclusiones a partir de reglas utilizando un mecanismo de razonamiento lógico.

Por otra parte, el SE basado en casos intenta llegar a la solución de nuevos problemas utilizando la experiencia acumulada en casos similares. Un nuevo problema se compara con los casos almacenados previamente en la base de casos para hallar una solución que pueda ser aplicada a la situación actual.

### **3.3.8. SISTEMA EXPERTO BASADO EN REGLAS**

Un SE basado en reglas (RBS) son sistemas expertos que utilizan para el proceso de inferencia un conjunto de reglas que constituyen la base de conocimiento del experto. Este conjunto de reglas pueden ser activadas a medida que las condiciones son evaluadas en forma positiva dando origen a nuevos hechos.

En los sistemas basados en reglas intervienen dos elementos importantes: la base de conocimiento y los datos. Los datos están formados por la evidencia o los hechos conocidos en una situación particular. Los datos pueden cambiar de una situación a otra, por lo que no son permanentes y se almacenan en la memoria de trabajo.

En situaciones deterministas, las relaciones entre un conjunto de objetos pueden ser representadas mediante reglas. El conocimiento se almacena en la base de conocimiento y consiste en un conjunto de objetos y un conjunto de reglas relacionados. La información almacenada en la base de conocimiento es permanente y solo cambia cuando se incorpora nuevo aprendizaje (Castillo et ál, 1996).

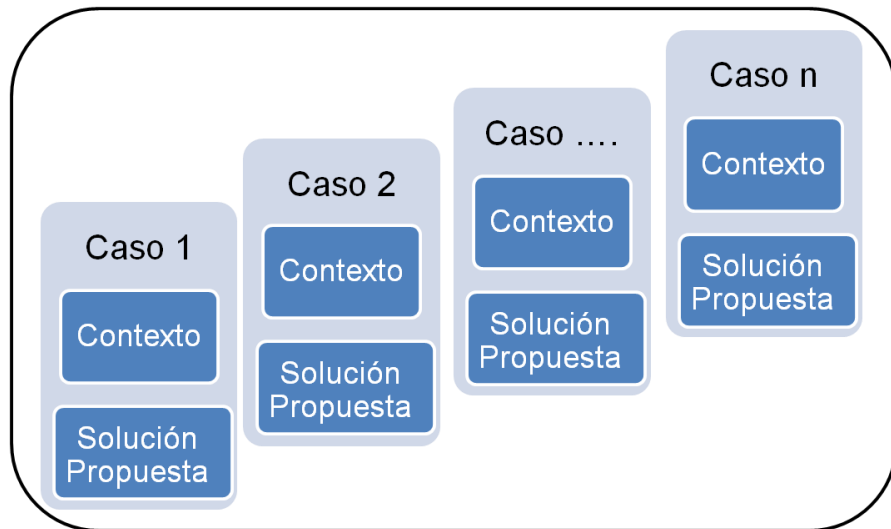
### **3.3.9. SISTEMA EXPERTO BASADO EN CASOS**

El razonamiento basado en casos (CBR) es un SE que intenta llegar a la solución de nuevos problemas de forma similar a como lo hacen los seres humanos utilizando la experiencia acumulada hasta el momento en acontecimientos similares. Un nuevo problema se compara con los casos exitosos almacenados previamente en la base de casos (Memoria de Casos) y se recuperan uno o varios casos. Posteriormente se utiliza y evalúa una solución sugerida, por los casos que han sido seleccionados con anterioridad, para tratar de aplicarlos al problema actual (Jiménez, 2006).

Un caso se compone de tres elementos (ver figura): La descripción del problema, la solución que se aplicó y el resultado de la solución. El conjunto de casos se

organiza en una estructura llamada Memoria de Casos o Base de Casos (Jiménez, 2006).

**Figura 3. Estructura sistemas experto basado en casos**



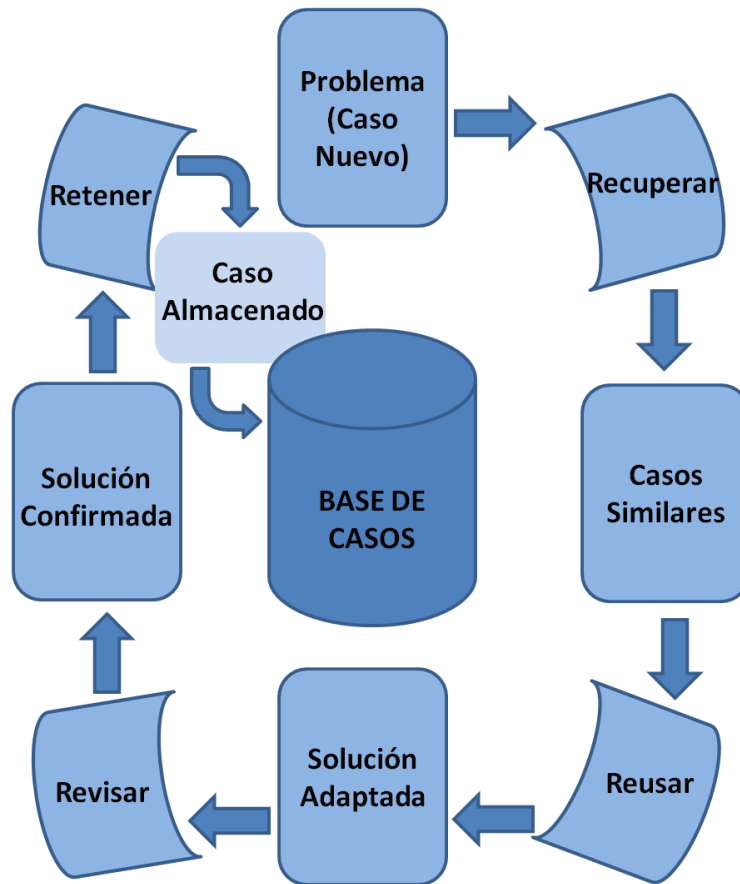
Según (Jiménez, 2006) las fases del SE basado en casos son:

- Recuperación. En la fase de recuperación se analiza el problema actual y se utilizan sus características principales para buscar en la memoria de casos aquellos casos que más se parezcan a la situación actual, entre los casos recuperados, se selecciona el más apropiado. Si se recuperan casos similares, el sistema debe estimar el grado de similitud de los casos.
- Adaptación. Una vez que se ha determinado el caso más parecido al problema actual, el sistema debe adaptarlo para que se ajuste a sus características.
- Revisión. Después de aplicar la solución, el siguiente paso consiste en la revisión de los resultados obtenidos en la aplicación para comprobar si la solución propuesta ha tenido éxito o no.

- Almacenamiento. En esta última fase, el sistema almacena en la memoria de casos la nueva experiencia a través de un caso que incorpora el problema actual, la solución y sus resultados. El nuevo caso se integra en la Base de Casos y se actualizan los índices.

En la siguiente figura se presenta el ciclo de un sistema de razonamiento basado en casos.

**Figura 4. Ciclo de un sistema de razonamiento basado en casos**



En la metodología CBR se deben establecer las similitudes que permiten determinar los casos más próximos al caso de entrada. Una ecuación para

establecerla se basa en la técnica presentada en (Sankar et ál, 2004) y conocida como “nearest-neighbor” la cual se puede expresar como:

$$\text{Similarity } (p, q) = \sum_{j=1}^n f(p_i, q_i) * w_i$$

Donde:

$p, q$  :casos bajo comparación.

$n$  :número de atributos en cada caso.

$i$  :atributo individual de 1 a  $n$ .

$w_i$  :peso del atributo  $i$ .

La similitud medida arroja un valor normalmente entre 0 y 1, donde 1 corresponde a un símil exacto y 0 corresponde a una completa discrepancia.

### **3.3.10. TEMATICA DEL ENTRENAMIENTO: EL ANÁLISIS DE FALLAS**

El presente trabajo se enfoca en un modelo que pueda ser aplicable al entrenamiento en el tema de análisis de fallas o perturbaciones en líneas de transmisión, por lo tanto es conveniente como parte del marco teórico del proyecto dar una breve definición de esta temática.

Las fallas o perturbaciones en los sistemas de potencia son mayoritariamente cortocircuitos los cuales consisten en la unión de uno o varios puntos eléctricos del sistema que se encuentran a diferente potencial a través de una impedancia muy pequeña ( $Z_{cc}$ =mínima).

Los cortocircuitos se pueden clasificar en simétricos (trifásicos) y asimétricos (monofásico, bifásico). En la operación del sistema de potencia se encuentra que la mayor cantidad de fallas corresponden a fallas monofásicas.



A continuación se ilustran algunos de los principales tipos de fallas que se presentan en líneas de transmisión.

- Falla monofásica a tierra: La falla monofásica a tierra consiste en la conexión de una fase a tierra.
- Falla bifásica aislada: La falla bifásica aislada consiste en la conexión entre dos fases.
- Falla bifásica a tierra: La falla bifásica a tierra consiste en la conexión de dos fases a tierra.
- Falla trifásica: La falla trifásica general consiste en la conexión de tres fases a tierra.

Para realizar un adecuado análisis de fallas en líneas de transmisión se requiere tener una base muy sólida de conocimientos en sistemas de potencia y el manejo de herramientas que facilitan el ordenamiento de la información entre las que se destacan:

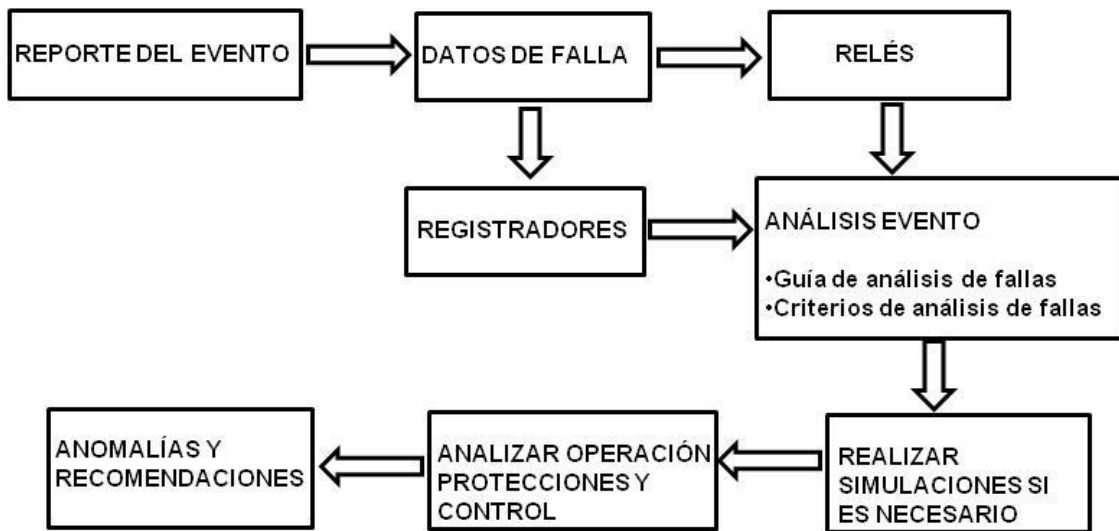
**SOE:** El SOE significa “sequence of event” y corresponde a un sistema de información que contiene las señales digitales (posiciones de interruptor, arranques y disparo de protecciones, etc) con su variación en el tiempo. Estas señales son grabadas mediante el sistema de control coordinado de subestación o las RTU (unidad de transmisión remota) y remitida a los centros de supervisión y control.

**Registrador de fallas RdF:** Los registradores de falla o RdF’s registran las señales analógicas (tensiones y corrientes) y digitales (posiciones de equipos y actuación de protecciones) para facilitar el análisis posterior de eventos. Se programan para obtener registros ante eventos cuando las variables del sistema como tensiones y corrientes superen determinados umbrales o cuando se produzcan cambios en las señales digitales.

**Registros de relés de protección:** Los registros de los relés de protección se denominan osciloperturbografías de relés y contienen las señales analógicas (tensiones y corrientes) cableadas a ese relé en particular, señales internas del relé (direccionalidad, zonas, funciones) y las señales digitales cableadas en entradas y salidas del relé (posiciones de equipos y disparos y arranques del relé). En general la oscilo de relés se programa para arrancar a grabar ante disparos del mismo.

En la figura siguiente se presenta un esquema resumido del proceso de análisis perturbaciones.

**Figura 5. Proceso de análisis de perturbaciones**



#### **4. MODELO DE ENTRENAMIENTO PROPUESTO BASADO EN STI**

En este capítulo se presentan los aspectos a considerar en la proposición del modelo para entrenamiento basado en sistemas tutoriales inteligentes (STI).

Inicialmente se debe partir analizando el funcionamiento de un STI que de acuerdo con (Jiménez, 2006) se podría resumir en la siguiente secuencia:

1. El sistema identifica al usuario, el modelo pedagógico con base en la información del estudiante (modelo del alumno) organiza la sesión de enseñanza adaptada al mismo.
2. El modelo pedagógico construye un plan de sesión para el aprendiz consultando el modelo del dominio (modelado del conocimiento) y el modelo del alumno. Del modelo del dominio se obtienen los conceptos a enseñar y en el modelo del alumno se consulta el conocimiento que el sistema supone que tiene el aprendiz (historial del alumno).
3. El sistema de planificación instruccional (PI) que corresponde al componente encargado de determinar la secuencia de las acciones o plan de enseñanza, dispone los objetivos instruccionales que se pretenden alcanzar con el conocimiento y demás información del alumno.
4. El modelo pedagógico ejecuta las actividades planificadas concretándolas en la serie de textos explicativos, ejemplos, ejercicios, etc, que se suministran al aprendiz. En este proceso, el modelo pedagógico se apoya en el modelo del dominio para obtener el contenido de las actividades instruccionales, así como en el modelo interfaz para comunicarse con el aprendiz (le permite al alumno ver los temas, ser evaluado y realimentado).

5. De acuerdo con el desarrollo del plan, el modelo pedagógico recibe, monitorea, diagnostica y evalúa las respuestas del aprendiz. Para esta tarea se emplea el conocimiento del dominio y la información del aprendiz.
6. Luego de la evaluación, el modelo pedagógico verifica el rendimiento del aprendiz brindándole sugerencias que incluyen diagnósticos con base en su comportamiento y resultados y replanifica los nuevos temas que estudiante puede cursar.

#### **4.1. MODELO PEDAGOGICO PROPUESTO**

Tal como se mencionó anteriormente una de las tareas más importantes del modelo pedagógico es controlar el desarrollo del currículo (orden de presentación de temas) de tal forma que pueda responder de una manera efectiva a las diferentes necesidades e inquietudes que puedan plantear los estudiantes.

Existen varios tipos de control de las secciones y secuencias (Fernández, 1989):

- Sistemas basados en reglas: corresponden a aquellos que han sido construidos con base en un sistema experto mediante reglas para seleccionar las lecciones o temas. En los tutoriales MYCIN (Shortliffe, 1976) y GUIDON (Clancey, 1979) se emplearon sistemas expertos basados en reglas para el desarrollo de sus modelos.
- Sistemas basados en autómatas de estados pedagógicos: proporcionan un marco de trabajo adecuado para definir y probar reglas pertenecientes al proceso tutorial con el fin de generalizarlas.
- Sistemas basados en planificación: aparecen como una necesidad para construir sistemas de enseñanza, que utilicen estrategias para cursos largos.

#### **4.1.1. PLANIFICACIÓN INSTRUCCIONAL**

La planificación instruccional (PI) estructura u organiza los procesos de enseñanza-aprendizaje tomando como base los contenidos que se pretenden enseñar para alcanzar los objetivos propuestos realizando diversas actividades de aprendizaje.

Existen varias técnicas de planificación instruccional tales como:

- Planificadores algorítmicos.
- Razonamiento basado en casos.
- PI basada en secuenciamiento del currículo.

Para el desarrollo de esta etapa del modelo pedagógico en el presente trabajo, se plantea la metodología de planificación instruccional basada en secuenciamiento del currículo por las siguientes razones:

- El modelo es sencillo en su elaboración y de fácil entendimiento para los docentes encargados de estructurar los cursos.
- Puede ser implementado fácilmente en un medio informático mediante un sistema experto basado en reglas.
- Le proporciona cierta autonomía a los estudiantes para llevar a cabo su proceso de aprendizaje permitiéndole desarrollar temas en paralelo (el sistema simplemente verifica que se cumplan las reglas).

#### **4.1.2. PLANIFICACIÓN INSTRUCCIONAL BASADA EN SECUENCIAMIENTO DE CURRÍCULO**

El secuenciamiento de currículo corresponde al orden en qué se enseñarán los temas. De acuerdo con (Arias, 2009) para determinar este orden por lo general, se debe dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál será el primer tema?
- ¿Qué tema debe seguir?
- ¿Cuál debe ser el último tema?
- ¿Los temas deben presentarse de forma secuencial?
- ¿Qué temas se pueden estudiar de forma paralela?

Con la metodología de secuenciamiento del currículo el proceso de enseñanza-aprendizaje es controlado de acuerdo con el mapa de cursos estructurado por el docente. Para el desarrollo adecuado de la planificación instruccional se deben considerar los siguientes elementos:

- Problema: necesidad de adquirir determinados conocimientos de un curso por parte de los estudiantes.
- Niveles: un estudiante inicia un curso con un cierto nivel técnico (condiciones iniciales) y luego de lograr varios objetivos instruccionales adquiere nuevo conocimiento potencializándose a niveles más avanzados.
- Rendimiento del estudiante: el estudiante en un curso puede ser calificado en varios ítems de acuerdo con su rendimiento tales como: rendimiento normal, competente, experto. Estas calificaciones permiten realizar seguimiento individual al proceso de formación del estudiante.
- Actividades: son definidas por los docentes que elaboran el curso y deben estar ligadas a los objetivos instruccionales (ayudan a lograr los objetivos).

- Elementos educativos: corresponden a los contenidos de aprendizaje y deben asociarse con las actividades.
- Restricciones: son enunciadas a partir de la estructura del curso y se conocen como prerrequisitos para un objetivo instruccional. Estos prerrequisitos indican que objetivos deben ser alcanzados antes de intentar lograr otro nuevo objetivo instruccional. Debido a la subdivisión de los cursos en los componentes que más adelante se detallan, cuando se define un prerrequisito sobre un objetivo instruccional, dicho prerrequisito también puede aplicarse sobre un tema completo o una unidad de aprendizaje. Por otro lado, para evitar que un estudiante no pueda avanzar ante la dificultad de alcanzar un determinado objetivo, se deben considerar temas que puedan ser vistos en paralelo, de tal forma que, el sistema pueda plantearle al aprendiz alternativas para continuar avanzando en su proceso de formación. Para ejecutar este proceso son necesarios ciertos elementos de información del estudiante que el sistema debe almacenar con fines adaptativos tales como: perfil académico, historial de evaluaciones y conocimiento adquirido.

#### **4.1.3. ESTRUCTURA DE CURSOS**

Para el desarrollo del modelo pedagógico es necesario conocer la estructura de los cursos. Considerando la literatura consultada al respecto no existe una estructura estandarizada, no obstante, de acuerdo con (Arias, 2009), es posible implementar una distribución con los siguientes elementos:

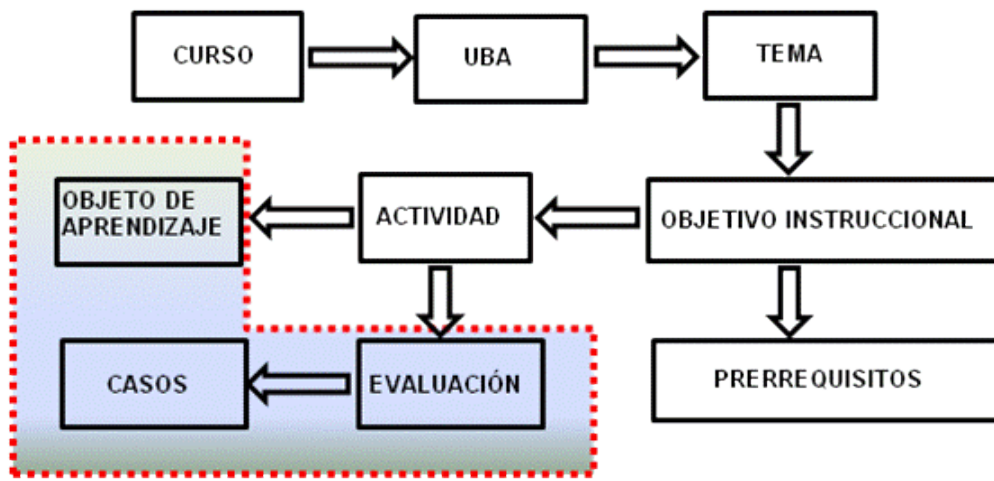
- Curso: elemento más general de la estructura y corresponde al marco de interacción entre docentes y estudiantes. Para el presente modelo se plantean tres cursos: básico, intermedio y avanzado.

- UBA: Unidad Básica de Aprendizaje. Comprende la subdivisión de los cursos.
- Tema: conjunto de conceptos importantes para el aprendizaje por parte del estudiante.
- Objetivos Instruccionales: lo que se pretende aprender por parte del estudiante con el conocimiento que se imparte. Un objetivo instruccional se puede lograr mediante actividades y evaluaciones.
- Prerrequisitos indica los objetivos que se deben alcanzar previamente antes de buscar el logro de uno nuevo. Los prerrequisitos de un curso son definidos a nivel de los objetivos instruccionales.
- Actividad: conjunto de acciones para adquirir el conocimiento: marco teórico. Una actividad es realizada a través de uno o varios contenidos educativos.

En la figura a continuación se presenta la estructura de cursos recomendada por (Arias, 2009). La parte sombreada de la figura se analizará en detalle en el modelo del dominio (modelado del conocimiento) y en el modelo de evaluación y diagnóstico.



**Figura 6. Estructura de cursos considerada**



#### **4.1.4. CONTENIDO DE LOS CURSOS**

El contenido de los cursos es el resultado de la experiencia propia de los expertos en análisis de fallas de ISA y la literatura internacional especializada en el tema tal como el compendio presentado por (Mohamed, 2012) en el libro “*Disturbance Analysis for Power Systems*”, que propone entre otros, los contenidos que se describen a continuación. Para el presente trabajo el entrenamiento se ha dividido en tres cursos: básico, intermedio y avanzado.

Considerando la estructura didáctica definida en la tesis de especialización en TyD denominada “*Metodología para el entrenamiento de protecciones en sistemas de transmisión empleando ambientes virtuales*” (Ávila et ál, 2011) y como una manera de apoyo al docente en la organización del contenido del curso, se plantea la elaboración de la tabla de saberes. Una tabla de saberes se refiere al sistema de conocimientos, o sea las teorías, o leyes (físicas o científicas), las habilidades que el estudiante va a desarrollar (el hacer) y los valores o actitudes que el estudiante debe tener según la competencia (en el caso de una empresa pueden ser también los valores corporativos).

**Saber-Saber:** este es el primer componente de la tabla de saberes son los conocimientos.

**Saber-Hacer:** este es el segundo componente de la tabla de saberes, son las habilidades a desarrollar.

**Saber-Ser:** este es el tercer componente de la tabla de saberes: son los valores o actitudes.

En la siguiente tabla se presentan los contenidos del curso de análisis de fallas en líneas de transmisión estructurados de acuerdo con los saberes.

**Tabla 1 Saberes generales: invariantes del saber, del hacer y del ser**

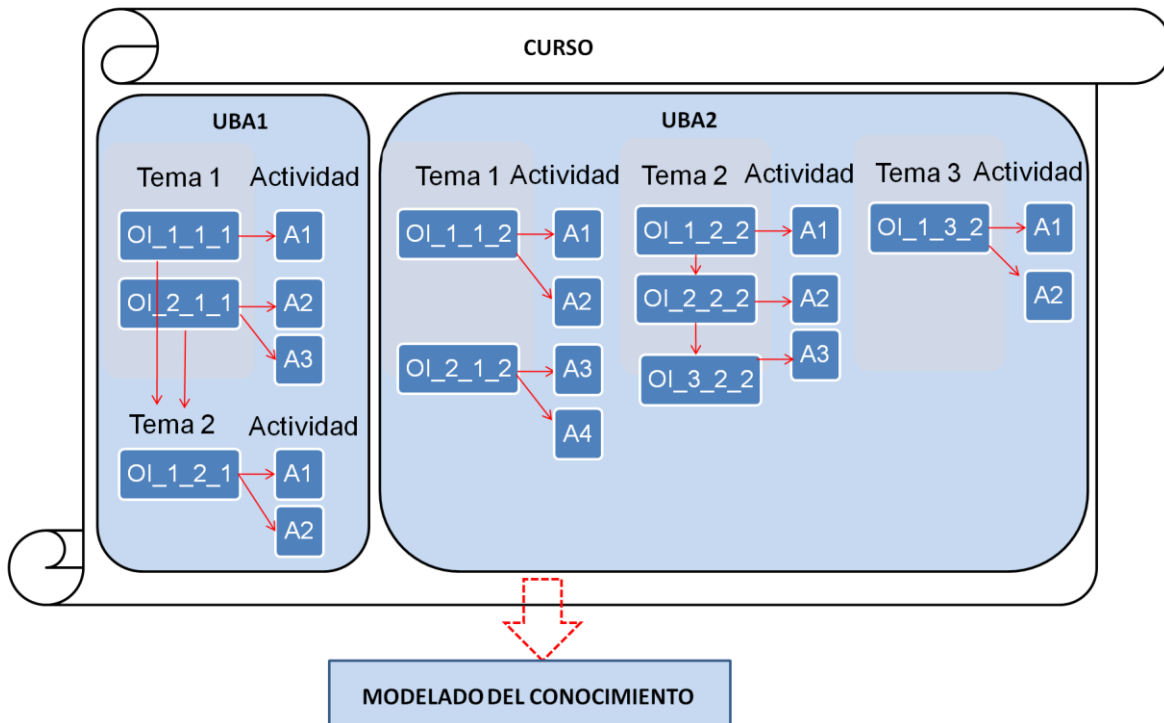
<b>Saber- Saber (Sistema de conocimientos)</b>	<b>Saber- Hacer (Sistema de habilidades)</b>	<b>Saber- Ser (Sistema de valores)</b>
<p><b>NIVEL BÁSICO</b></p> <p><b>UBA1: INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMAS DE POTENCIA</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Tema1:</b> Definiciones</li> <li>2. <b>Tema2:</b> Información requerida para el análisis de fallas: registro osciloperturbografico</li> <li>3. <b>Tema3:</b> Señales A y D a ser monitoreadas por un RdF (Registrador de Fallas) y parametrización</li> <li>4. <b>Tema4:</b> Análisis de información de un RdF. Análisis fasorial, cálculo RMS, cálculo de potencia activa y reactiva, cálculo de localización de fallas.</li> <li>5. <b>Tema5:</b> Tipos de fallas que ocurren en un sistema de potencia: fallas serie y fallas paralelo.</li> </ol> <p><b>UBA2: GENERALIDADES DEL ANÁLISIS DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Tema1:</b> Clasificación de las fallas paralelo: falla monofásica</li> <li>2. <b>Tema2:</b> Clasificación de las fallas paralelo: falla bifásica</li> <li>3. <b>Tema3:</b> Clasificación de las fallas paralelo: falla trifásica</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Domina conceptos básicos de sistemas de potencia aplicados al análisis de fallas en líneas de transmisión.</li> <li>- Reconoce y clasifica las fallas según su tipo y principales características.</li> <li>- Identifica los principales fenómenos relacionados con las fallas en líneas de transmisión.</li> <li>- Reconoce el impacto de las fallas en el sistema de potencia y las protecciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visión integral del sistema de potencia</li> <li>- Rigurosidad y excelencia</li> </ul>

Saber- Saber (Sistema de conocimientos)	Saber- Hacer (Sistema de habilidades)	Saber- Ser (Sistema de valores)
<p>4. <b>Tema4:</b> Causas por las que se producen fallas en un sistema de potencia</p> <p>5. <b>Tema5:</b> Punto de incidencia de la falla</p> <p>6. <b>Tema6:</b> Corrientes de falla simétrica y asimétrica.</p> <p><b>NIVEL INTERMEDIO</b></p> <p><b>UBA3:</b> FENÓMENOS RELACIONADOS CON LAS FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Tema1:</b> Fallas evolutivas</li> <li>2. <b>Tema2:</b> Fallas simultáneas</li> <li>3. <b>Tema3:</b> Comportamiento de la falla sólida (<math>RF=0</math>)</li> <li>4. <b>Tema4:</b> Comportamiento de la falla de alta impedancia trifásica</li> <li>5. <b>Tema5:</b> Comportamiento de la falla de alta impedancia monofásica</li> <li>6. <b>Tema6:</b> Comportamiento de la corriente en las fases sanas durante una falla a tierra.</li> </ol> <p><b>UBA4:</b> FENÓMENOS DEL SISTEMA DE POTENCIA Y SU IMPACTO EN LOS RELÉS DE PROTECCIÓN CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS DE FALLAS</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Tema1:</b> Aclaramiento secuencial de una falla fase-tierra</li> <li>2. <b>Tema2:</b> Falla a tierra despejada por una protección distancia en forma instantánea</li> <li>3. <b>Tema3:</b> Falla a tierra despejada por una protección distancia en forma temporizada</li> <li>4. <b>Tema4:</b> Falla a tierra despejada por un relé de sobrecorriente</li> <li>5. <b>Tema5:</b> Falla a tierra despejada por un esquema de falla interruptor</li> <li>6. <b>Tema6:</b> Oscilación de potencia y su impacto en la protección distancia</li> </ol> <p><b>NIVEL AVANZADO</b></p> <p><b>UBA5:</b> TÓPICOS ESPECIALES EN EL ANÁLISIS DE FALLAS</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Tema1:</b> Reencendido del interruptor</li> <li>2. <b>Tema2:</b> Discrepancia de polos del</li> </ol>		

Saber- Saber (Sistema de conocimientos)	Saber- Hacer (Sistema de habilidades)	Saber- Ser (Sistema de valores)
interruptor durante una operación de cierre 3. <b>Tema3:</b> Saturación del transformador de corriente 4. <b>Tema4:</b> Fenómenos transitorios en PT capacitivo 5. <b>Tema5:</b> Recierre en falla permanente durante un ciclo de recierre monofásico 6. <b>Tema6:</b> Voltaje inducido por acoplamiento mutuo 7. <b>Tema7:</b> Corriente reversa en líneas paralelas durante falla 8. <b>Tema8:</b> Oscilación del voltaje en líneas de extra-alta tensión con reactores shunt en uno de sus extremo.		

En la figura a continuación se presenta el diseño del modelo propuesto.

**Figura 7. Diseño del modelo pedagógico propuesto**



Nótese en la figura anterior como en la UBA1 para ver el Tema 2 es necesario cumplir al menos un objetivo del Tema 1, pero en la UBA2 un estudiante puede tomar los Temas 1 a 3 en forma paralela lo cual ayuda a que un estudiante pueda avanzar en su proceso formación aún teniendo problemas para alcanzar algunos de los objetivos de un tema específico.

#### **4.1.5. APLICACIÓN DEL MODELO PEDAGÓGICO A LA ESTRUCTURA DE CURSOS DEFINIDA**

Para implementar el modelo pedagógico se utilizará un sistema experto basado en reglas que valide el nivel de aprendizaje del alumno y lo ubique en la estructura de conocimiento.

Como ilustración de la metodología se aplicará al curso básico. Para entender la información que se presenta en la *Tabla 2*, ver el siguiente ejemplo.

*OI1\_T1\_UBA1* corresponde al Objetivo Instruccional 1 perteneciente al Tema 1 asociado a la Unidad 1.

*A1\_OI1\_T1\_UBA1* corresponde a la Actividad 1 asociada al Objetivo Instruccional 1 del Tema 1 correspondiente a la Unidad 1.

**Tabla 2 Aplicación al curso básico**

<b>Curso</b>	<b>UBA</b>	<b>Tema</b>	<b>Objetivo Instruccional</b>	<b>Identificación</b>	<b>Prerrequisito</b>	<b>Actividad</b>	<b>Identificación</b>
Básico	UBA1	Tema1 (T1)	OI1	OI1_T1_UBA1	NA	A1	A1_OI1_T1_UBA1
						A2	A2_OI1_T1_UBA1
Básico	UBA1	Tema2 (T2)	OI1	OI1_T2_UBA1	NA	A1	A1_OI1_T2_UBA1
						A2	A2_OI1_T2_UBA1
Básico	UBA1	Tema3 (T3)	OI1	OI1_T3_UBA1	OI1_T2_UBA1	A1	A1_OI1_T3_UBA1
						A2	A2_OI1_T3_UBA1
Básico	UBA1	Tema4 (T4)	OI1	OI1_T4_UBA1	OI1_T3_UBA1	A1	A1_OI1_T4_UBA1
						A2	A2_OI1_T4_UBA1
Básico	UBA1	Tema5 (T5)	OI1	OI1_T5_UBA1	NA	A1	A1_OI1_T5_UBA1
						A2	A2_OI1_T5_UBA1
Básico	UBA2	Tema1 (T1)	OI1	OI1_T1_UBA2	OI1_T5_UBA1	A1	A1_OI1_T1_UBA2
						A2	A2_OI1_T1_UBA2
Básico	UBA2	Tema2 (T2)	OI1	OI1_T2_UBA2	OI1_T5_UBA1	A1	A1_OI1_T2_UBA2
						A2	A2_OI1_T2_UBA2
Básico	UBA2	Tema3 (T3)	OI1	OI1_T3_UBA2	OI1_T5_UBA1	A1	A1_OI1_T3_UBA2
						A2	A2_OI1_T3_UBA2
Básico	UBA2	Tema4 (T4)	OI1	OI1_T4_UBA2	NA	A1	A1_OI1_T4_UBA2
						A2	A2_OI1_T4_UBA2
Básico	UBA2	Tema5 (T5)	OI1	OI1_T5_UBA2	NA	A1	A1_OI1_T5_UBA2
						A2	A2_OI1_T5_UBA2
Básico	UBA2	Tema6 (T6)	OI1	OI1_T6_UBA2	OI1_T5_UBA2	A1	A1_OI1_T6_UBA2
						A2	A2_OI1_T6_UBA2

Mediante un sistema experto basado en reglas se pueden programar las diferentes alternativas para que un estudiante adelante su proceso de formación dependiendo de determinadas condiciones, tal como se ilustra a continuación:

Para el caso de aprobar la actividad 1:

**SI**  
*A1\_OI1\_T3\_UBA1 = APROBADA Y*  
*OI1\_T2\_UBA1 = CUMPLIDO*  
**ENTONCES**  
*OI1\_T4\_UBA1*

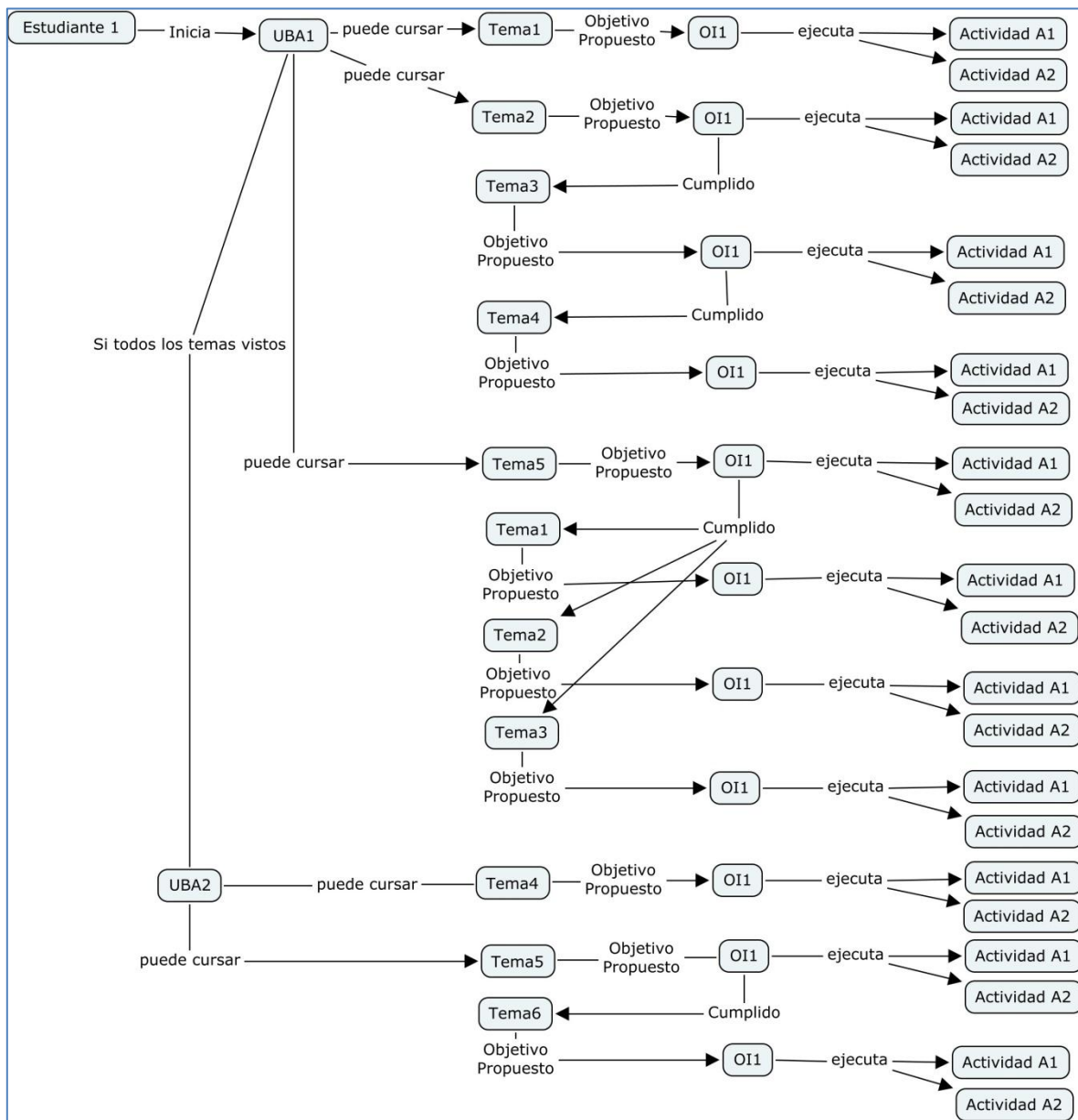
Para el caso de reprobado la actividad 1:

**SI**  
*A1\_OI1\_T3\_UBA1 = REPROBADA Y*  
*OI1\_T2\_UBA1 = CUMPLIDO*  
**ENTONCES**  
*A2\_OI1\_T3\_UBA1*

En este ejemplo se puede apreciar como un estudiante que cumpla con una actividad determinada que puede estar relacionada con otra (en este caso la actividad 1 relacionada con la actividad 2) puede optimizar su proceso de aprendizaje saltando entre actividades que pudieran ser redundantes para el caso de aprobar pero necesarias para el caso en que reprueba.

De la forma anterior, se podría programar todo el currículo del curso considerando las posibles relaciones entre actividades y las restricciones que pueda tener un estudiante para acceder a temas nuevos tal como se presenta en la siguiente figura.

**Figura 8. Diagrama de implementación del curso básico**



#### 4.1.6. FUNCIONAMIENTO DEL MODELO PEDAGOGICO

La estructura de cursos definida debe estar detallada en el modelo del dominio (conocimiento) con todos los elementos de aprendizaje o contenidos educativos que serán empleados en la ejecución de las diferentes actividades.

Las flechas que salen de los objetivos instruccionales indicando “Cumplido” significan que el tema apuntado a criterio del experto tiene como prerequisite el



logro del objetivo instruccional previo. Tal como se puede apreciar el curso cuenta con objetivos instruccionales sin prerequisites para permitir que el estudiante pueda avanzar incluso con dificultades para lograr ciertos objetivos instruccionales.

Inicialmente se realiza una evaluación de diagnóstico al estudiante que permitirá ubicarlo en uno de los tres niveles: básico, medio o avanzado. Una vez el estudiante se encuentre categorizado se da inicio a su proceso de formación ubicándolo en una Unidad Básica de Aprendizaje (UBA). Cada sesión del estudiante en el sistema se denominará tema, el cual tiene los prerequisites que deben ser cumplidos previamente para acceder a la sesión.

- **Partes de un tema:**

Cada tema se compone de las siguientes etapas:

1. *Objetivo Instruccional*
2. *Actividades*

Cada vez que el estudiante inicie una sesión, el sistema verifica los objetivos instruccionales a los que el estudiante puede acceder mediante la verificación de prerequisites, presentando al estudiante el listado de los temas que puede seleccionar para su formación.

- **Desarrollo de la sesión:**

Inicialmente se presenta una introducción del tema específico y se motiva al estudiante para el aprendizaje. Se indica el objetivo u objetivos que se pretenden alcanzar.

A continuación se ejecutan las actividades que se componen de diversas acciones que permitan adquirir el conocimiento. Las actividades corresponden básicamente a dos:

-*Actividad A1:* en esta actividad de aprendizaje se presenta el marco teórico acompañado de ejemplos y simulaciones.

-*Actividad A2*: en esta actividad de evaluación se realiza la recolección de evidencias de conocimiento (evaluación del tema).

La actividad A1 no es de obligatoria ejecución por parte del estudiante, pero en caso que la actividad A2 no presente un resultado satisfactorio (no se alcanza el objetivo), se redirige el estudiante a la actividad de enseñanza A1 antes de presentar el segundo intento de evaluación.

Una vez realizadas las actividades correspondientes, el sistema actualiza el nivel de conocimientos del estudiante (objetivos alcanzados) de acuerdo con los resultados obtenidos en las evaluaciones presentadas habilitando nuevos temas del curso los cuales quedan disponibles para el estudiante (replanificación de actividades).

#### **4.2. MODELO DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO PROPUESTO**

Se propone que la evaluación sea realizada para cada tema mediante el desarrollo de la actividad A2. Para la evaluación se pretende modelar ejercicios que permitan caracterizar los errores en los que un estudiante pudiera incurrir para brindarle recomendaciones de acuerdo con el tipo de error cometido. Existen varios modelos analizados en los cuales se caracterizan posibles errores para realizar valoración y diagnóstico de estudiantes en STI's, por ejemplo, en el tutorial "*Navy tactical action officers (TAO)*" (Goan et ál, 1997), se modelan diferentes escenarios para enseñanza de tácticas militares. Cada escenario se debe ejecutar en un determinado tiempo y se compone de eventos (pasos) y acciones (respuesta del estudiante). Cada paso tiene modeladas unas posibles acciones esperadas (correctas) y otras inesperadas (incorrectas), dependiendo de la acción que tome el estudiante, el modelo lo realimenta.

Por otra parte, en las aplicaciones para educación en ingeniería, (Negnevitsky, 1996) en su tutorial de ingeniería eléctrica propone modelar ejercicios aplicados que permiten diagnosticar al estudiante. Para el caso del análisis de fallas

eléctricas, uno de los elementos más importantes en la operación de sistemas de potencia, se pueden modelar condiciones de fallas aplicando un procedimiento estructurado en pasos. En general, el análisis de cualquier tipo de condición de falla en sistemas de potencia se puede efectuar en el siguiente orden de acuerdo con (Negnevitsky, 1996):

1. Representar el sistema de potencia dado mediante la red de secuencia correspondiente: positiva, negativa y cero (la secuencia cero se omite para las condiciones de falla aislada y la secuencia negativa y cero se omiten para falla trifásica balanceada). Esta representación requiere calcular las impedancias en por unidad (pu) de transformadores, líneas, etc.
2. Reducir cada una de las redes de secuencia a su forma más simple. Conectar las redes de secuencia en serie, paralelo o combinación serie-paralelo según corresponda al tipo de falla.
3. Emplear las ecuaciones de componentes simétricas que permitan encontrar las componentes de fase de la corriente de falla.
4. Calcular el valor de corriente de falla en por unidad (pu).
5. Obtener el valor de corriente de fase mediante la multiplicación del valor en pu obtenido del paso anterior por el valor de corriente de base.

El procedimiento anterior, permite realizar el análisis de cualquier tipo de falla en sistemas de potencia.

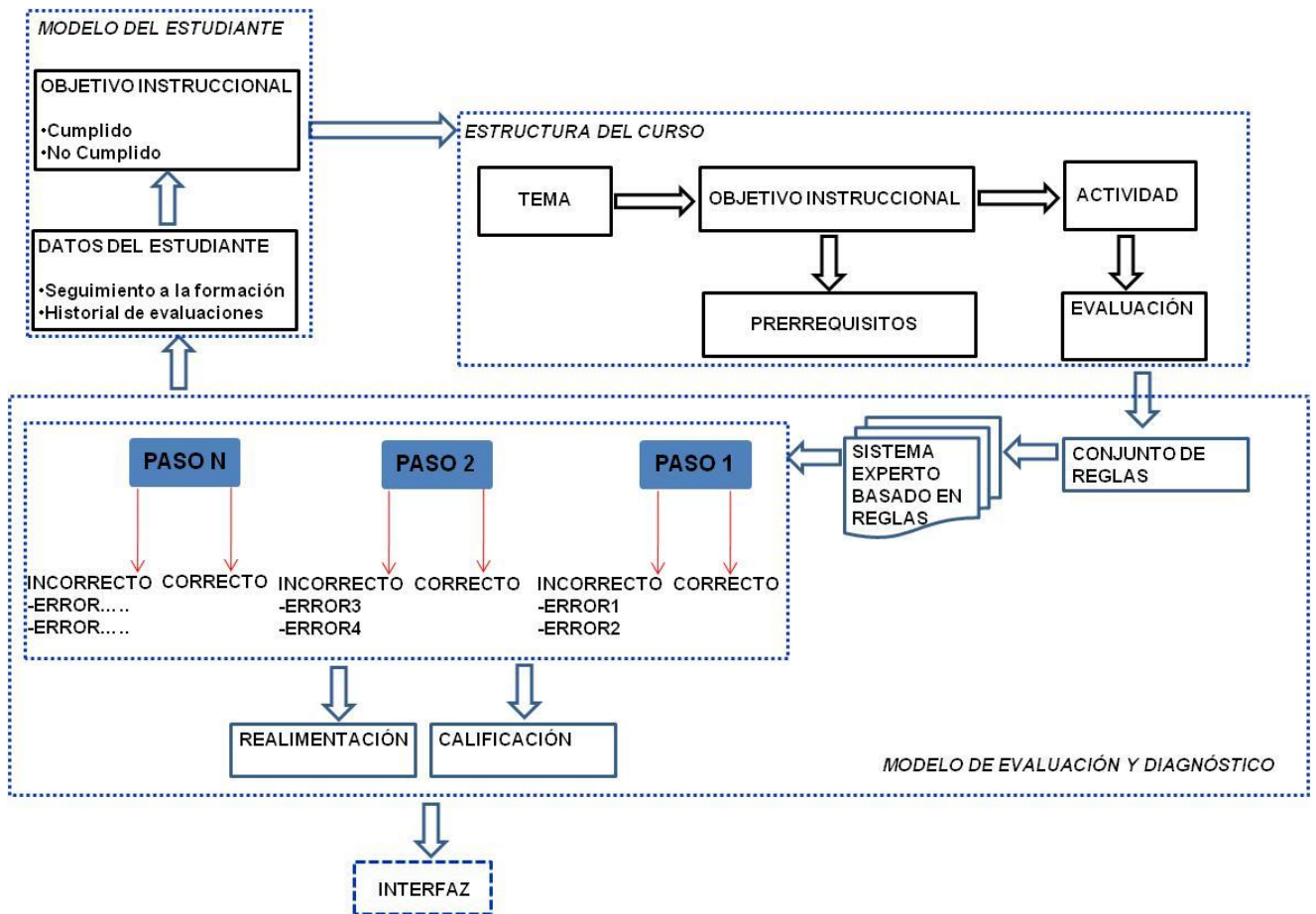
#### **4.2.1. DISEÑO DEL MODELO PROPUESTO**

Para el modelo de evaluación y diagnóstico de este trabajo se observa factible aplicar la metodología antes mencionada con caracterización de errores, la cual puede formalizarse en un medio informático empleando un sistema experto basado en reglas. Se modelan por pasos los ejercicios a emplearse en las evaluaciones de los diferentes temas y para cada paso se determinan las formas correctas e incorrectas de resolverlo. Para las formas incorrectas se especifican los posibles errores (errores genuinos) que un estudiante pudiera cometer de tal

forma que el sistema emita la realimentación correspondiente indicando que temas el estudiante debe reforzar dependiendo del tipo de error.

El modelo propuesto para evaluación y diagnóstico del estudiante se presenta en la siguiente figura.

**Figura 9. Diseño del modelo de evaluación y diagnóstico propuesto**



#### 4.2.2. APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO

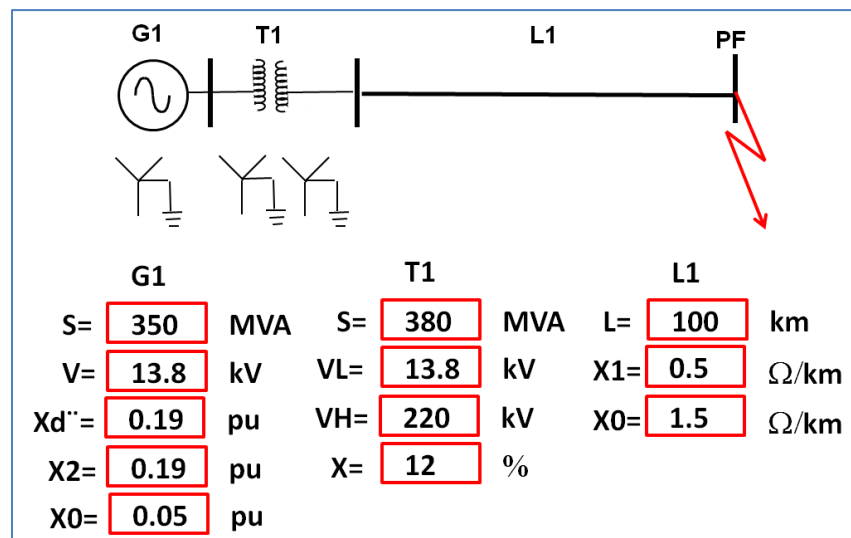
Para ilustrar el funcionamiento del modelo, se presenta la siguiente evaluación aplicable a los temas 1 a 3 de la UBA2. Con este ejercicio es posible calcular corrientes de corto circuito para evaluar los temas: falla monofásica, falla bifásica y falla trifásica. Esta aplicación se realiza con base en la propuesta de (Negnevitsky, 1996).

## EVALUACIÓN: CALCULAR CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

Calcular corriente de falla en el punto de falla PF.

1. Falla monofásica
2. Falla bifásica aislada
3. Falla trifásica

Figura 10. Diagrama de aplicación del modelo de evaluación y diagnóstico



Todos los valores en los recuadros en color rojo deben ser modificables aleatoriamente para que cada intento que realice un estudiante para resolverlo sea con valores diferentes a los anteriores, adicionalmente se logra tener un ejercicio personalizado para cada estudiante. Cada uno de los pasos se codifica empleando un sistema experto basado en reglas.

Para adecuar el ejercicio empleando valores adecuados desde el punto de vista del sistema eléctrico colombiano, se plantea utilizar los siguientes rangos:

**SG1:** puede variar en un rango desde 10 hasta 500.

**VG1:** puede tomar los siguientes valores: 13.2 y 13.8.

**Xd''G1:** puede variar en un rango desde 0.10 hasta 0.30.

**X2G1=Xd''G1**

$$X_{0G1} = 0.26 * X_{d''G1}$$

$$S_{T1} = 1.1 * S_{G1}$$

$$V_{LT1} = V_{G1}$$

$V_{HT1}$ : puede tomar los siguientes valores: 66, 110, 115, 138, 220, 230 y 500.

$X_{T1}$ : puede variar en un rango desde 0.06 hasta 0.15.

$LL1$ : puede variar en un rango desde 5 hasta 500.

$X_{1L1}$ : puede variar en un rango desde 0.30 hasta 0.60.

$$X_{0L1} = 3 * X_{1L1}$$

## MODELADO DEL EJERCICIO POR PASOS

### PASO 1: Calcular impedancia de base

Seleccionar la potencia de base.

$$S_B = \boxed{100} \text{ MVA}$$

**PREGUNTA:** Calcular impedancias de base para nivel de 220kV (ubicación de la falla).

$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = 484 \text{ ohmios}$$

**Respuestas posibles:**

a)  $\boxed{2.2} \Omega \text{ (VB/SB)}$

**Respuesta:** **INCORRECTO** (Error1: No elevó el voltaje al cuadrado)

**Realimentación:** Recordar que la impedancia de base se calcula elevando el voltaje al cuadrado y dividiendo por la potencia de base. (Ver tema de sistema en pu).

b)  $\boxed{484} \Omega$

**Respuesta:** **CORRECTO**

**Realimentación:** *La respuesta es correcta.*

c)   $\Omega$  (VB=VG1)

**Respuesta:** **INCORRECTO** (Error2: No seleccionó el voltaje adecuado)

**Realimentación:** *Recordar que la falla se encuentra ubicada en el nivel de 220kV por lo tanto el voltaje de base a seleccionar debe ser VB=220. (Ver tema de sistema en pu).*

**PASO 2:** *Calcular corriente de base*

**PREGUNTA:** *Calcular la corriente de base para la potencia de base seleccionada en paso 1.*

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} V_B} = 262.4 \text{ amperios}$$

**Respuestas posibles:**

a)  A

**Respuesta:** **CORRECTO**

**Realimentación:** *La respuesta es correcta.*

b)  A (SB/VB)

**Respuesta:** **INCORRECTO** (Error3: No dividió por  $\sqrt{3}$ )

**Realimentación:** *Recordar dividir por  $\sqrt{3}$  para obtener la corriente. (Ver tema conceptos básicos del sistema trifásico).*

c)  A (VB=VG1)

**Respuesta:** **INCORRECTO** (Error4: No seleccionó el voltaje adecuado)

**Realimentación:** *Seleccionar adecuadamente el voltaje de base VB=220. (Ver tema de sistema en pu).*

Y así sucesivamente se desarrollan todos los pasos definidos previamente para resolver el ejercicio, modelando los errores correspondientes que se podrían cometer en cada paso: error1, error2, error3, etc.

### **4.3. MODELO DE CONOCIMIENTO PROPUESTO**

Los modelos de conocimiento se pueden basar fundamentalmente en técnicas de inteligencia artificial como el razonamiento basado en casos (CBR) y más recientemente en metodologías conocidas como objetos de aprendizaje. Inicialmente se exploraron las alternativas propuestas a partir del CBR pero al tratar de aplicar el modelo se encontraron varias dificultades entre las que se destacan las siguientes: la necesidad de emplear adicional a la técnica mencionada del CBR otras funcionalidades de la IA como por ejemplo, reconocimiento de lenguaje natural necesario para interpretar los requerimientos del estudiante y traducirlos a casos de entrada del modelo, esta situación se consideró no deseable ya que el problema se volvía cada vez más complejo. Por otra parte, la técnica de CBR requiere para un adecuado funcionamiento de una gran cantidad de casos en la memoria del sistema lo cual se consideró poco práctico al momento de aplicar al modelado de conocimiento por la cantidad de variables involucradas.

Finalmente, luego de consultar la metodología conocida como objetos de aprendizaje (OA) se encontró viable para ser aplicada, práctica para desarrollar y funcional. De acuerdo con lo anterior, para adelantar el modelado del conocimiento en el presente trabajo se empleará la metodología conocida como objetos de aprendizaje. De acuerdo con (Wiley, 2000) un objeto de aprendizaje (OA) puede definirse como un elemento digital reusable que puede ser empleado como soporte al aprendizaje, educación o entrenamiento.

Las principales características de los OA son las siguientes:



- Administrabilidad: debe tener ciertos elementos (metadatos) que permitan clasificarlo.
- Adaptabilidad: los OA deben ser modulares para facilitar su selección de acuerdo con la respectiva aplicación.
- Agrupabilidad: los OA deben permitir su ordenación en grupos de tal forma que permitan estructurar un curso de enseñanza completo.
- Aplicabilidad: los OA deben responder a realidades concretas.
- Coherencia: los OA deben ser coherentes, es decir, deben estar relacionados con los objetivos propuestos.
- Reusabilidad: todo OA debe poder usarse en diferentes contextos y objetivos.
- Relevancia: los OA deben ser pertinentes acordes con la temática tratada.

Los OA deben diseñarse con objetivos pertinentes de tal forma que puedan integrarse a diversas temáticas. Deben tener un contenido y una descripción adecuados de tal forma que puedan ser identificados fácilmente.

#### **4.3.1. NORMATIVIDAD APLICADA A LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE**

Las dos normas internacionales más empleadas actualmente aplicables en la estandarización de objetos de aprendizajes corresponden a: IEEE 1484 “*Standard for Learning Object Metadata*” y el estándar “Dublin Core”.

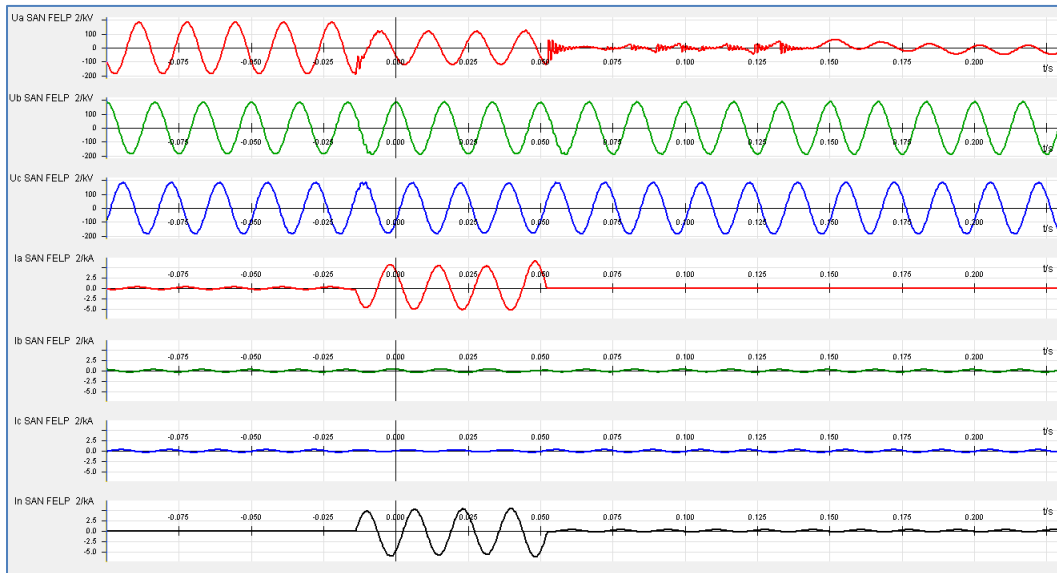
- **IEEE 1484 “Standard for Learning Object Metadata - LOM”**

La IEEE 1484 “*Standard for Learning Object Metadata - LOM*” de 2002 (corregida en 2011) define las principales características aplicables a los metadatos empleados en e-learning. La norma define las nueve características siguientes: general, ciclo de vida, meta-metadato, técnica, educativa, derechos, relación, anotación, clasificación (IEEE 1484, 2002).

1. *General*: presenta la información global que permite describir un contenido educativo, por ejemplo: nombre, descripción, palabras claves.
2. *Ciclo de vida*: presenta varias características relativas a la evolución del contenido, tales como: versión, fecha, estado.
3. *Meta-metadato*: esta información está asociada solo al metadato y no al contenido educativo, por ejemplo: identificador, catalogo, lenguaje.
4. *Técnica*: presenta las características técnicas del contenido educativo. Por ejemplo: tamaño, formato, localización.
5. *Educativa*: está asociada con las características pedagógicas del contenido educativo, tales como: nivel de interactividad, rango de edad, contexto.
6. *Derechos*: esta característica está relacionada con la propiedad intelectual y uso del contenido y considera: costos, derechos de autor, descripción.
7. *Relación*: correspondencia entre el contenido educativo y otros relacionados, por ejemplo: clase, recurso, catálogo.
8. *Anotación*: incluye comentarios acerca del contenido educativo, tales como: descripción, fecha de creación, entidad que crea el comentario.
9. *Clasificación*: describe el contenido educativo respecto a un determinado sistema de clasificación, por ejemplo: propósito, fuente, taxonomía.

En la figura y tabla siguientes se presenta un ejemplo de aplicación del estándar IEEE 1484 con sus características definidas para un recurso digital del tema de análisis de fallas.

**Figura 11. Ejemplo de aplicación IEEE 1484 al archivo falla monofásica**



**Tabla 3 Característica IEEE 1484**

<b>Característica</b>	<b>Metadato</b>	<b>Valor</b>
General	Identificador	Falla_001
	Título	Falla Monofásica
	Entrada de Catalogo	Falla_001 en catalogo de fallas
	Lenguaje	Español
	Descripción	Grafica de falla monofásica
	Palabras Claves	Falla, análisis, monofásica
	Estructura	Atómico (vocabulario LOM)
	Nivel de Agregación	1 (vocabulario LOM)
Ciclo de vida	Versión	1.2
	Estado	En revisión
	Contribuyente	Proveedor: John Jairo Tobón
Meta-metadato	Contribuyente	Autor: John Jairo Tobón
	Fecha	Enero de 2014
	Esquema de Metadatos	LOMv1.0
Técnica	Formato	Imagen PNG
	Tamaño	54560
	Localización	<a href="http://images/falla/monofasica.png">http://images/falla/monofasica.png</a>
	Requerimientos	Tipo: Explorador Nombre: Cualquiera
Educativa	Tipo de interactividad	Expositiva
	Tipo de fuente de aprendizaje	Figura
	Nivel de interactividad	Muy baja
	Densidad Semántica	Alta

<b>Característica</b>	<b>Metadato</b>	<b>Valor</b>
	Uso destinado	Aprendizaje
	Contexto	Analistas
	Rango de edades típicas	18-50
	Dificultad	Baja
	Tiempo de aprendizaje	15 minutos
	Descripción	Análisis del tipo de falla monofásica
Derechos	Costo	No
	Derecho de copia	No
	Descripción	Análisis del tipo de falla monofásica
Relación	Es parte de	Identificador: Doc001 Descripción: Análisis de fallas en sistemas de potencia
	Es requerido por	Identificador: Doc001 Descripción: Análisis de fallas en sistemas de potencia
	Es referenciado por	Identificador: Doc001 Descripción: Análisis de fallas en sistemas de potencia
Anotación	John Jairo Tobón	La falla monofásica es un tipo de falla donde existe corriente de secuencia cero.
	Fecha	Julio de 2014
Clasificación	Tema	Tema 1
	Nivel	Básico UBA2

- **Estándar Dublin Core**

Estándar compuesto por 14 características (Dublin Core Metadata, 2007). A continuación se presentan en detalle las características definidas para el estándar:

1. *Título*: nombre dado al elemento.
2. *Palabras claves*: descriptores del tema.
3. *Descripción*: puede ser: tabla de contenido, resumen, descripción de grafica o texto.
4. *Fuente*: contiene referencias a recursos derivados.
5. *Lenguaje*: idioma en el cual se emite el recurso educativo.
6. *Relación*: contenido educativo relacionado.
7. *Autor*: persona u organización responsable de la creación del contenido.

8. *Editor*: responsable de la disponibilidad del recurso.
9. *Colaboradores*: posibles modificadores del recurso.
10. *Derechos*: característica relativa a la propiedad intelectual.
11. *Fecha*: elemento asociado con el momento de creación del recurso.
12. *Tipo*: características generales del recurso tales como: simulación, imagen, ejemplo.
13. *Formato*: relacionado con el software del recurso, por ejemplo: .pdf, .doc, .ppt.
14. *Identificador*: referencia el recurso en un contexto.

#### **4.3.2. TIPOS DE OBJETOS DE APRENDIZAJE PARA ANÁLISIS DE FALLAS**

Para el tema en particular del análisis de fallas en líneas de transmisión se pueden emplear diversos tipos de recursos educativos que faciliten el proceso de enseñanza – aprendizaje. Considerando lo indicado por (Ávila et ál, 2011) para desarrollar estos recursos digitales se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Al inicio del curso se puede emplear un video de motivación de máximo 5 minutos donde el facilitador presenta la importancia del entrenamiento, los temas que se van a trabajar, el sistema de evaluación y una motivación hacia el aprendizaje individualizado.
2. El contenido educativo puede estar compuesto de textos, imágenes que refuerzan la información, audios explicativos, animaciones que representan casos o situaciones relacionadas en la información, videos tutoriales que ayudan al estudiante a visualizar los pasos de un determinado proceso y juegos que permiten reforzar los temas de forma divertida.
3. El contenido educativo se integra utilizando estándares internacionales, lo que permite la ejecución, actualización y rastreo de las interacciones de los aprendices al ejecutarse en cualquier sistemas de gestión de aprendizaje.

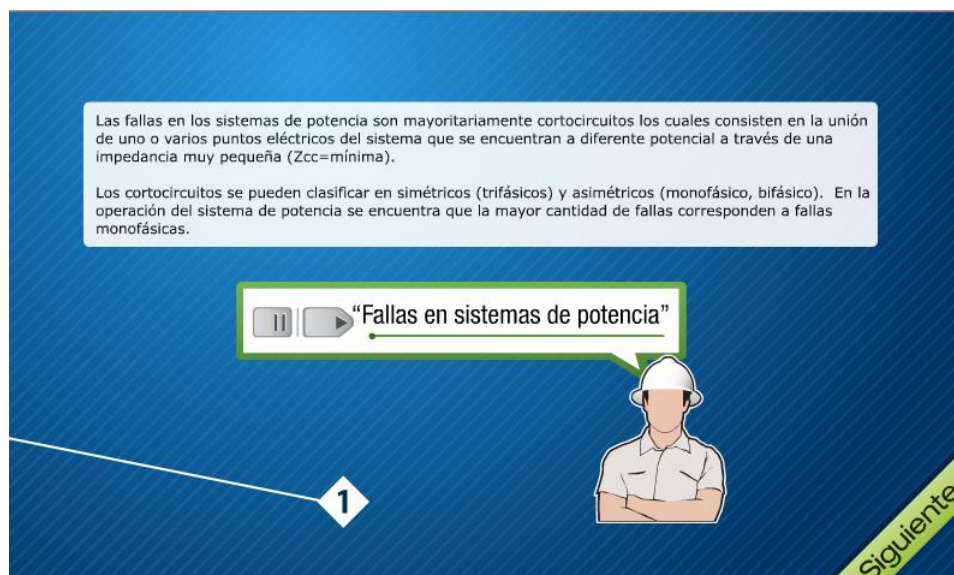
En definitiva, se debe atender siempre en cualquier programa de entrenamiento las necesidades concretas de los estudiantes y aportar diseños metodológicos que permitan desarrollar sus competencias.

A continuación se detallan algunos de los recursos digitales tomados de (Ávila et ál, 2011) que pueden ser empleados en el entrenamiento en análisis de fallas. Estos recursos se han diseñado para ser usados en diversas temáticas de entrenamiento como: análisis de protecciones en sistemas de potencia, análisis de transitorios, análisis de fallas en sistemas de transmisión, es decir, pueden ser reusables como se ha mencionado anteriormente.

### **RECURSOS DIGITALES EN AUDIO**

Los archivos de audio se pueden descargar desde una web para reproducir en el computador o dispositivo reproductor (MP3 y otros). Como objeto de aprendizaje es una posibilidad para que los estudiantes tengan acceso a otro tipo de aprendizaje distinto al texto en pantalla. En la figura siguiente se ilustra un archivo de audio aplicado al entrenamiento en análisis de fallas.

**Figura 12. Archivo de audio aplicado a los temas de análisis de fallas**



## **RECURSOS DIGITALES EN VIDEO**

Los archivos de video filmados en ambientes adecuados para la temática que se está desarrollando propician el aprendizaje como componente de interacción donde el estudiante puede apreciar al docente interactuando en un medio físico que le sea familiar. Estos videos deben ser de corta duración (del orden de minutos con un máximo de unos 8 minutos). Entre los contenidos en video se pueden destacar: los videos introductorios (facilitadores) y los videos tutoriales. En los videos introductorios el facilitador presenta los temas a tratar en la clase en forma breve y en los videos tutoriales se refuerza un tema visto mediante una simulación o realización de cálculos. A continuación se ilustra el archivo de video aplicado al análisis de fallas.

**Figura 13. Archivo de video introductorio aplicado al análisis de fallas**



## **OBJETOS DE APRENDIZAJE DINÁMICOS**

Esta clase de recursos resultan fundamentales en este tipo de enseñanza ya que permiten aprender haciendo, descubriendo y construyendo. En esencia se trata de la representación o presentación interactiva de un tema en el cual el estudiante puede interactuar de varias formas como: realizando cálculos e ingresando valores

o respondiendo preguntas, por ejemplo. Estos recursos facilitan el aprendizaje porque se muestra en forma práctica y con ejemplos un determinado tema junto con la posibilidad que tendrá de interactuar con la herramienta lo que le permitirá al estudiante consolidar y percibir, a un nivel mayor de profundización el conocimiento que fue impartido de una forma teórica,

En las siguientes figuras se presenta un ejemplo de estos objetos de aprendizaje aplicados al tema del análisis de fallas en líneas de transmisión.

**Figura 14. Objeto de aprendizaje aplicado al análisis de fallas paso 1**

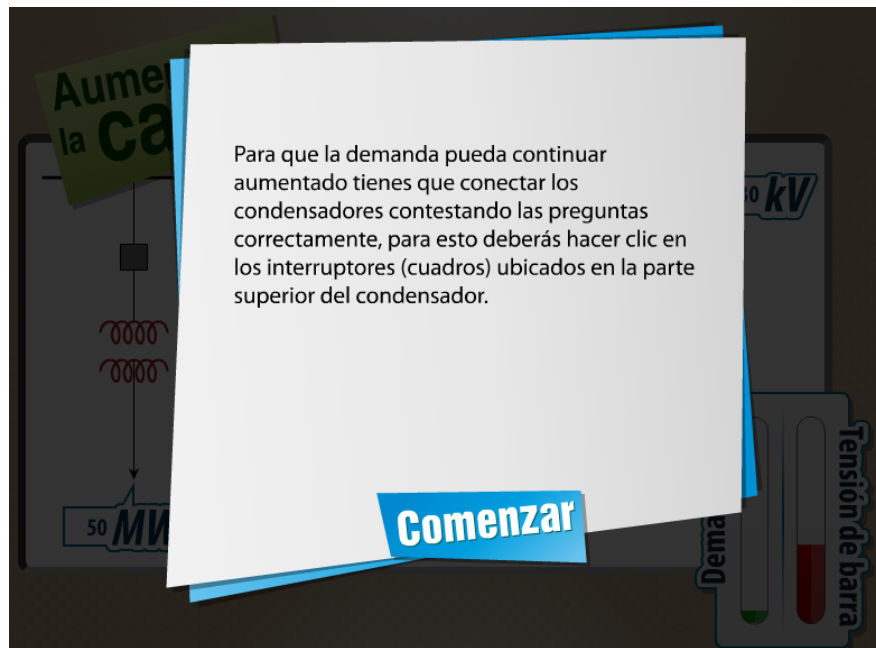




Figura 15. OA aplicado al análisis de fallas paso 2 condiciones iniciales

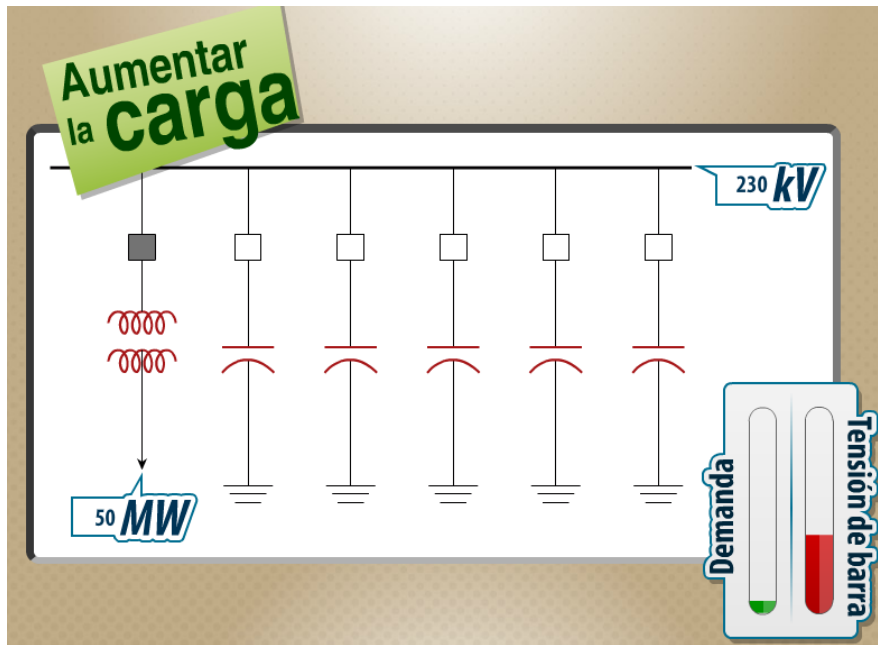


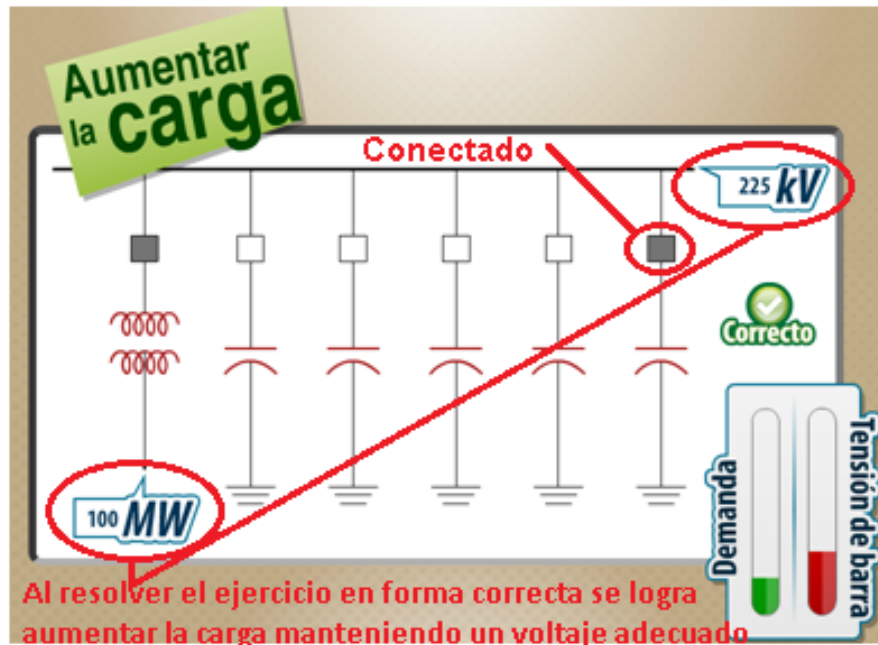
Figura 16. OA aplicado al análisis de fallas paso 3 ejercicio propuesto

**Pregunta**

Se presenta una falla monofásica fase B a tierra con corriente de fase  $I_B=1500A$  y corriente de neutro  $I_0=1450A$ . Estimar el tiempo de operación para un relé de sobrecorriente de neutro ajustado con un dial de 0.5 y corriente de arranque  $I_{ajuste}=145A$ . Recordar que la ecuación característica es:  $t(s)=13.5 \cdot Dial / ((I_{falla}/I_{ajuste})^{1-1})$ .

- El tiempo de operación es 450milisegundos.
- El tiempo de operación es 150milisegundos.
- El tiempo de operación es 750milisegundos.

Figura 17. OA aplicado al análisis de fallas paso 4 respuesta 5 correcta



#### 4.3.3. ALMACENAMIENTO DE LOS OBJETOS DE APRENDIZAJE

Para facilitar la aplicación de los diferentes objetos de aprendizaje en el proceso de enseñanza y aprovechar de esta forma las características que ellos poseen como la reusabilidad, es importante llevar a cabo un proceso de almacenamiento de los OA en fuentes conocidas como repositorios que permitan su clasificación y posterior localización para ser usados.

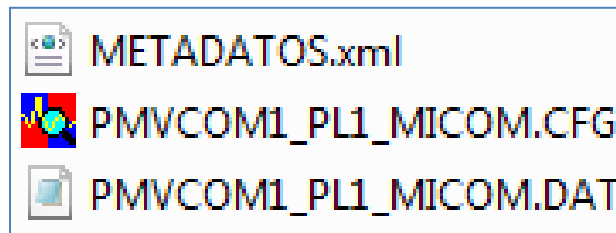
El almacenamiento de los OA en los repositorios de objetos de aprendizaje debe ser tal que permita entre otras posibilidades, compartirlos con otras aplicaciones y facilitar su mantenimiento (correcciones, complementaciones, etc).

El almacenamiento digital de estos recursos educativos se realiza mediante los estándares para metadatos definidos y que fueron analizados en el capítulo anterior. De acuerdo con (Downes, 2004) se pueden considerar dos tipos de repositorios de OA tal como se presenta a continuación.

- **Repositorios con contenidos y metadatos:** en este tipo de repositorio los contenidos educativos se encuentran ubicados en el mismo sistema con sus respectivos elementos característicos.
- **Repositorios solo con metadatos:** este tipo de repositorio contiene solamente las características y los contenidos educativos se encuentran ubicados en otro sistema y se accede a ellos mediante un enlace.

En la figura siguiente se presenta un ejemplo de almacenamiento de archivos COMTRADE (archivos de fallas) con los metadatos que lo caracterizan. Para representar los metadatos se pueden emplear lenguajes como XML *eXtended Markup Language*, muy usado para este tipo de aplicaciones.

**Figura 18. Ejemplo de almacenamiento de OA's con metadatos**



#### **4.3.4. CARACTERIZACIÓN DE REGISTROS DE FALLAS REALES Y SIMULACIONES EN ATP**

Como parte del modelado del conocimiento se plantea realizar caracterización de registros de fallas reales tomadas de archivos COMTRADE (formato aplicado a archivos de falla) y su modelamiento y simulación empleando el programa ATP.

Empleando archivos COMTRADE de fallas reales tomados de registradores de fallas o relés de protección, se sintonizan estos casos en un programa de transitorios como el ATP para realizar simulación. Con estos archivos se plantea la creación de una base de casos de estudio.

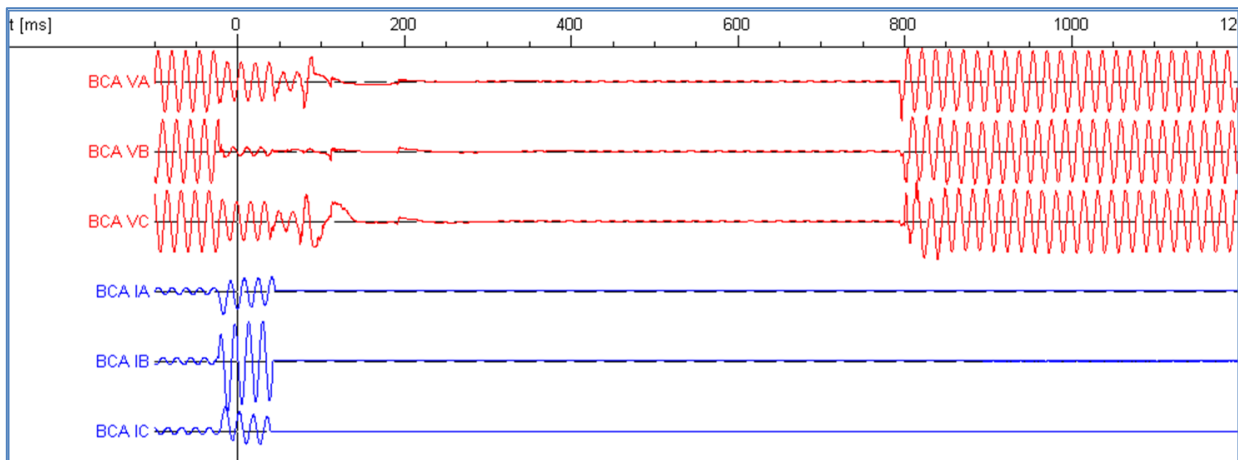
## 1. CARACTERIZACIÓN DE REGISTROS DE FALLAS REALES

A continuación se ilustra la metodología para caracterizar una falla real del sistema eléctrico colombiano.

- **Descripción de falla en el sistema colombiano**

La perturbación consiste de un recierre trifásico del circuito Barranca - Comuneros 230 kV con 168 MW, con operación de sus protecciones principales. La falla se localizó a 3.82km desde la subestación Comuneros de acuerdo con el registrador de fallas Indactic.

**Figura 19. Registro de la falla real tomado de RdF línea Barranca – Comuneros 230kV**



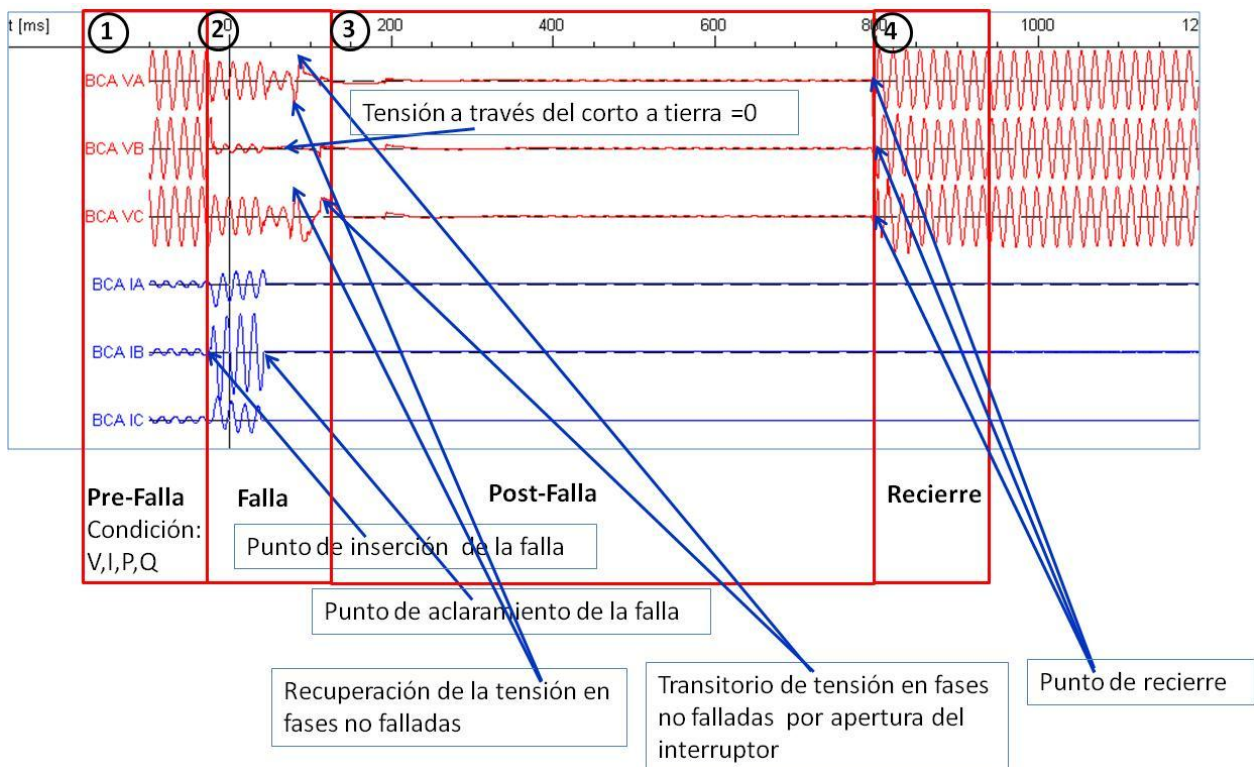
De acuerdo con los registros, a pesar de que el disparo de las protecciones fue trifásico, la falla es monofásica, aunque se observa que las tensiones en las tres fases disminuyen y las corrientes aumentan tal como debería ser el comportamiento de una falla trifásica.

- **Metodología de caracterización propuesta**

Con la finalidad de caracterizar el fenómeno, se divide el evento en etapas tales como: pre-falla, falla, post-falla y recierre de tal forma que en cada etapa se pueda indagar al estudiante mediante la realización de preguntas y diagnosticarlo de acuerdo con sus respuestas.

Para dividir el evento en etapas de análisis es posible emplear el modelo desarrollado por (Calderón, 2007) elaborado para ISA el cual está basado en redes neuronales para procesar registros oscilográficos de fallas (reales y simuladas) obteniendo información de la falla tales como: etapas (prefalla, falla, postfalla), fase fallada, etc. Con el archivo de falla procesado por el sistema experto antes mencionado, se procede a aplicar el modelo de preguntas y respuestas con caracterización de errores que se describe a continuación.

**Figura 20. Registro de la falla real caracterizado por etapas**



**ETAPA 1: Calcular valores rms**

**PREGUNTA:** Calcular la tensión  $V$  de la fase B en valor rms fase-tierra del registro.

**Respuestas posibles:**

a)  kV

**Respuesta:** **CORRECTO**

**Realimentación:** **La respuesta es correcta.**

b)  kV (VL)

**Respuesta:** **INCORRECTO** (Error1: Considera el voltaje de línea)

**Realimentación:** **Recordar que el voltaje de fase corresponde al voltaje de línea dividido por  $\sqrt{3}$ . (Ver tema de sistema trifásico).**

c)  KV (VL pico)

**Respuesta:** **INCORRECTO** (Error2: Considera el valor pico)

**Realimentación:** **Recordar que el voltaje en valor rms corresponde al voltaje pico sobre  $\sqrt{2}$ . (Ver tema conceptos básicos de circuitos).**

**ETAPA 2: Determinar el tipo de falla**

**PREGUNTA:** Indicar cuál es el tipo de la falla.

**Respuestas posibles:**

a)  (Tensión de recuperación en A-C)

**Respuesta:** **INCORRECTO** (Error3: Considera falladas las fases A y C)

**Realimentación:** **Observar en el registro que en las fases A y C los voltajes se recuperan después de la apertura del interruptor. (Ver tema análisis transitorios descarga de condensadores).**

b)

**Respuesta: CORRECTO**

**Realimentación: La respuesta es correcta.**

c)  **(Solo la VB es cero)**

**Respuesta: INCORRECTO (Error4: Considera tensión cero en dos fases)**

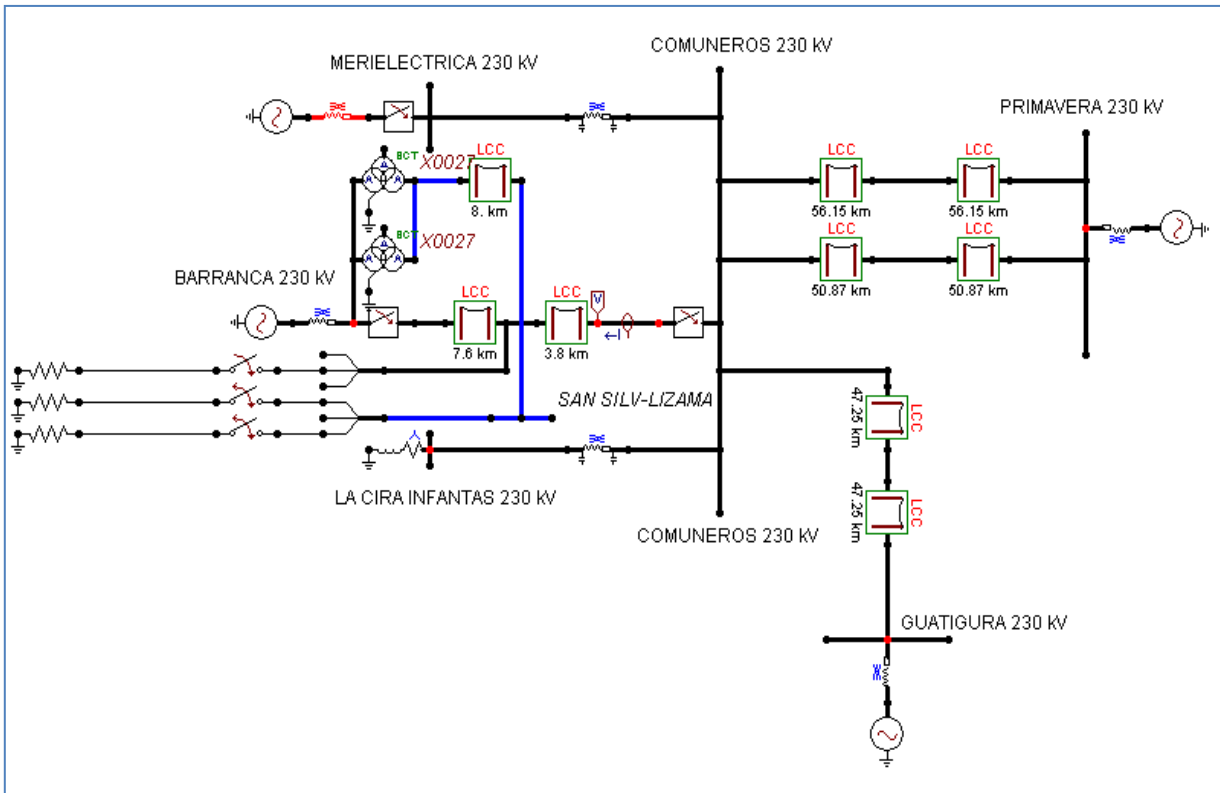
**Realimentación: Observar en el registro que solamente la tensión de la fase B es cero al momento del despeje de la falla. (Ver tema análisis de falla monofásica).**

Y así sucesivamente se modelan todas las etapas del registro y se aplica un sistema experto basado en reglas para codificarlo, modelando los errores correspondientes que se podrían cometer en cada etapa: error1, error2, error3, etc tal como se propuso para el modelo de evaluación y diagnóstico.

## **2. CREACIÓN DE BASE DE CASOS DE ESTUDIO EMPLEANDO EL PROGRAMA ATP**

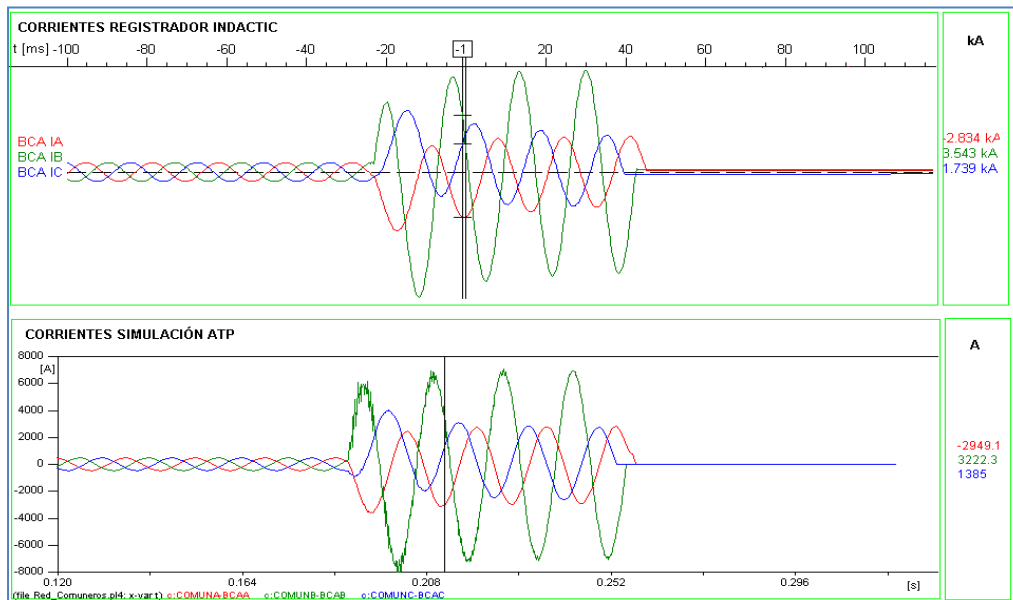
Para el análisis de fallas especiales que generan dudas en sus características, como intercircuito, multicircuito, etc, se procede a simular el caso real empleando el programa ATP sintonizando el evento al escenario del sistema al momento del evento hasta obtener las condiciones (tensiones y corrientes) tanto de prefalla como de falla. Técnicas similares a la que se propone se emplean internacionalmente para realizar análisis de fallas con modelamiento del sistema de potencia para detallar los fenómenos que se presentan durante una perturbación tal como lo ilustra (Mohamed, 2012) en el libro “*Disturbance Analysis for Power Systems*”. A continuación se presenta la metodología planteada para la falla de la Figura 19 (Falla en línea Barranca – Comuneros 230kV).

**Figura 21. Modelo para simulación de la falla en ATP**



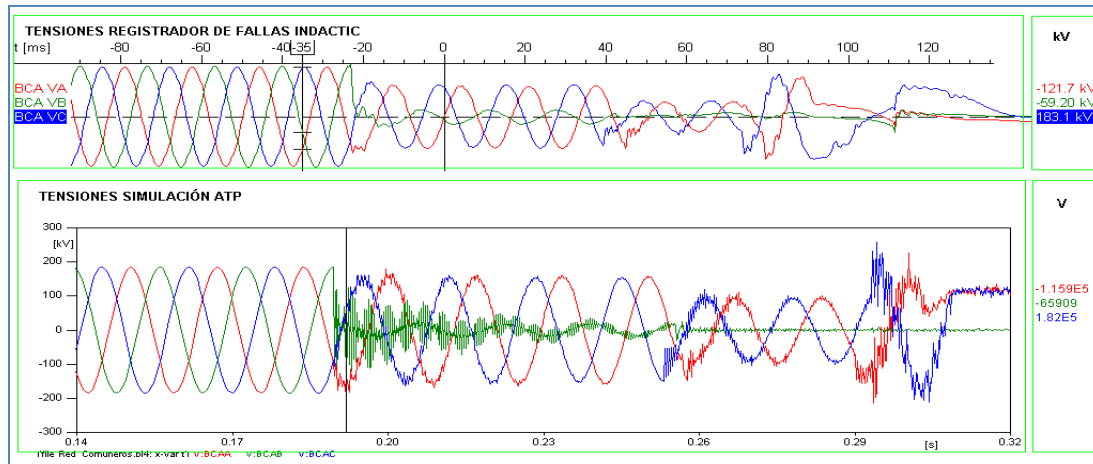
Los resultados de las simulaciones se ilustran a continuación.

**Figura 22. Corrientes reales y simuladas**





**Figura 23. Tensiones reales y simuladas**



Finalmente con las simulaciones realizadas se comparan ambos archivos, real y simulado, los cuales deben ser similares por lo tanto de esta forma se pretende tener cierto control de la falla real a partir de la falla simulada modificando las condiciones de la misma lo que permitirá explicar diversos conceptos asociados al análisis de perturbaciones. Por ejemplo, para este caso se puede ejemplificar como esta falla que inicialmente parecía trifásica, realmente fue monofásica en el sistema de 230kV simultánea con una falla multifásica en una línea de 115kV cercana en el punto de ocurrencia de la falla. Esta situación se puede ilustrar fácilmente empleando el caso simulado y realizando las variaciones que considere el docente.

Los archivos de simulación (con extensión *.acp*) se guardan en un repositorio de casos de estudio de tal forma que puedan ser empleados por el docente como material de apoyo para reforzar determinados conceptos durante el proceso de entrenamiento.

#### **4.4. MODELO DEL ESTUDIANTE PROPUESTO**

El modelo del estudiante permite al STI administrar la información del alumno en forma individualizada a través de su historial de evaluaciones, objetivos

alcanzados y errores cometidos de tal forma que, pueda plantearle posibles alternativas que le sirvan de ayuda en su proceso de formación.

Para adelantar el proceso de optimización en la formación del estudiante, el modelo requiere de ciertas entradas que son tomadas del sistema de evaluación para conocer su nivel de aprendizaje y su comportamiento observado al resolver los ejercicios mediante los errores que el estudiante ha cometido (seguimiento de errores).

Considerando la afirmación de (Jiménez, 2006) el modelo del estudiante representa el estado actual de un aprendiz, pero puede ser también un modelo de simulación, que describa los procesos por los cuales el alumno recoge información sobre un problema y realiza afirmaciones.

Existen diferentes tipos de modelos de estudiantes (Millán, 2000) entre los cuales se resaltan los siguientes:

1. *Modelo de perturbación*: modela el estudiante en términos del conocimiento experto correcto e incorrecto. Para aplicarlo se puede modelar el conocimiento o la evaluación adicionando los errores más frecuentemente cometidos por los estudiantes.
2. *Modelo basado en restricciones*: Se modela el conocimiento mediante un conjunto de problemas acompañados de restricciones y para el estudiante se verifican las restricciones violadas al momento de tratar de dar solución a los problemas planteados.

Para diagnosticar al estudiante es muy útil el modelo basado en la caracterización de errores ya que no solo se identifica lo que sabe el estudiante acerca del conocimiento presentado sino que permite ayudarlo a identificar sus propias fallas por lo cual se observa que tiene mayor valor agregado desde el punto de vista de enseñanza-aprendizaje.

Finalmente, para el estudiante en el presente trabajo se propone un modelo sencillo que pueda brindarle ciertas ayudas desde el STI para realizar una formación con cierto grado de autonomía. Se considerarán en el modelo los errores caracterizados durante la etapa de evaluación y diagnóstico para construir un sistema de ayuda al estudiante.

#### **4.4.1. CATEGORIZACIÓN DEL ESTUDIANTE**

Como parte del modelo del estudiante y con la finalidad de realizar un seguimiento dinámico en su proceso de formación, se propone asignar a cada estudiante una categoría dependiendo de su rendimiento. Las categorías se tomarán de acuerdo con los resultados de las evaluaciones aplicadas en los diferentes temas de la siguiente manera:

1. *Estándar*: corresponde al estudiante con rendimiento desde 0% hasta 60%.
2. *Competente*: corresponde al estudiante con rendimiento desde 61% hasta 80%.
3. *Experto*: corresponde al estudiante con rendimiento desde 81% hasta 100%.

#### ***Ejemplo de aplicación:***

Partiendo de un estado inicial del estudiante, a medida que alcanza objetivos instruccionales, el sistema replanifica los temas habilitando nuevas actividades. A medida que se aprueban objetivos instruccionales, el estudiante puede avanzar entre niveles.

**Estado inicial:** Estudiantes que inician su proceso de aprendizaje. No tienen objetivos instruccionales (OI) aprobados.

<i>ESTUDIANTE</i>	<i>CURSO</i>	<i>UBA</i>	<i>TEMA</i>	<i>OI</i>	<i>APROBADO</i>	<i>CURSADO</i>	<i>DISPONIBLE</i>
1	BASICO	1	1	1	0	0	1
1	BASICO	1	2	1	0	0	1
1	BASICO	1	3	1	0	0	0
1	BASICO	1	4	1	0	0	0
1	BASICO	1	5	1	0	0	1
1	BASICO	2	1	1	0	0	0
1	BASICO	2	2	1	0	0	0
1	BASICO	2	3	1	0	0	0
1	BASICO	2	4	1	0	0	1
1	BASICO	2	5	1	0	0	1
1	BASICO	2	6	1	0	0	0
2	BASICO	1	1	1	0	0	1
2	BASICO	1	2	1	0	0	1
2	BASICO	1	3	1	0	0	0
2	BASICO	1	4	1	0	0	0
2	BASICO	1	5	1	0	0	1
2	BASICO	2	1	1	0	0	0
2	BASICO	2	2	1	0	0	0
2	BASICO	2	3	1	0	0	0
2	BASICO	2	4	1	0	0	1
2	BASICO	2	5	1	0	0	1
2	BASICO	2	6	1	0	0	0

**Estado intermedio:** El sistema realiza seguimiento a la formación de los estudiantes mediante la verificación de objetivos aprobados y replanificación de actividades.

<i>ESTUDIANTE</i>	<i>CURSO</i>	<i>UBA</i>	<i>TEMA</i>	<i>OI</i>	<i>APROBADO</i>	<i>CURSADO</i>	<i>DISPONIBLE</i>
1	BASICO	1	1	1	1	1	1
1	BASICO	1	2	1	1	1	1
1	BASICO	1	3	1	0	0	1
1	BASICO	1	4	1	0	0	0
1	BASICO	1	5	1	1	1	1
1	BASICO	2	1	1	0	0	1
1	BASICO	2	2	1	0	0	1
1	BASICO	2	3	1	0	0	1
1	BASICO	2	4	1	0	0	1
1	BASICO	2	5	1	0	0	1
1	BASICO	2	6	1	0	0	0

**Asignación de nivel:** Como parte del seguimiento el sistema debe asignar un nivel para cada estudiante de acuerdo con las calificaciones de los objetivos logrados.

<i>ESTUDIANTE</i>	<i>OI</i>	<i>APROBADO</i>	<i>CALIFICACION</i>	<i>PONDERADO</i>	<i>NIVEL</i>
1	1	1	80	76,7	COMPETENTE
1	1	1	60		
1	1	0	0		
1	1	0	0		
1	1	1	90		
1	1	0	0		
1	1	0	0		
1	1	0	0		
1	1	0	0		
1	1	0	0		
1	1	0	0		
1	1	0	0		

#### **4.4.2. RAZONAMIENTO BASADO EN CASOS APLICADO AL ESTUDIANTE**

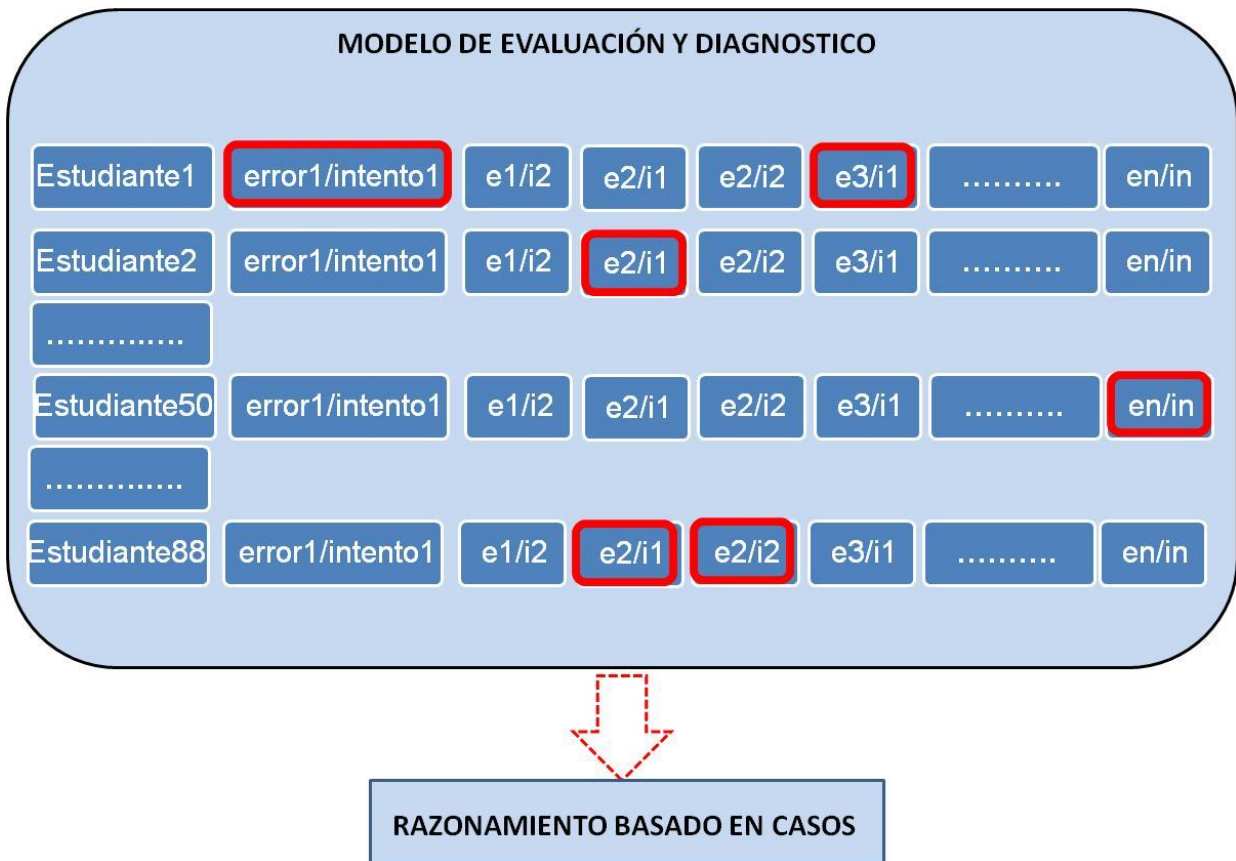
Uno de los objetivos del modelo del estudiante es brindarle al aprendiz ayudas en su proceso de formación. Para cumplir este objetivo se emplea el sistema experto conocido como razonamiento basado en casos cuyo funcionamiento fue analizado en capítulos precedentes.

El razonamiento basado en casos se aplica de la siguiente manera: se tienen unas evaluaciones en las cuales se han modelado los posibles errores que puede cometer un estudiante al tratar de resolver los ejercicios propuestos. Cada error que comete un estudiante es almacenado por el STI al igual que el respectivo intento en el cual se cometió el error es guardado en una base de datos conocida como casos del razonamiento basado en casos. El razonamiento basado en casos requiere de un sistema de características (pesos) que le permitan determinar las semejanzas entre casos, en esta propuesta, la característica de semejanza es única y corresponde al tipo de error cometido y el número de intento lo cual facilita su aplicación. La base de casos es actualizada por el sistema internamente en un ciclo cerrado (sin mediación de un agente externo). Cada vez que un estudiante comete un error y el siguiente intento es válido, el sistema lo debe reconocer como exitoso almacenándolo en la base de casos.

**Ejemplo de funcionamiento del razonamiento basado en casos aplicado al estudiante:**

En el siguiente ejemplo se observa como el estudiante1 ha cometido dos errores: el error1 en el intento1 y el error3 en el intento1. El estudiante2 solo ha cometido el error2 en el intento1 y luego del fallo el siguiente intento fue exitoso. Los errores cometidos por cada estudiante que en el siguiente intento sean válidos son almacenados en la base de casos como exitosos.

**Figura 24. Ejemplo de razonamiento basado en casos**

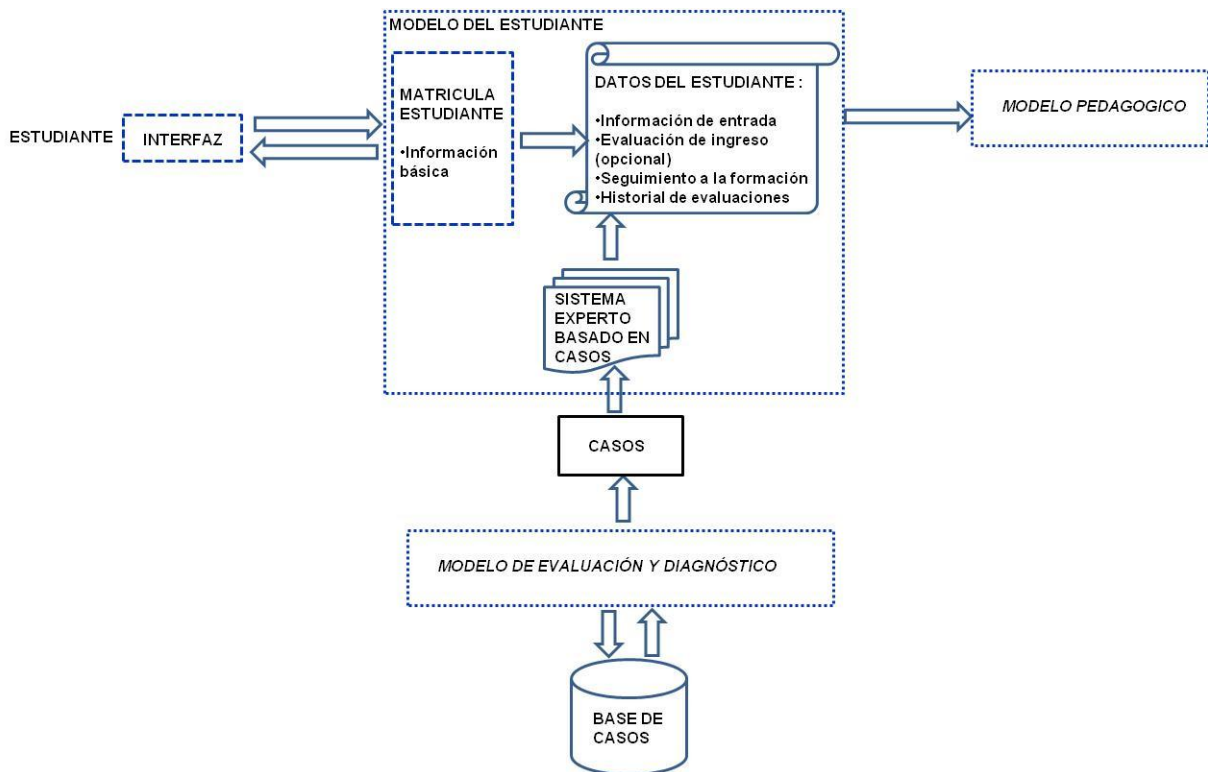


El estudiante88 también ha cometido el error2 en el intento1 y el STI inicialmente lo realimenta pero en su segundo intento vuelve a cometer el mismo error, este segundo fallo da inicio al sistema de razonamiento basado en casos el cual toma al estudiante2 de la base de datos como el caso más semejante y mediante la

interfaz le indica al estudiante88 cual compañero del curso cometió el mismo error que él está cometiendo pero lo pudo solucionar, por lo cual este estudiante identificado por el sistema es el más adecuado para ayudarlo a resolver correctamente el ejercicio. Lo anterior pretende que la mayor cantidad de dificultades sean resueltas entre los mismos estudiantes antes de escalar la problemática a un tutor, lo cual para el caso de una empresa es muy complejo por el tiempo de dedicación de los expertos.

Finalmente, en la siguiente figura se presenta el diseño del modelo del estudiante propuesto.

**Figura 25. Diseño del modelo del estudiante**



#### **4.5. MODELO FINAL BASADO EN STI PARA EL ENTRENAMIENTO**

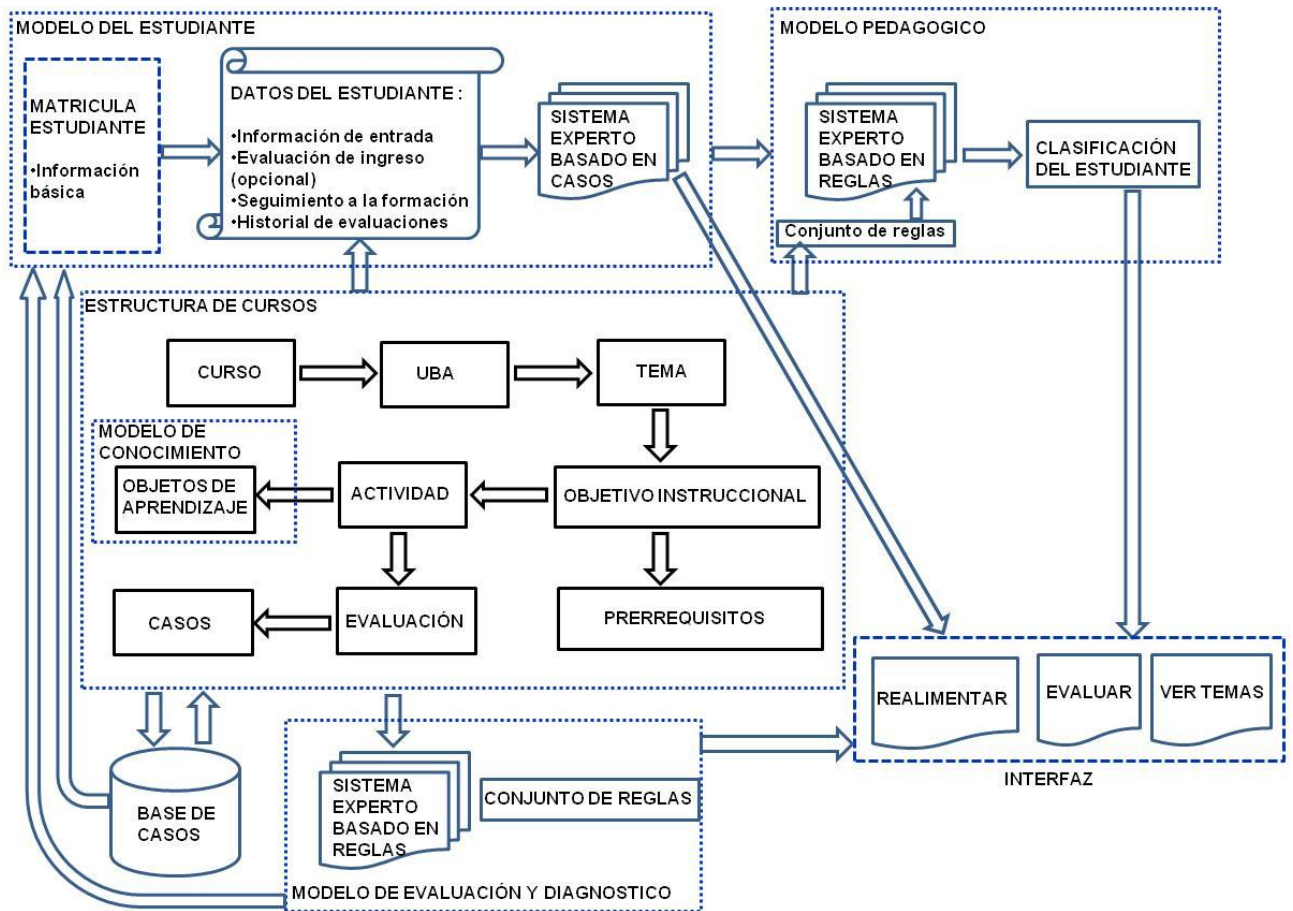
El modelo final basado en STI propuesto en este trabajo presenta los siguientes fundamentos:

- ❖ Un modelo pedagógico que ubica al estudiante en la estructura didáctica siguiendo un conjunto de reglas.
- ❖ Un modelo de evaluación y diagnóstico basado en la modelación de errores que permitan realizar una realimentación efectiva.
- ❖ Un modelo del conocimiento mediante objetos de aprendizaje y con caracterización de fallas reales y simuladas.
- ❖ Un modelo del estudiante con ubicación dinámica del nivel del aprendiz y seguimiento de errores que permitan brindar soporte para el caso de errores recurrentes.

El modelo final basado en STI se resume en la figura siguiente.



**Figura 26. Modelo final basado en STI para entrenamiento**



En la figura a continuación se presenta una propuesta para implementación del modelo basado en STI con los siguientes componentes:

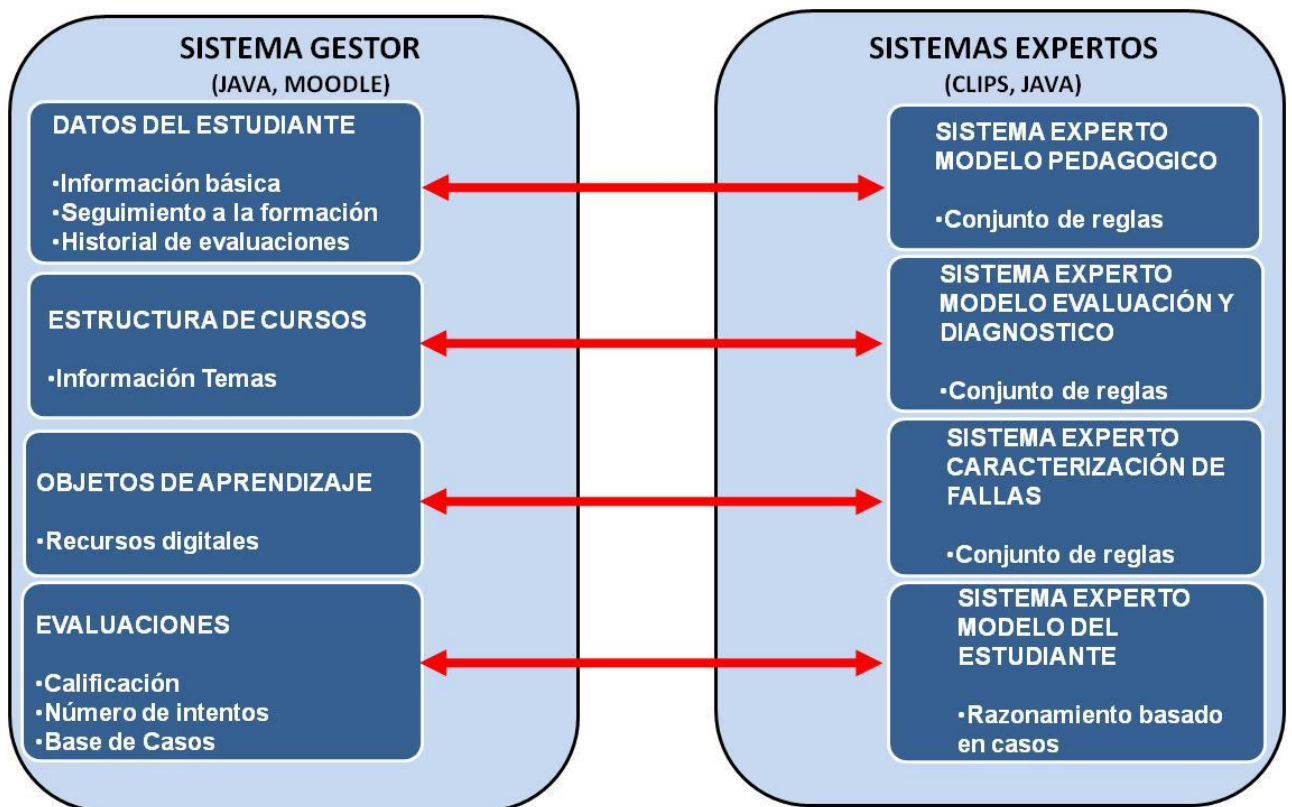
- **Sistema gestor:** el sistema gestor puede implementarse mediante herramientas como Java o Moodle y podría contener la información del estudiante, historial de evaluaciones, calificaciones, los objetos de aprendizaje, contenidos, etc.
- **Sistemas expertos:** cada modelo se implementa con un sistema experto el cual puede desarrollarse mediante software propio de este tipo de sistemas, como por ejemplo CLIPS. CLIPS (C Language Integrated Production System) es una herramienta para el desarrollo de sistemas expertos creada

para la NASA en la década de los años 80's. Se diseñó para facilitar el desarrollo de software que modele el conocimiento humano basado en reglas y objetos (CLIPS Reference Manual, 2008). Una ventaja importante de CLIPS es que puede ser invocado como sub-rutina e integrado con lenguajes como Java, C, FORTRAN.

El sistema experto también puede ser implementado mediante uso de herramientas como por ejemplo JESS que es una extensión Java de CLIPS.

Los sistemas gestor y experto interactúan tomando y entregando información.

**Figura 27. Implementación del modelo final basado en STI**



## 5. APLICACIÓN MODELO PROPUESTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan la aplicación del modelo propuesto para entrenamiento basado en sistemas tutoriales inteligentes (STI) y el análisis de resultados.

### 5.1. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS EXPERTOS AL MODELO STI

Empleando lenguaje CLIPS se construye el sistema experto que ubica al estudiante en la estructura didáctica. Esta aplicación se realiza con base en la información presentada en la Tabla 2. El sistema se ejecuta cada vez que el estudiante inicia una sesión o realiza una actividad de evaluación.

1. *Definición de las variables: se consideran los identificadores descritos en la Tabla 2.*

```
; =====  
; CLIPS para realizar un sistema experto que ubica un estudiante en una estructura didactica de un STI  
; =====  
  
(deftemplate datos  
(slot nombre))  
  
(deffacts identificacion-datos  
(datos (nombre OI1_T1_UBA1))  
(datos (nombre OI1_T2_UBA1))  
(datos (nombre OI1_T3_UBA1))  
(datos (nombre OI1_T4_UBA1))  
(datos (nombre OI1_T5_UBA1))  
(datos (nombre OI1_T1_UBA2))  
(datos (nombre OI1_T2_UBA2))  
(datos (nombre OI1_T3_UBA2))  
(datos (nombre OI1_T4_UBA2))  
(datos (nombre OI1_T5_UBA2))  
(datos (nombre A1_OI1_T1_UBA1))  
(datos (nombre A2_OI1_T1_UBA1))  
(datos (nombre A1_OI1_T2_UBA1))  
(datos (nombre A2_OI1_T2_UBA1))  
(datos (nombre A1_OI1_T3_UBA1))  
(datos (nombre A2_OI1_T3_UBA1))  
(datos (nombre A1_OI1_T4_UBA1))  
(datos (nombre A2_OI1_T4_UBA1))  
(datos (nombre A1_OI1_T5_UBA1))  
(datos (nombre A2_OI1_T5_UBA1))  
(datos (nombre A1_OI1_T1_UBA2))  
(datos (nombre A2_OI1_T1_UBA2))  
(datos (nombre A1_OI1_T2_UBA2))  
(datos (nombre A2_OI1_T2_UBA2))  
(datos (nombre A1_OI1_T3_UBA2))  
(datos (nombre A2_OI1_T3_UBA2))  
(datos (nombre A1_OI1_T4_UBA2))  
(datos (nombre A2_OI1_T4_UBA2))  
(datos (nombre A1_OI1_T5_UBA2))  
(datos (nombre A2_OI1_T5_UBA2)))
```

2. *Definición de los rangos de calificación: con calificación superior al 60% se aprueba la actividad de evaluación logrando el objetivo instruccional correspondiente.*

```

; =====
; Validación cumplimiento de los prerequisites
; =====

(deftemplate rangos
(slot nombre)
(slot minimo)
(slot maximo))

(deffacts rangos-de-calificacion
(rangos (nombre OI1_T1_UBA1) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T2_UBA1) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T3_UBA1) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T4_UBA1) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T5_UBA1) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T1_UBA2) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T2_UBA2) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T3_UBA2) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T4_UBA2) (minimo 60)
(maximo 100))
(rangos (nombre OI1_T5_UBA2) (minimo 60)
(maximo 100))
)

```

```

(deftemplate valores
(slot valor)
(slot valor-actual)
(slot OI1_T1_UBA1)
(slot OI1_T2_UBA1)
(slot OI1_T3_UBA1)
(slot OI1_T4_UBA1)
(slot OI1_T5_UBA1)
(slot OI1_T1_UBA2)
(slot OI1_T2_UBA2)
(slot OI1_T3_UBA2)
(slot OI1_T4_UBA2)
(slot OI1_T5_UBA2)
(slot A2_OI1_T1_UBA1)
(slot A2_OI1_T2_UBA1)
(slot A2_OI1_T3_UBA1)
(slot A2_OI1_T4_UBA1)
(slot A2_OI1_T5_UBA1)
(slot A2_OI1_T1_UBA2)
(slot A2_OI1_T2_UBA2)
(slot A2_OI1_T3_UBA2)
(slot A2_OI1_T4_UBA2)
(slot A2_OI1_T5_UBA2)
)

(deftemplate valor-actual
(slot nombre)
(slot valor)
)

```

3. *Condición actual: El sistema experto toma del sistema gestor el estado actual del estudiante, es decir, temas cursados y calificaciones obtenidas en las actividades de evaluación ejecutadas por el estudiante.*

```

; =====
; Se obtienen los estados de los objetivos cursados
; =====

(defacts identificacion-objetivos
(valor-actual (nombre OI1_T1_UBA1) (valor 80))
(valor-actual (nombre OI1_T2_UBA1) (valor 60))
(valor-actual (nombre OI1_T3_UBA1) (valor 0))
(valor-actual (nombre OI1_T4_UBA1) (valor 0))
(valor-actual (nombre OI1_T5_UBA1) (valor 90))
(valor-actual (nombre OI1_T1_UBA2) (valor 0))
(valor-actual (nombre OI1_T2_UBA2) (valor 0))
(valor-actual (nombre OI1_T3_UBA2) (valor 0))
(valor-actual (nombre OI1_T4_UBA2) (valor 0))
(valor-actual (nombre OI1_T5_UBA2) (valor 0))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T1_UBA1) (valor CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T2_UBA1) (valor CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T3_UBA1) (valor NO_CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T4_UBA1) (valor NO_CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T5_UBA1) (valor CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T1_UBA2) (valor NO_CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T2_UBA2) (valor NO_CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T3_UBA2) (valor NO_CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T4_UBA2) (valor NO_CURSADO))
(valor-actual (nombre A2_OI1_T5_UBA2) (valor NO_CURSADO))
)

```

4. *El sistema identifica la nueva condición: El sistema experto determina para cada estudiante los objetivos instruccionales alcanzados.*

```

; =====
; Se verifica la condicion actual de los objetivos
; =====

(defrule Verificacion_Objetivos_Instruccionales
(valor-actual (nombre ?nombre&:(or (eq ?nombre OI1_T1_UBA1) (eq ?nombre OI1_T2_UBA1)
(eq ?nombre OI1_T3_UBA1) (eq ?nombre OI1_T4_UBA1) (eq ?nombre OI1_T5_UBA1) (eq ?nombre OI1_T1_UBA2)
(eq ?nombre OI1_T2_UBA2) (eq ?nombre OI1_T3_UBA2) (eq ?nombre OI1_T4_UBA2) (eq ?nombre OI1_T5_UBA2))))
(valor ?valor))
(rangos (nombre ?nombre) (minimo ?v1) (maximo ?v2))
=>
(if (and (>= ?valor ?v1) (< ?valor ?v2)) then
(assert (APROBADO ?nombre))
else
(assert (NO_APROBADO ?nombre))
)
)

(defrule Verificacion_Actividades_Cursadas
(valor-actual (nombre ?nombre&:(or (eq ?nombre A2_OI1_T1_UBA1) (eq ?nombre A2_OI1_T2_UBA1)
(eq ?nombre A2_OI1_T3_UBA1) (eq ?nombre A2_OI1_T4_UBA1) (eq ?nombre A2_OI1_T5_UBA1)
(eq ?nombre A2_OI1_T1_UBA2) (eq ?nombre A2_OI1_T2_UBA2) (eq ?nombre A2_OI1_T3_UBA2)
(eq ?nombre A2_OI1_T4_UBA2) (eq ?nombre A2_OI1_T5_UBA2)))) (valor ?valor))
=>
(if (eq ?valor CURSADO) then
(assert (EJECUTADA ?nombre))
else
(assert (NO_EJECUTADA ?nombre))
)
)

```

5. *Validación de prerequisites: El sistema verifica los prerequisites cumplidos replanificando los temas nuevos que puede ver el estudiante. Esta información es enviada al sistema gestor de contenidos el cual le habilita al estudiante los temas que puede cursar.*

```
=====
; Se validan los prerequisites
=====

defrule ver_tema1_uba1
(NO_APROBADO OI1_T1_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T1_UBA1)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA1_UBA1))
)
defrule ver_tema2_uba1
(NO_APROBADO OI1_T2_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T2_UBA1)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA2_UBA1))
)
(defrule ver_tema3_uba1
(APROBADO OI1_T2_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T3_UBA1)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA3_UBA1))
)
(defrule ver_tema4_uba1
(APROBADO OI1_T3_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T4_UBA1)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA4_UBA1))
)
(defrule ver_tema5_uba1
(NO_APROBADO OI1_T5_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T5_UBA1)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA5_UBA1))
)
}
```

```
(defrule ver_tema1_uba2
(APROBADO OI1_T5_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T1_UBA2)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA1_UBA2))
)
(defrule ver_tema2_uba2
(APROBADO OI1_T5_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T2_UBA2)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA2_UBA2))
)
(defrule ver_tema3_uba2
(APROBADO OI1_T5_UBA1) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T3_UBA2)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA3_UBA2))
)
(defrule ver_tema4_uba2
(NO_APROBADO OI1_T4_UBA2) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T4_UBA2)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA4_UBA2))
)
(defrule ver_tema5_uba2
(NO_APROBADO OI1_T5_UBA2) (NO_EJECUTADA A2_OI1_T5_UBA2)
=>
(assert (PUEDE_VER_TEMA5_UBA2))
)
}
```

## 5.2. RESULTADOS EJECUCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO MODELADO

Para verificar el funcionamiento de las instrucciones programadas, se aplica a un estudiante con las siguientes características:

**Tabla 4 Características de estudiante para aplicación de modelo**

<b>UBA cursada</b>	<b>Tema cursado</b>	<b>Actividades ejecutadas</b>	<b>Calificación Obtenida %</b>	<b>Objetivos alcanzados</b>
UBA1	Tema1 (T1)	A1_OI1_T1_UBA1	80	OI1_T1_UBA1
		A2_OI1_T1_UBA1		
UBA1	Tema2 (T2)	A1_OI1_T2_UBA1	60	OI1_T2_UBA1
		A2_OI1_T2_UBA1		
UBA1	Tema5 (T5)	A1_OI1_T5_UBA1	90	OI1_T5_UBA1
		A2_OI1_T5_UBA1		

De acuerdo con la información de la Tabla 2 y el diagrama de implementación del curso básico de la Figura 7, este estudiante podría cursar el tema 3 de la UBA1 y los temas 1 a 3 de la UBA2. Adicionalmente este estudiante podría acceder también a los temas 4 y 5 de la UBA2 dado que estos cursos no tienen prerrequisitos.

Luego de correr el caso en CLIPS, los resultados se presentan a continuación.

```

CLIPS> (run)
FIRE 1 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-60
==> f-61 (NO_EJECUTADA A2_OI1_T5_UBA2)
FIRE 2 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-59
==> f-62 (NO_EJECUTADA A2_OI1_T4_UBA2)
FIRE 3 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-58
==> f-63 (NO_EJECUTADA A2_OI1_T3_UBA2)
FIRE 4 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-57
==> f-64 (NO_EJECUTADA A2_OI1_T2_UBA2)
FIRE 5 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-56
==> f-65 (NO_EJECUTADA A2_OI1_T1_UBA2)
FIRE 6 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-55
==> f-66 (EJECUTADA A2_OI1_T5_UBA1)
FIRE 7 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-54
==> f-67 (NO_EJECUTADA A2_OI1_T4_UBA1)
FIRE 8 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-53
==> f-68 (NO_EJECUTADA A2_OI1_T3_UBA1)
FIRE 9 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-52
==> f-69 (EJECUTADA A2_OI1_T2_UBA1)
FIRE 10 Verificacion_Actividades_Cursadas: f-51
==> f-70 (EJECUTADA A2_OI1_T1_UBA1)
FIRE 11 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-50,f-40
==> f-71 (NO_APROBADO OI1_T5_UBA2)
==> Activation 0 ver_tema5_uba2: f-71,f-61
FIRE 12 ver_tema5_uba2: f-71,f-61
==> f-72 (PUEDE_VER_TEMA5_UBA2)
FIRE 13 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-49,f-39
==> f-73 (NO_APROBADO OI1_T4_UBA2)
==> Activation 0 ver_tema4_uba2: f-73,f-62
FIRE 14 ver_tema4_uba2: f-73,f-62
==> f-74 (PUEDE_VER_TEMA4_UBA2)
FIRE 15 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-48,f-38
==> f-75 (NO_APROBADO OI1_T3_UBA2)
FIRE 16 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-47,f-37
==> f-76 (NO_APROBADO OI1_T2_UBA2)
FIRE 17 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-46,f-36
==> f-77 (NO_APROBADO OI1_T1_UBA2)
FIRE 18 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-45,f-35
==> f-78 (APROBADO OI1_T5_UBA1)
==> Activation 0 ver_tema3_uba2: f-78,f-63
==> Activation 0 ver_tema2_uba2: f-78,f-64
==> Activation 0 ver_tema1_uba2: f-78,f-65
FIRE 19 ver_tema1_uba2: f-78,f-65
==> f-79 (PUEDE_VER_TEMA1_UBA2)
FIRE 20 ver_tema2_uba2: f-78,f-64
==> f-80 (PUEDE_VER_TEMA2_UBA2)
FIRE 21 ver_tema3_uba2: f-78,f-63
==> f-81 (PUEDE_VER_TEMA3_UBA2)
FIRE 22 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-44,f-34
==> f-82 (NO_APROBADO OI1_T4_UBA1)
FIRE 23 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-43,f-33
==> f-83 (NO_APROBADO OI1_T3_UBA1)
FIRE 24 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-42,f-32
==> f-84 (APROBADO OI1_T2_UBA1)
==> Activation 0 ver_tema3_uba1: f-84,f-68
FIRE 25 ver_tema3_uba1: f-84,f-68
==> f-85 (PUEDE_VER_TEMA3_UBA1)
FIRE 26 Verificacion_Objeticivos_Instruccionales: f-41,f-31
==> f-86 (APROBADO OI1_T1_UBA1)
<== Focus MAIN
26 rules fired Run time is 0.234 seconds.
111.111111111111 rules per second.
74 mean number of facts (87 maximum).
1 mean number of instances (1 maximum).
9 mean number of activations (20 maximum).
CLIPS> █

```

Verificación de las actividades realizadas

Verificación objetivos cumplidos

El sistema indica que el estudiante puede ver los temas 1 a 3 de la UBA2

El sistema indica que el estudiante puede cursar el tema 3 de la UBA1

De acuerdo con los resultados obtenidos, se aprecia como el estudiante ha sido ubicado en el nivel de estudios esperado. El sistema habilita las clases



replanificando los temas que el estudiante puede cursar de acuerdo con los objetivos alcanzados hasta el momento.

**Figura 28. Ubicación del estudiante en el tema habilitado para cursar**

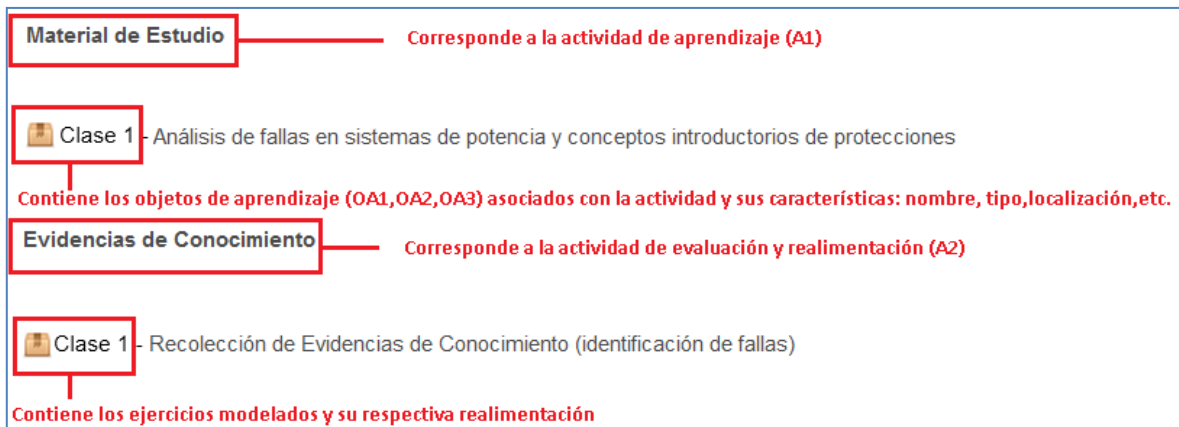


Una vez el estudiante ha sido ubicado en la clase habilitada para cursar, el sistema le plantea un nuevo objetivo instruccional que deberá aprobar.

### **5.3. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO**

Al momento de ingresar el estudiante a la clase habilitada, el sistema le plantea dos actividades para desarrollar.

**Figura 29. Actividades propuestas para el tema de estudio**



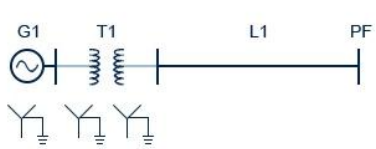
En la actividad A1 el estudiante tendrá acceso al material de estudio que estará integrado por los objetos de aprendizaje asociados a la actividad.

En la actividad A2 se le planteará la evaluación del tema mediante los ejercicios modelados empleando un sistema experto basado en reglas.

Con la ayuda de desarrolladores de software, se implementó en *JAVA* un prototipo de evaluación y retroalimentación empleando el modelo propuesto en el **numeral 4.2.2** el cual contiene 6 pasos y 22 errores posibles. Esta implementación se realizó mediante un sistema experto basado en reglas.

1. Modelo de evaluación y retroalimentación. Pregunta inicial: El sistema genera la pregunta inicial con valores aleatorios los cuales se modifican cada vez que el estudiante ejecuta la evaluación.

Figura 30. Prototipo de evaluación y retroalimentación - Pregunta Inicial



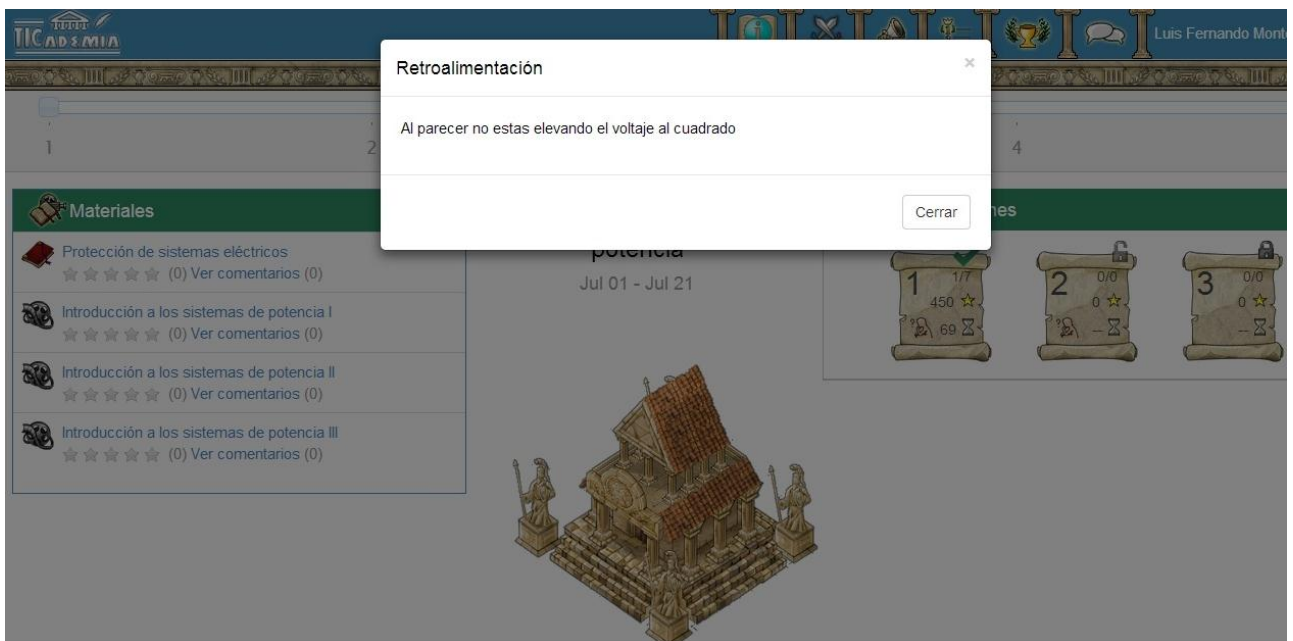
G1	T1	L1
S= 120 MVA	S= 132 MVA	L= 65 kM
V= 13.2 kV	VL= 13.2 kV	X1= 0.3 pu
Xd= 0.2 pu	VH= 230 kV	X0= 0.9 pu
X2= 0.2 pu	X= 14 %	
X0= 0.052 pu		

Si  $S_B$  es 80 MVA, ¿Cuál es la impedancia de base en Ohmios para nivel de 220 kV (use una sola cifra decimal)

Respuesta=

2. *Modelo de evaluación y retroalimentación. Retroalimentación 1: El sistema genera la retroalimentación correspondiente al error1 cometido por el estudiante en su respuesta. En la figura siguiente se presenta el prototipo de evaluación con el diagnostico emitido por el sistema, se pueden apreciar en la parte izquierda los objetos de aprendizaje definidos como material de estudio y en la parte derecha cada uno de los pasos de la evaluación modelados.*

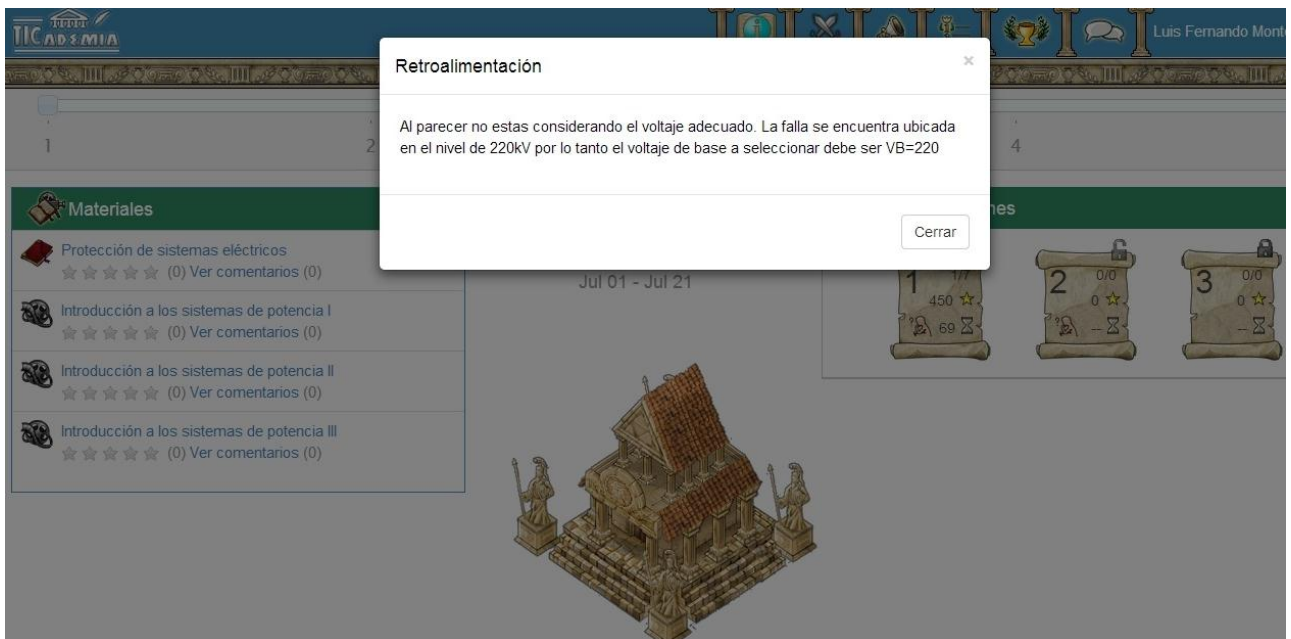
**Figura 31. Prototipo de evaluación y retroalimentación – Retroalimentación 1**



Con el modelamiento de evaluaciones por pasos, se logra disminuir la cantidad de variables involucradas en cada paso lo cual disminuye a su vez los fallos posibles facilitando su modelamiento, por ejemplo, si en un paso las variables involucradas corresponden a dos tensiones diferentes ( $V_1$ ,  $V_2$ ), los errores genuinos serán para  $V_1$ ,  $V_2$  o ambos, es decir, se podrían cometer tres equivocaciones lo cual conduce a considerar la mayor cantidad de faltas posibles que pueda cometer un estudiante al tratar de resolver el ejercicio.

3. *Modelo de evaluación y retroalimentación. Retroalimentación 2: El sistema genera la retroalimentación correspondiente al error2 cometido por el estudiante en su respuesta.*

**Figura 32. Prototipo de evaluación y retroalimentación – Retroalimentación 2**



Para el caso en el cual el estudiante comete un error no considerado en el modelamiento, el sistema simplemente emite una retroalimentación genérica. De esta forma se realiza la evaluación del tema aplicando los diferentes pasos modelados, presentando en cada paso la retroalimentación correspondiente en el escenario en que el estudiante cometa un error caracterizado. Cuando el estudiante presenta la misma equivocación en su segundo intento da indicios de que no ha entendido la retroalimentación que le fue emitida y por lo tanto el sistema da inicio al método implementado con razonamiento basado en casos que le permitirá encontrar la ayuda que requiere el estudiante para resolver este problema presentado.

## 5.4. COMPARACIÓN EVALUACIONES TRADICIONAL VERSUS STI

Como una manera de ilustrar el valor agregado que tiene el uso de modelos basados en STI's comparados con metodologías tradicionales, a continuación se presenta una evaluación empleando un método tradicional y una evaluación STI desarrollada mediante un sistema experto.

**Figura 33. Comparación evaluaciones tradicional versus STI**

The figure compares two evaluation interfaces. On the left, 'EVALUACIÓN TRADICIONAL' shows a 'Resultados' window with a table of five questions, their status (Incorrecto/Correcto), and a 'Ver' link. The final score is 'Nota: 2.0' and the result is 'Actividad no aprobada'. On the right, 'EVALUACIÓN STI CON RETROALIMENTACIÓN' shows a similar interface but with a 'Retroalimentación' dialog box providing a detailed error message: 'Al parecer no estas considerando el voltaje adecuado. La falla se encuentra ubicada en el nivel de 220kV por lo tanto el voltaje de base a seleccionar debe ser VB=220'. A 'Cerrar' button is visible in the dialog box.

Resultados		
Pregunta 1	✘ INCORRECTO	Ver
Pregunta 2	✔ CORRECTO	Ver
Pregunta 3	✘ INCORRECTO	Ver
Pregunta 4	✘ INCORRECTO	Ver
Pregunta 5	✔ CORRECTO	Ver

Nota: 2.0

Actividad no aprobada

En la comparación se puede apreciar como en una evaluación que emplea un método tradicional solo se indica al estudiante si la respuesta emitida por él fue correcta o incorrecta sin brindarle ningún tipo de asistencia, pero en la evaluación que emplea un sistema inteligente se puede apreciar como el diagnostico que se le emite al estudiante le puede ayudar a superar el error que está cometiendo y por ende se podría afirmar que le está enseñando asimilándose en cierta medida a la forma como actuaría un docente humano.

## 6. CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se pueden apreciar aplicaciones basadas en sistemas tutoriales inteligentes utilizadas en el entrenamiento técnico especializado, proponiendo metodologías de enseñanza - aprendizaje en temas tan complejos como el análisis de fallas en líneas de transmisión que pretenden aprovechar las posibilidades brindadas por las herramientas informáticas como las técnicas de inteligencia artificial, para estructurar la información que se desea enseñar en una forma personalizada facilitando la transmisión del conocimiento.

Los modelos propuestos en el presente trabajo pueden ser aplicados a cualquier temática que se requiera abordar desde el punto de vista del entrenamiento técnico, brindando la posibilidad de obtener de esta forma un producto que servirá de guía en el proceso de captura, conservación y masificación del conocimiento en una organización.

En este trabajo se presentó una propuesta para la medición del grado de asimilación de conocimiento de los entrenados fundamentada en el modelamiento de errores que puede cometer un aprendiz durante el desarrollo de un ejercicio. Mediante esta evaluación es posible diagnosticar al estudiante emitiendo retroalimentaciones que le puedan ayudar en su proceso de aprendizaje. Para que la caracterización de errores sea práctica debe realizarse para un conocimiento granulado, es decir, las variables involucradas deben ser mínimas.

Finalmente se ha presentado en este trabajo un modelo basado en Sistemas Tutoriales Inteligentes que permite facilitar el aprendizaje de análisis de fallas en líneas de transmisión con ubicación del estudiante en la estructura didáctica siguiendo un conjunto de reglas, con modelado del conocimiento mediante objetos de aprendizaje y caracterización de fallas reales y simuladas y un modelo de evaluación y diagnóstico que permite realizar una realimentación efectiva.

## **7. TRABAJO FUTURO**

Implementar los modelos propuestos en este trabajo para los cursos básico, medio y avanzado en una plataforma web (campus virtual) que le permita a ISA realizar gestión del conocimiento.

Plantear un modelo empleando sistemas expertos para realizar detección de anomalías en análisis de fallas que pueda ser incorporado al entrenamiento.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Ahmed Maher , Bayoumi M. M. (1995). An Artificial Intelligent Instructor for Electrical Circuits.
- [2]. Ahuja Jyothi Neelu, Sille Roohi (2013). A Critical Review of Development of Intelligent Tutoring Systems: Retrospect, Present and Prospect.
- [3]. Anderson P. M. (1976). Analysis of Faulted Power Systems.
- [4]. Alternative Transient Program (ATP). (1987). Versión of the EMTP Rule Book.
- [5]. Arias Francisco. (2009) Modelo multi-agente para la planificación instruccional y selección de contenidos en cursos virtuales adaptativos. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia– Sede Medellín.
- [6]. Ávila Alexander, Tobón John Jairo. (2011) Metodología para el entrenamiento de protecciones en sistemas de transmisión empleando ambientes virtuales. Tesis de Especialización, Universidad Pontificia Bolivariana.
- [7]. Barr A., Beard M., Atkinson R.C., (1974). A Rational and Description of the BASIC Instructional Program, Tech Report, Stanford.
- [8]. Bergmann Ralph (2000). Introduction to Case-Based Reasoning. University of Kaiserslautern.
- [9]. Brown, I. S., Burton, R. R., Dekleer, J. (1982). Pedagogical natural language, and knowledge engineering techniques in SOPHIE I, II, and m, Intelligent Tutoring Systems
- [10]. Brusilovsky, P., Peylo, C. (2003). Adaptive and intelligent web based educational systems, International Journal of AI in Education.
- [11]. Butz P. Brian, Duarte Michael, and Miller M. Susan. (2006). An Intelligent Tutoring System for Circuit Analysis.
- [12]. Calderón Serna Jhon Albeiro. (2007) Modelo adaptativo de inteligencia artificial para el diagnóstico automático de fallas a partir de registros de osciloperturbografía. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia– Sede Medellín
- [13]. Carbonell, J.R, (1970). AI in CAI: An AI Approach to CAI, IEEE Transactions on an-Machine Systems.
- [14]. Castillo Enrique, Gutiérrez José Manuel, Hadi Ali S (1996). Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas.
- [15]. Clancey William J. (1979). Dialogue Management for Rule-Based Tutorials, Proc: International Joint Conference on AI.

- [16].CLIPS Reference Manual (2008). Volume I. Basic Programming Guide.
- [17].Collins, A. M., Loftus, E. F., (1975). A Spreading Activation Theory of Semantic Processing. Psychological Review.
- [18].Churchill Daniel, Hedberg John. (2008). Learning object design considerations for small-screen handheld devices.
- [19].Downes, S. (2004). The Learning Marketplace. Meaning, Metadata and Content Syndication in the Learning Object Economy. Moncton, New Brunswick.
- [20].Dublin Core Metadata Initiative (2007). <http://dublincore.org/documents/>.
- [21].Fernández, I. (1989) Estrategias de Enseñanza en un Sistema Inteligente de Enseñanza Asistida por Ordenador. Universidad del País Vasco. Tesis Doctoral.
- [22].IEEE. "Std C37.113-R2004 (2004). IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines".
- [23].IEEE. "IEEE 1484 (2002). IEEE Standard for Learning Object Metadata".
- [24].Jaques Patricia, Seffrin Henrique. (2013). Rule-based expert systems to support step-by-step guidance in algebraic problem solving: The case of the tutor PAT2Math.
- [25].Jiménez Builes, J. (2006) Un Modelo de Planificación Instruccional usando Razonamiento Basado en Casos en Sistemas Multi-Agente para entornos integrados de Sistemas Tutoriales Inteligentes y Ambientes Colaborativos de Aprendizaje, Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia.
- [26].Johnson, W. L., Soloway, E. M., (1984). PROUST: Knowledge-based program debugging, Proc: The 7th International Software Engineering Conference, Orlando, Florida.
- [27].Goan Terrance L., Stottler Richard H., Henke Andrea L. (1997). Authoring Simulation-based Intelligent Tutoring Systems.
- [28].González C. (2004). Sistemas Inteligentes en la Educación: Una Revisión de las Líneas de Investigación y Aplicaciones Actuales.
- [29].Kurland et al., (1989). "HAWK MACHIII Explanations of the Receiver, Troubleshooting Tree, Technical Report, BBN Systems and Technologies, Cambridge, Massachusetts.
- [30].Llango V., Cook C. D., Gosbell V. (1994). Application of an intelligent tutoring system in electrical power engineering.
- [31].Maher Timothy, Stottler Richard. (1994). Case-Based Reasoning for Simulation Based Medical Specialist Intelligent Tutoring System.
- [32]. Main Julie, Dillon Tharam, Shiu Simon (2001). A Tutorial on Case-Based Reasoning.

- [33].Martignago Evandro Luiz, Zanin Juliana, de Melo Braga Marcus, Pereira Fialho Francisco Antonio. (1989). O diagnostico de problemas psicológicos mediante a aplicação do raciocínio baseado em casos.
- [34].Millán, E. (2000) “Sistema Bayesiano para Modelado del Alumno”, Tesis Doctoral, Universidad de Málaga, España.
- [35].Mohamed A. Ibrahim (2012). Disturbance Analysis for Power Systems.
- [36].Negnevitsky Michael (1996). Application of an intelligent tutoring system in electrical engineering education.
- [37].Neviarouskaya A. (2008). A Survey on Intelligent Tutoring Systems.
- [38].Ovalle, D., Arias F., Jiménez M., Jiménez J., Betancur D., Hoyos P. (2007) Informe Etapa de Implementación. “Modelo de Sistema Multi-Agente de Cursos Adaptativos Integrados con Ambientes Colaborativos de Aprendizaje”. U.Nal. – Sede Medellín.
- [39].Picard R. W.( 1997). Affective Computing, MIT Press.
- [40].Rongmei Zhang, Lingling Liu. (2009). Research on Internet Intelligent Tutoring System Based on MAS and CBR. 2009 International Forum on Information Technology and Applications.
- [41].Sarrafzadeh A. (2008). How do you know that I don't understand? A look at the future of intelligent tutoring systems, Computers in Human Behavior.
- [42].Sankar K. Pal, Simon C. K. Shiu (2004). Foundations of soft case-based reasoning.
- [43].Santos Gustavo, Gomes António, Faria Luiz, Ramos Sérgio, Vale Zita. (2008). An Intelligent Tutoring Approach to Support Students and Technicians in Electrical Installation Design.
- [44].SIEMENS (1999). Numerical Distance Protection. Principles and applications.
- [45].Shortliffe, E. H., (1976). Computer based medical consultations, MYCIN.
- [46].Tahar Mohamed Ileh, Saleh Imad. (2009). Case Based Reasoning Approach of Tutoring in E-learning Platform.
- [47].Vale Zita A. (1994). Intelligent tutoring systems for power system control centers.
- [48].Valverde, L. (2010). Inferencing emotions through the triangulation of pupil size data, facial heuristics&self-assessment techniques, proc: International conference on Mobile, Hybrid and Online learning.
- [49].Wiley, D. A. (2000). Connecting learning objects to instructional design theory: a definition, a metaphor, and a taxonomy. The Instructional Use of Learning Objects.
- [50].Yang Y., Leung H., Yue L., Deng L. (2013). Generating a two-phase lesson for guiding beginners to learn basic dance movements. Computers and Education.