

Modelo conceptual de un sistema inteligente para el análisis de vulnerabilidad en tiempo real

I.E. Gustavo Girón

Abstract—this paper presents the conceptual model of an intelligent system to determine real-time vulnerability; the document was used as a condition to achieve the MSc in engineering at the Universidad Pontificia Bolivariana – UPB.

Index Terms—Conceptual models, real-time operation, vulnerability, power transmission systems.

I. INTRODUCCIÓN

EN los centros de supervisión de sistemas de potencia eléctrica se tiene un sistema SCADA el cual es gestionado por personal especialista con capacidad de detectar y gestionar las diferentes señales que se generan desde las subestaciones, en un sistema eléctrico pequeño el número de señales es de miles, lo cual dificulta al operador la detección de alarmas o cambios en el sistema.

Para ayudar a la operación del sistema, se tienen múltiples herramientas que van desde filtros, sonidos, colores y alertas del sistema SCADA hasta técnicas de mejoramiento del nivel atencional para los operadores responsables de la supervisión y control. A pesar de todas las herramientas que se tienen, el riesgo de cometer errores u omisiones en la operación continúa siendo alto (distractores, alta cantidad de señales, simultaneidad de maniobras operativas entre otros).

Como un paso inicial en la automatización del proceso de supervisión y operación de sistemas de potencia y con el fin de brindar al operador una herramienta segura y que apoye su delicada tarea, se propone el presente trabajo. Se elaborará un modelo conceptual de un sistema inteligente que ante cambios topológicos o alarmas que se presenten en el sistema de transmisión nacional colombiano determine la necesidad de tomar alguna acción sobre el sistema mediante la generación de mensajes para el operador del sistema de control con la opción de realizar la maniobra sugerida desde el sistema SCADA.

II. OBJETIVO

Presentar el modelo conceptual de un sistema inteligente para el análisis de vulnerabilidad en tiempo real.

Gustavo Girón was with HVM Engineers on Protection and Substation Commissioning Area, then with Interconexión Eléctrica S.A. (ISA) at the Operation Department during 6 years and now with Intercolombia S.A. (Grupo ISA) as operative analyst.
Email: ggiron@intercolombia.com.co

III. METODOLOGÍA

Como metodología para el trabajo, se tienen los siguientes pasos:

- Selección de técnica para el modelado conceptual
- Definición de las acciones para los cambios topológicos a considerar
- Establecer las reglas a considerar en el sistema inteligente.
- Seleccionar la herramienta apropiada como sistema inteligente.
- Simulación y evaluación de las reglas establecidas en el sistema inteligente.
- Hacer ajustes de acuerdo con los resultados obtenidos.
- Realizar el modelo conceptual definitivo.
- Informe final.

IV. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Dentro de las herramientas que posee el operador se encuentran, consignas de operación (generales y particulares), manuales de operación, reglamentación eléctrica, información técnica de equipos, bitácoras, instrucciones de centros de control, experiencia del personal de tiempo real, apoyo de disponibles especialistas, entre otros. Todas estas herramientas son fundamentales y aportan a la solución efectiva de los problemas operativos. Ante la urgencia por buscar estas herramientas o por otros factores distractores no siempre se está en capacidad de visualizar las acciones inmediatas que se deben tomar ante las novedades topológicas del sistema, como son, sacar de servicio recierres, implementar nuevos ajustes de protecciones, apertura de elementos (para evitar sobrecargas), habilitar esquemas de deslastre de carga, traslados de carga, y otros.

Se ha visto que cada compañía eléctrica tiene estrategias propias para enfrentar la vulnerabilidad y desarrolla sus propios sistemas tratando de cubrir sus necesidades particulares, enfocados principalmente al control de variables del sistema eléctrico (tensión, corriente, potencia, frecuencia), en el análisis de fallas utilizando como insumo los datos ofrecidos por protecciones y señales provenientes del sistema SCADA, estos sistemas generalmente son desarrollados de forma confidencial en las empresas y hace difícil su conocimiento público.

Estos temas esporádicamente se tratan en seminarios, simposios o conferencias como las ofrecidas por ISAP (Intelligent System Applications to Power Systems) la cual ha mostrado en sus últimas versiones la tendencia del sector a

enfocarse a las Smar Grids y sistemas de control de estabilidad y generaciones distribuidas. En los inicios de las conferencias de la ISAP se mostraban temas más enfocados a los centros de control, mostrando ejemplos como los que se tratan a continuación.

Para el sistema eléctrico portugués se desarrolló un aplicativo (SPARSE) utilizado para diagnóstico de fallas y para restablecimientos del sistema eléctrico de potencia, con el objetivo de ser utilizados por los Centros de Control Portugueses (Vale & C., Temporal reasoning methodologies used in AI applications for power system control centers), (Vale, Dept. of Elelctr. & Comput. Eng., Faria, Ramos, & Fernandez).

Se creó un sistema experto basado en reglas, para los entrenamientos a operadores de centros de control desarrollado por la Universidad de Duisburg, Alemania (Ju, Duisburg Univ., Krost, & Rumpel, 1996).

En Francia se tiene el sistema AUSTRAL para centros de control de distribución para el análisis de eventos que puede ser apoyo durante el restablecimiento de sistemas (Krivine, Direction des Etudes et Recherches, & Jehl).

En el Reino Unido se tiene un sistema inteligente utilizado como apoyo en los restablecimientos de la South Western Electricity (SWEB) (Elders, Centre for Electr. Power Eng., Burt, McDonald, & Spiller).

Dentro de las aplicaciones desarrolladas para apoyo al proceso de operación de las salas de control en el Grupo ISA se tienen:

Sistema DAE de INTERCOLOMBIA S.A. (sistema inteligente para evaluación de fallas ocurridas en un sistema de transmisión de energía).

Sistema inteligente de supervisión y control avanzado de tiempo real – proyecto iSAAC desarrollado por XM S.A.

Proyecto SPEM de XM S.A. El cual hace un aporte importante a la seguridad en la operación de sistemas de potencia y un acercamiento interesante al manejo de reglas (seguimiento de maniobras y permisos de trabajo, tiempos de instrucción, ejecución, reporte, generación automática de reportes para el sistema de información, seguimiento de requerimientos eléctricos y otros).

Los proyectos o implementaciones de sistemas inteligentes para el análisis de fallas o evaluación de las redes de transmisión de energía se desarrollan frecuentemente, pero aún no se tiene referencias de un sistema inteligente que brinde unas recomendaciones basado en los cambios topológicos de una red eléctrica mediante un sistema inteligente, objetivo del presente trabajo.

V. CASOS OPERATIVOS A CONSIDERAR

Basados en la experiencia obtenida en la operación del Centro de Supervisión y Maniobras (CSM) de Intercolombia S.A. E.S.P. se tienen los siguientes grupos de casos operativos para considerar con sus respectivos escenarios:

Cambios topológicos

Los cambios topológicos son acciones ejecutadas sobre los equipos eléctricos de forma programada y segura para el sistema eléctrico. En estos casos el sistema se ve modificado

en su configuración pero continúa prestando su función de transmisión, pero se deben realizar acciones adicionales para protección y seguridad de los equipos en servicio.

Las maniobras y las acciones a ejecutar desde el sistema SCADA están definidas en un listado de maniobras a considerar, en el cual se encuentra el elemento objeto de maniobra, el mensaje a desplegar con la acción propuesta y la acción a ejecutar que se puede realizar desde el sistema SCADA.

Eventos

Se refiere a aquellos casos donde el sistema eléctrico se ve modificado en su estructura de una forma no programada debido a una falla en el elemento y otro tipo de novedad y que puede poner en riesgo la seguridad del sistema eléctrico.

Eventos de tensión cero

Cuando se habla de tensión cero, se hace referencia a la ausencia de tensión en algún elemento o componente del sistema. Así, cuando se tiene tensión cero en una subestación eléctrica, se hace referencia a que ninguno de sus elementos está con tensión y se tienen posiblemente interruptores en estado cerrado. Cuando se va a iniciar el proceso de normalización o restablecimiento, previamente se deben abrir todos los interruptores que se encuentran con tensión cero.

Alarmas

Son señales de advertencia sobre la posible ocurrencia de una falla o anomalía sobre un equipo que se encuentra en operación y lo cual puede generar un riesgo para el sistema eléctrico y para la continuidad en la prestación del servicio.

VI. CONSIGNAS OPERATIVAS

Las consignas operativas son documentos encargados de dar las pautas e instrucciones a los involucrados en la operación del STN cuando se presente alguna situación especial sobre los activos operados, estos documentos son de propiedad de Intercolombia S.A. E.S.P. y son el producto de su experiencia en el campo de operación y mantenimiento de sistemas de potencia.

VII. MODELOS CONCEPTUALES

El modelo conceptual muestra de forma detallada cómo es un proceso, sus actores, relaciones, entradas, salidas y la interacción entre todos los elementos. De esta forma el grupo de trabajo encargado de la implementación tiene la información necesaria para entender en qué consiste el problema y cómo llegar a la solución.

“El modelo conceptual es la actividad de describir de manera formal algunos aspectos del mundo físico y social que nos rodea con fines de comunicación y entendimiento” (Zicari, Conceptual Modeling, Databases, and Case An integrated view of information systems development, 1992).

“El modelado conceptual es el proceso de definir y representar el mundo real para facilitar la comunicación entre los agentes involucrados desde una perspectiva de datos” (Lee, Assessing the Value of Conceptual Modeling, 1995).

A. Técnicas de modelado conceptual

Se tienen diversas técnicas de modelado conceptual, a continuación se describen algunas:

- Modelado de flujo: representa gráficamente elementos de datos de un sistema (Data Flow Modeling, DFM): Es un método sencillo con el que se pueden construir diagramas de alto o bajo nivel.
- Líneas de proceso gestionadas por eventos (Event-Driven Process Chain EPC): esta técnica se utiliza principalmente para el mejoramiento sistemático de flujos de procesos de negocios. Consiste de entidades, elementos y funciones que permiten que las relaciones sean procesadas y desarrolladas.
- Diseño de conjunto de aplicaciones (Joint Application Development JAD): es un proceso específico usado en el método de desarrollo de sistemas dinámicos (The Dynamic Systems Development Method, DSDM). Sirve para modelar conceptualmente sistemas de ciclos de vida.
- Red de lugar/transición, redes Petri (Place/transition Net, Petri Nets): permite que un sistema se construya con elementos que pueden ser descritos por entes matemáticos.
- Modelado de transición de estado (Technique Evaluation and Selection): utiliza diagramas de transición de estado para describir el comportamiento de sistema.
- Modelos conceptuales de sistemas de actividades humanas: son usados en la metodología de sistemas suaves (Soft systems methodology, SSM), afirma que el funcionamiento de una organización es el resultado de la adecuación de las visiones e intereses de quienes intervienen en la misma, y que los modelos que las fundamentan deben compararse con la operativa real y mejorarse en consecuencia (Checkland & Poulter).
- Modelos lógico lingüísticos: es otra variante de los modelos SSM (Soft systems methodology) que usa modelos conceptuales. Estos modelos combinan modelos de conceptos con modelos de objetos y eventos del mundo real.
- Modelo Relación de entidades (Entity-relationship modeling, ERM): es utilizado para la representación de sistemas de software. Los diagramas resultantes de la técnica ERM son generalmente usados para representar modelos de bases de datos y sistemas de información.
- Lenguaje Unificado De Modelado (UML): El lenguaje unificado de modelado (UML) es el estándar en la industria para modelar sistemas orientados a objetos. Cada iteración aborda de manera cada vez más detallada el diseño del sistema, hasta que las cosas y las relaciones en el sistema estén definidas con claridad y precisión en documentos de UML. El UML es una potente herramienta que puede mejorar en forma considerable la calidad del análisis y diseño de sistemas, y en consecuencia puede ayudar a crear sistemas de información de mayor calidad. El conjunto de herramientas de UML incluye diagramas que

permiten visualizar la construcción de un sistema orientado a objetos. La metodología del UML tiene una amplia aceptación y uso. Provee un conjunto estandarizado de herramientas para documentar el análisis y diseño de un sistema de software. (Kendall, 2011).

B. Evaluación y selección de la técnica para el modelo conceptual

Se requiere un modelado que sea estándar en la industria, que sea fácil de implementar en sistemas complejos y donde se puede consignar suficiente información para que el ingeniero de conocimiento desarrolle el proyecto.

Teniendo en cuenta el tipo de información que se manejará y con el objetivo de buscar un lenguaje con amplia aceptación en el medio, que logre ilustrar todas las ideas y condiciones que requiere el sistema inteligente a modelar y considerando el alcance del presente trabajo, se adoptará la técnica de Lenguaje Unificado de Modelado UML. Las demás técnicas muestran utilidad en otro tipo de escenarios, y algunas no ilustrarían toda la información que se requiere.

En general un modelo conceptual es desarrollado usando alguna forma de técnica de modelado conceptual, la cual utilizará un lenguaje que determina las reglas para llevarlo a cabo. El lenguaje influirá en la profundidad a la cual el sistema es capaz de ser representado, simple o complejo (Gemino & Wand, A framework for empirical evaluation of conceptual modeling techniques, 2004). Se debe entender que comparar los modelos conceptuales solo por sus gráficas o nivel de representación es corto de vista. El énfasis debe hacerse en el lenguaje del modelo conceptual cuando se está haciendo la selección de la técnica apropiada (Gemino & Wand, Evaluating modeling techniques based on models of learning, 2003)

C. Lenguaje Unificado de Modelado UML

El UML es una herramienta que puede mejorar en forma considerable la calidad del análisis y diseño de sistemas. Al usar el UML se puede lograr una mejor comprensión entre los diferentes partes involucradas en el diseño e implementación del sistema.

La primera iteración del análisis debe realizarse a un nivel muy alto para identificar los objetivos del sistema en general y validar los requerimientos a través del análisis de casos de uso. Identificar los actores y definir el modelo de casos de uso inicial son actividades que forman parte de esta primera iteración.

Las iteraciones subsiguientes del análisis refinan más los requerimientos del sistema por medio del desarrollo de escenarios de casos de uso, diagramas de clases, diagramas de secuencia, diagramas de estado, entre otros. Cada iteración requiere una vista cada vez más detallada del diseño del sistema, hasta que las cosas y relaciones en el sistema se definan con claridad y precisión en los documentos de UML.

Cuando esté completo el proceso de análisis y diseño, se deberá tener un conjunto preciso y detallado de especificaciones para clases, escenarios, actividades y

secuencias en el sistema. (Kendall, 2011)

Los diagramas de UML que se utilizan con más frecuencia son:

- Diagrama de contexto
- Diagrama de casos de uso
- Diagrama de actividad
- Diagrama de secuencia
- Diagrama de dominio
- Diagrama de estados

D. Programa a utilizar para el modelado del sistema inteligente

En el mercado hay muchos programas con los cuales se pueden realizar los modelos conceptuales, como Visual Paradigm, Visio, FreeMind, Enterprise Architect entre otros. Se probaron varios de estos, algunos tienen limitaciones en su ejecución, no tienen todas las librerías que se desean o no es fácil el ordenamiento de la información cuando se tiene mucha información gestionada, o no ofrecen facilidad para el usuario al realizar los diagramas.

En la evaluación de los programas a utilizar se encontró que el programa Enterprise Architect desarrollado por Sparx Systems es una herramienta fácil de utilizar, estable y con una amplia librería y utilidades, por lo que será el programa usado para el modelado del sistema inteligente.

VIII. SISTEMA SCADA

Para el presente trabajo se considera la implementación a nivel general para cualquier sistema SCADA.

IX. SISTEMAS INTELIGENTES

Un sistema inteligente cuenta con características y comportamientos similares a los de la inteligencia humana o animal, tiene la capacidad de decidir por sí mismo qué acciones realizar para alcanzar sus objetivos basándose en percepciones, conocimientos y experiencias acumuladas.

Debe existir un entorno con el cual el sistema interactúe y debe recibir comunicaciones de dicho entorno y transmitir información. El sistema debe actuar continuamente y contar con una memoria para archivar el resultado de sus acciones.

A. Redes neuronales (RNA)

Una red neuronal es un sistema de procesamiento de información que tiene ciertas aptitudes en común con las redes neuronales biológicas:

- El procesamiento de información ocurre en muchos elementos simples llamados neuronas.
- Las señales son transferidas entre neuronas a través de enlaces de conexión.
- Cada neurona aplica una función de activación (usualmente no lineal) a su entrada de red (suma de entradas pesadas) para determinar su salida. (García Báez)

B. Sistemas expertos

Emulan el razonamiento de un experto en un dominio concreto, y en ocasiones son usados por éstos. Con los sistemas expertos se busca una mejor calidad y rapidez en las respuestas, dando así lugar a una mejora de la productividad del propio experto al usar este tipo de sistemas informáticos.

C. Lógica difusa o borrosa

Se utiliza para la resolución de una variedad de problemas, principalmente los relacionados con control de procesos industriales complejos y sistemas de decisión en general, la resolución y la compresión de datos.

Los sistemas basados en lógica difusa imitan la forma en que toman decisiones los humanos, con la ventaja de ser mucho más rápidos. Estos sistemas son generalmente robustos y tolerantes a imprecisiones y ruidos en los datos de entrada.

Las reglas de las que dispone el motor de inferencia de un sistema difuso pueden ser formuladas por expertos, o bien aprendidas por el propio sistema, haciendo uso en este caso de redes neuronales para fortalecer las futuras tomas de decisiones.

Adopción del sistema inteligente

El sistema inteligente que se requiere debe tener la capacidad de:

- Buscar una novedad que se presente en el sistema eléctrico.
- Encontrar una recomendación ante la novedad encontrada.
- Enviar un mensaje con la recomendación encontrada.
- Ser flexible en la gestión de reglas establecidas, permitir anexar, eliminar, modificar reglas por parte de un especialista ante las necesidades del sistema eléctrico.

El sistema inteligente que se ajusta a las necesidades planteadas es el sistema experto, para el caso que nos ocupa, todas las recomendaciones dadas por el sistema inteligente deben ser limitadas a las consignas operativas vigentes en la organización o a procedimientos previamente aprobados, por tal motivo no sería práctico adoptar un sistema que tome otras alternativas.

Los sistemas expertos han mostrado su efectividad en situaciones anormales o bajo presión del tiempo. (Krost, Duisburg Univ., Spanel, & Muller)

Programa a utilizar para la verificación del sistema inteligente

Para la prueba se necesita un programa de sistemas expertos que ofrezca facilidad en su implementación, ejecución, y bajo costo. CLIPS probablemente es el sistema experto más ampliamente usado debido a que es rápido, eficiente y gratuito. Aunque ahora es de dominio público, aún es actualizado y mantenido por su autor original, Gary Riley.

CLIPS es un acrónimo de C Language Integrated Production System (Sistema de Producción Integrado en Lenguaje C) Estos sistemas imitan las actividades de un humano para resolver problemas de distinta índole. Fue creado a partir de 1984, en el Lyndon B. Johnson Space Center de la NASA. Los fondos cesaron a principios de los años 1990, y hubo un mandato de la NASA para comprar software comercial.

D. Implementación del caso en el sistema inteligente

Con el objeto de ilustrar cómo es el funcionamiento del sistema experto, se procedió a implementar en el programa CLIPS IDE las reglas (acciones) asociadas a cada uno de los escenarios posibles y se realizaron pruebas.

A continuación se muestran casos corridos donde se verifica la operación del sistema:

Caso con teleprotección alarmada de un circuito con reactor de línea sin interruptor:

TIENE ALGUNA TELEPROTECCION ALARMADA? (s/n)

s

TIENE EL CIRCUITO REACTOR DE LINEA SIN INTERRUPTOR (s/n)? s

*** ACCION A TOMAR: ***

APLICAR "Consigna operativa falla en el sistema de teleprotección GAN-O-G-00.10.003"

3 rules fired Run time is 6.15723600000092 seconds.

0.487231608468402 rules

Caso de apertura de Reforma-Guavio o Reforma-Tunal

SISTEMA EXPERTO SCADA

TIENE ALGUNA TELEPROTECCION ALARMADA?

(s/n) N

TIENE ALGUN CIRCUITO PARA ABRIR? (s/n) S

ABRIR PÁEZ-SAN BERNARDINO 230 kV (s/n)? S

*** ACCION A TOMAR: ***

Deshabilitar recierres del circuito Juanchito-Páez 230 kV

<== Focus MAIN

4 rules fired Run time is 10.5969690000002 seconds.

0.377466424597442 rules per second.

X. DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA INTELIGENTE PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN TIEMPO REAL

Como se explicó anteriormente para el ingeniero de conocimiento es esencial tener claro en qué consiste el proyecto que está por implementar, de tal forma que no se incurra en reprocesos de información y demoras innecesarias durante el proyecto.

A Diagrama de contexto

Es la representación de la relación del sistema con otras áreas, los cuales forman el contexto del sistema.

El sistema inteligente para el análisis de vulnerabilidad en tiempo real tiene un impacto inicialmente a nivel de Intercolombia S.A. E.S.P. como empresa donde se implementará el sistema, ofreciendo innovación, seguridad operativa, oportunidades de mejora en los procesos de operación en tiempo real y conocimiento.

Dado que Intercolombia hace parte del grupo empresarial ISA, se tendrá un impacto a nivel de innovación y seguridad operativa sobre las empresas que hacen parte del grupo. De igual manera se tendrá sobre XM como agente operador del STN.

Sobre los demás agentes operadores a nivel nacional se tendrá un impacto a nivel de innovación, pero no en cuanto a seguridad operativa, pues cada empresa del sector tiene sus

propios métodos y procedimientos para asegurar su operación.

La academia tendrá oportunidad de conocimiento e innovación con el presente proyecto.

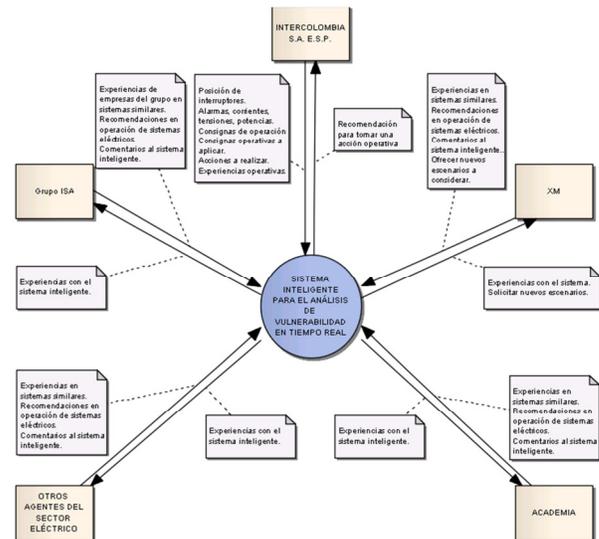


Fig.1. Diagrama de contexto para el modelo conceptual del sistema inteligente.

B. Diagrama de casos de uso

Los diagramas de uso describen la forma en que se utiliza el sistema, dice qué hace el sistema inteligente, pero no nos dice cómo lo hace.

En este diagrama se observa la interacción que se tiene entre las novedades que se pueden dar en el sistema de transmisión nacional colombiano STN (maniobras, eventos o alarmas) detectadas por el sistema SCADA (Sistema de supervisión, control y adquisición de datos) y entregadas al sistema experto, el cual entregará las recomendaciones al operador o usuario del sistema.

El STN contiene elementos como subestaciones, líneas de transmisión de energía, transformadores, reactores, condensadores, los cuales durante la operación generan maniobras, eventos, alarmas y otras novedades.

La información de las variables eléctricas, maniobras, eventos, alarmas, ocurridas en el STN va a un sistema SCADA, el cual es el encargado de agrupar toda la información y ofrecerla al sistema inteligente. El sistema inteligente dependiendo de las reglas que tenga programadas, hará unas recomendaciones a través del sistema SCADA, las cuales el operador tendrá en cuenta para tomar sus decisiones y atender las contingencias que se hayan presentado.

Escenarios de los casos de uso: los escenarios son las descripciones de lo que ocurre en cada caso de uso, con sus posibilidades, consideraciones de éxito y otros, como se aprecia en las plantillas que facilitan su lectura y proveen una información estandarizada de los casos de uso.

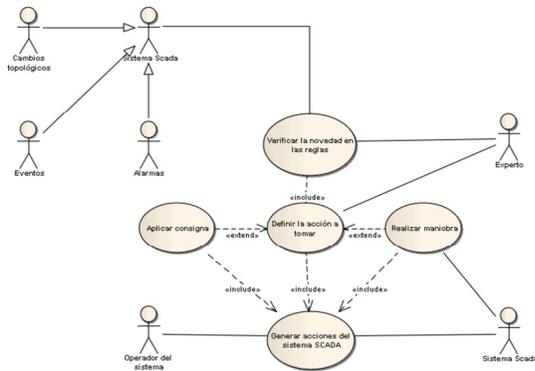


Fig. 2. Diagrama de casos para el modelo conceptual del sistema inteligente.

TABLA 1
Escenario de caso de uso verificar la novedad en reglas

Nombre del caso de uso:	Verificar la novedad en las reglas.
Actor:	Experto
Interesados:	Experto, operador del sistema.
Descripción:	Establecer si la novedad está incluida en las reglas del sistema experto.
Evento desencadenador:	El sistema toma la novedad y la procesa para tomar una decisión.
Tipo de desencadenador:	Externo
Pasos realizados:	Información para los pasos:
1. Se genera la novedad en el sistema eléctrico.	Sistema de transmisión nacional.
2. La novedad es detectada.	Sistema SCADA.
3. Se transfiere la novedad al sistema inteligente.	Sistema inteligente.
4. Se determina si la novedad es un cambio topológico, evento o alarma.	Sistema inteligente.
5. La novedad se compara con las reglas establecidas.	Sistema inteligente.
6. La novedad coincide con alguna regla y se inicia la toma de decisiones.	Sistema inteligente.
7. La novedad no coincide con alguna regla y se envía un mensaje de que la novedad no está en la base de datos, no se aplicarán reglas.	Sistema inteligente.
Precondiciones:	Se generó una novedad en el sistema eléctrico.
Post condiciones:	Se comparó con las reglas y se determina si la novedad aplica.
Suposiciones:	El sistema inteligente identificó correctamente la novedad.
Garantía de éxito:	Se comparó correctamente la novedad con las reglas establecidas.
Garantía mínima:	Se determinó si la novedad aplica.
Requerimientos cumplidos:	Permitir que el sistema inteligente determine si la novedad aplica y la identifique.
Prioridad:	Alta.
Riesgo:	Medio.

TABLA 2
Escenario de caso de uso definir la acción a tomar.

Nombre del caso de uso:	Definir la acción a tomar.
Actor:	Experto
Interesados:	Experto, operador del sistema.
Descripción:	Realizar la toma de decisiones de acuerdo con las reglas establecidas.
Evento desencadenador:	El sistema inteligente detectó y clasificó la novedad que se presentó.
Tipo de desencadenador:	Externo
Pasos realizados:	Información para los pasos:
1. Se verifica en la base de datos cuál es la novedad que se presentó.	Sistema inteligente.
2. Se busca en la base de datos cuál es la acción a tomar de acuerdo con la novedad presentada.	Sistema inteligente.
3. Se busca cuál es la acción a tomar.	Sistema inteligente.
4. Se almacena la acción a tomar.	Sistema inteligente.
Precondiciones:	Se identificó en la base de datos cuál es la novedad que se presentó.
Post condiciones:	Se determina cuál es la acción a tomar de acuerdo con la novedad.
Suposiciones:	El sistema inteligente identificó la novedad presentada.
Garantía de éxito:	Se identificó cuál es la acción a tomar.
Garantía mínima:	Se encontró una acción a tomar.
Requerimientos cumplidos:	Permitir que el sistema inteligente sepa qué acción tomar.
Prioridad:	Alta.
Riesgo:	Alto.

TABLA 3
Escenario de caso de uso aplicar consigna.

Nombre del caso de uso:	Aplicar consigna
Actor:	
Interesados:	Experto, operador del sistema, sistema SCADA.
Descripción:	Recomendar la aplicación de una consigna de operación.
Evento desencadenador:	El sistema inteligente tomó una decisión.
Tipo de desencadenador:	Externo
Pasos realizados:	Información para los pasos:
1. Se recopilan los resultados almacenados (recomendaciones).	Sistema inteligente.
2. Se buscan los resultados donde se debe aplicar una consigna operativa.	Sistema inteligente.
3. Se prepara mensaje al sistema SCADA recomendando la aplicación de una consigna operativa.	Sistema inteligente.
4. Se verifica si requiere alguna maniobra complementaria, (algunas consignas lo requieren).	Sistema inteligente.
5. Se prepara mensaje al sistema SCADA informando que requiere o no maniobra complementaria.	Sistema inteligente.
6. En caso de requerirse se prepara la secuencia de maniobra complementaria.	Sistema inteligente.
Precondiciones:	Se tomó una decisión de acuerdo con las reglas que se tienen configuradas en la base de datos.
Post condiciones:	Se decide recomendar aplicar una consigna operativa (opcional realizar maniobra complementaria).
Suposiciones:	El sistema inteligente identificó correctamente la novedad presentada.
Garantía de éxito:	Se identificó cuál es la consigna operativa a recomendar.
Garantía mínima:	Se encontró una consigna operativa de acuerdo con la novedad presentada.
Requerimientos cumplidos:	Permitir que el sistema inteligente recomiende una consigna operativa.
Prioridad:	Alta.
Riesgo:	Alto.

TABLA 4.
Escenario de caso de uso realizar maniobra

Nombre del caso de uso:	Realizar maniobra.
Actor:	Sistema SCADA.
Interesados:	Experto, operador del sistema.
Descripción:	Recomendar la realización de una maniobra.
Evento desencadenador:	El sistema inteligente tomó una decisión.
Tipo de desencadenador:	Externo
Pasos realizados:	Información para los pasos:
1. Se recopilan los resultados almacenados (recomendaciones).	Sistema inteligente.
2. Se buscan los resultados donde se debe realizarse una maniobra.	Sistema inteligente.
3. Se prepara mensaje al sistema SCADA recomendando la realización de una maniobra.	Sistema inteligente.
4. Se prepara la secuencia de maniobra complementaria.	Sistema inteligente.
Precondiciones:	Se tomó una decisión de acuerdo con las reglas que se tienen configuradas en la base de datos.
Post condiciones:	Se decide recomendar realizar una maniobra.
Suposiciones:	El sistema inteligente identificó correctamente la novedad presentada.
Garantía de éxito:	Se identificó cuál es la maniobra a recomendar.
Garantía mínima:	Se encontró una maniobra a recomendar de acuerdo con la novedad presentada.
Requerimientos cumplidos:	Permitir que el sistema inteligente recomiende la realización de una maniobra y tener la secuencia preparada.
Prioridad:	Alta.
Riesgo:	Alto.

TABLA 5.

Escenario de caso de uso generar acciones del sistema SCADA

Nombre del caso de uso:	Generar acciones del sistema SCADA.
Actor:	Operador del sistema, sistema SCADA.
Interesados:	Experto, operador del sistema, sistema SCADA.
Descripción:	Genera un mensaje al sistema SCADA con una recomendación.
Evento desencadenador:	Se recomendó aplicar una consigna operativa o realizar una maniobra.
Tipo de desencadenador:	Externo
Pasos realizados:	Información para los pasos:
1. Se recopilan mensajes y maniobras a ejecutar por el sistema SCADA.	Sistema inteligente.
2. Se envía un mensaje al sistema SCADA recomendando la aplicación de una consigna operativa.	Sistema inteligente.
3. Se envía un mensaje recomendando la realización de una secuencia de maniobras.	Sistema inteligente.
4. Se envía un mensaje preguntando si desea realizar la secuencia de maniobra desde el sistema SCADA.	Sistema inteligente.
4.1 El usuario no lo desea, terminar el proceso.	Sistema inteligente.
4.2 El usuario lo desea, se envía la secuencia de maniobras desde el sistema SCADA.	Sistema inteligente, sistema SCADA.
6. Se ejecutan las maniobras en los equipos del sistema eléctrico.	Sistema SCADA, sistema eléctrico.
7. Se verifica si las maniobras se ejecutaron en el sistema eléctrico.	Sistema SCADA, sistema eléctrico, sistema inteligente.
7.1 Si las maniobras se ejecutaron correctamente enviar mensaje al sistema SCADA informándolo.	Sistema inteligente, sistema SCADA.
7.2 Si las maniobras se ejecutaron correctamente enviar mensaje al sistema SCADA informándolo.	Sistema inteligente, sistema SCADA.
Precondiciones:	Se recomendó una acción de acuerdo con las reglas que se tienen configuradas en la base de datos.
Post condiciones:	Se envía un mensaje al sistema SCADA recomendando una acción.
Suposiciones:	El sistema inteligente recomendó correctamente la acción a realizar.
Garantía de éxito:	Se generó un mensaje con una recomendación.
Garantía mínima:	Se genera mensaje de acuerdo con la recomendación del sistema experto.
Requerimientos cumplidos:	Generar un mensaje.
Prioridad:	Alta.
Riesgo:	Alto.

C. Diagrama de actividad

El diagrama de actividad presenta la forma en que se realiza el proceso. Se tiene un diagrama general y diagramas particulares para cada tipo de proceso.

Diagrama de actividad general: en este se observa cómo se realiza el proceso desde la generación de la novedad en el sistema eléctrico, luego se detecta la actividad (alarma, evento, cambio topológico) en el sistema SCADA, posteriormente esta información es el insumo del sistema inteligente para decidir qué reglas se cumplen y las acciones que deben realizarse, las cuales son los mensajes de salida con la opción de realizar la maniobra automáticamente por el sistema SCADA

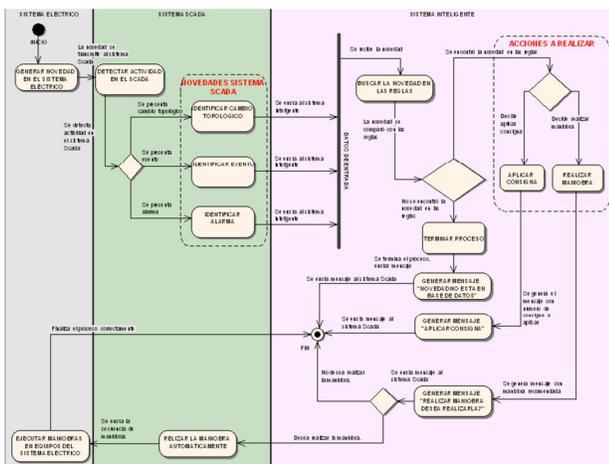


Fig. 3. Diagrama de actividad general para el modelo conceptual del sistema inteligente

Diagramas de actividad para cada escenario: los diagramas de actividad para cada escenario, muestran los procesos de acuerdo con los escenarios desplegados en los casos de uso.

Estos diagramas ayudan al ingeniero de conocimiento en la comprensión de las lógicas para la atención de los diferentes escenarios que se tienen. Se tiene el listado de todos los casos que se deben implementar: listado de maniobras, eventos, subestaciones con tensión cero y alarmas.

Diagrama de actividad para verificar la novedad en las reglas

Cuando se presenta una novedad en el sistema eléctrico, el sistema SCADA, que lo supervisa permanentemente, detectará la novedad y de acuerdo con el código SCADA se identifica correctamente y es enviada al sistema inteligente donde se clasifica como cambio topológico, evento o alarma y se busca en las reglas y en caso de estar incluida se incluirá en el análisis del sistema inteligente o en caso negativo se generará un mensaje de "Novedad no está en base de datos" refiriéndose a que lo que la novedad presentada no se está en las reglas del sistema inteligente.

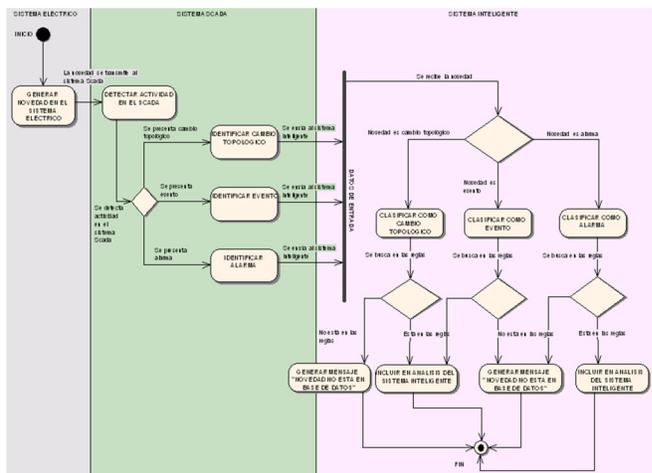


Fig. 4. Diagrama de actividad para verificar la novedad en las reglas.

Diagrama de actividad para definir la acción a tomar.

Luego de haber verificado si la novedad debe seguir el proceso, por estar en las reglas del sistema inteligente, se continúa con la definición de la acción a tomar mediante la búsqueda de la recomendación almacenada en las reglas

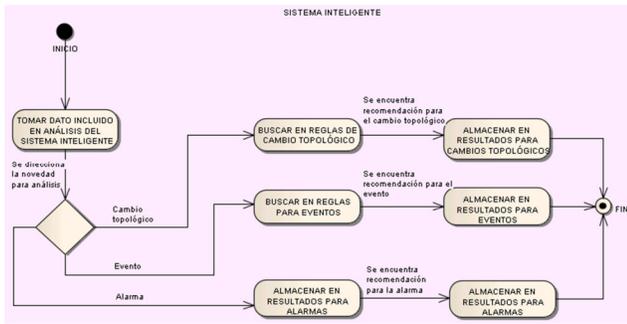


Fig. 5. Diagrama de actividad para definir la acción a tomar.

Diagrama de actividad para aplicar consigna operativa

Luego de definir la acción a tomar (recomendación) y almacenar los resultados, el sistema inteligente debe verificar si para el resultado objeto de análisis se aplica una consigna operativa, en caso afirmativo debe verificar si requiere adicionalmente hacer una maniobra, en caso negativo debe cancelar el proceso. De requerirse una maniobra se preparará la secuencia de maniobra para realizarla desde el sistema SCADA y se envía este requerimiento al sistema SCADA, además del mensaje asociado, en caso negativo debe preparar el mensaje “Esta novedad no requiere maniobra”.

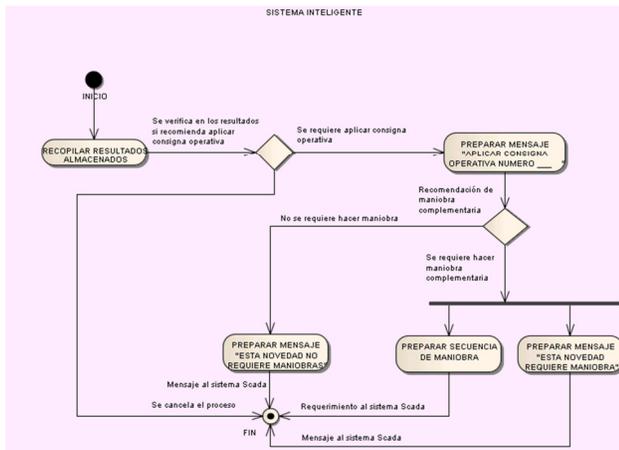


Fig. 6. Diagrama de actividad para aplicar consigna operativa.

Diagrama de actividad para realizar maniobra

El sistema inteligente debe verificar si en los resultados almacenados se recomienda realizar una maniobra, en caso negativo se cancela el proceso, en caso afirmativo, se prepara la secuencia de maniobra y se envía este requerimiento al sistema SCADA, además se preparará el mensaje “Realizar maniobra ___” el cual debe describir cuál es la maniobra y sobre qué elemento.

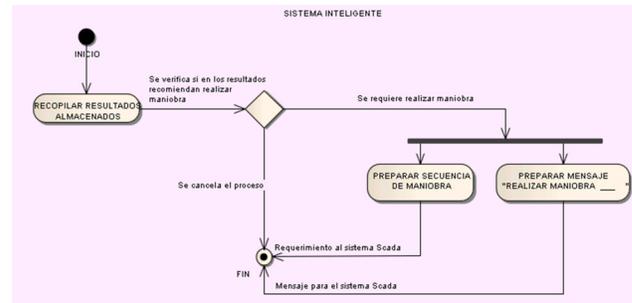


Fig. 7. Diagrama de actividad para realizar maniobra.

Diagrama de actividad para generar acciones en el sistema SCADA

La actividad para generar acciones en el sistema SCADA, recopila los mensajes y las secuencias de maniobras que fueron preparados, tanto maniobras complementarias como las secuencias producto de una novedad específica. El sistema debe mostrar los mensajes al usuario y dar la opción de realizar las maniobras de acuerdo con la secuencia automática, en caso de realizar la secuencia de maniobras automáticas se debe evaluar si fue correcta su ejecución en el sistema eléctrico e informarle al usuario.

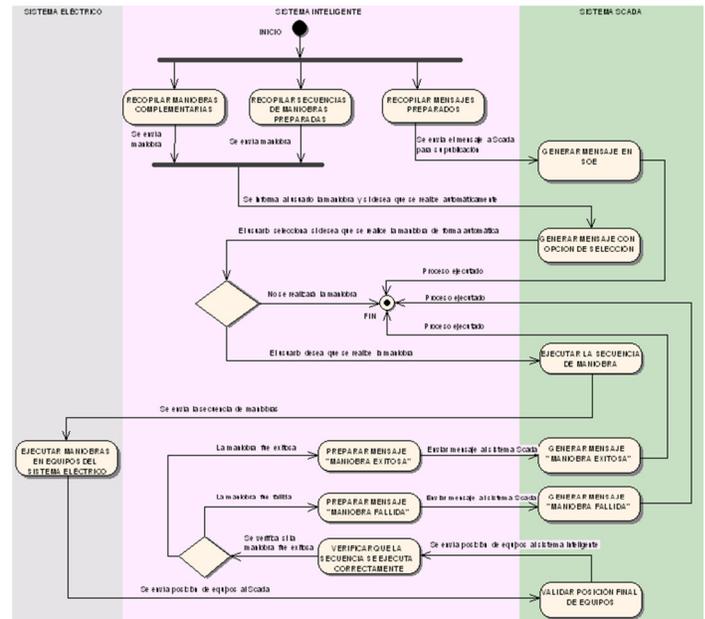


Fig. 8. Diagrama de actividad para generar acciones en sistema SCADA.

D. Diagrama de secuencia

Un diagrama de secuencia muestra el orden de las actividades y las relaciones entre las clases o instancias de objetos a través del tiempo.

Diagrama de secuencia general: En el sistema eléctrico se presentan novedades (cambios topológicos, eventos y alarmas), las cuales son detectadas por el sistema SCADA y transmitidas al sistema inteligente el cual hace un recorrido

por la lista de equipos y novedades y por las reglas programadas buscando qué condición se cumple para generar un mensaje y la alternativa de ejecutar una secuencia de maniobra, que en caso de realizarse tendrá la verificación de ejecución en el sistema eléctrico e informarlo al usuario.

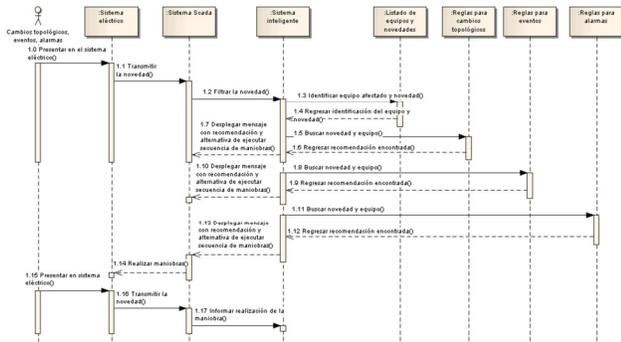


Fig. 9. Diagrama de secuencia general para el modelo conceptual del sistema inteligente.

Diagramas de secuencia para cada escenario: los diagramas de secuencia para cada escenario, muestran los procesos de acuerdo con los escenarios desplegados en los casos de uso.

Diagrama de secuencia para verificar si la novedad está en las reglas.

Cuando se presenta una novedad en el sistema eléctrico, el sistema inteligente es informado a través del sistema SCADA e interrogará por cada elemento configurado hasta encontrar cuál fue el activo involucrado (en el listado de equipos y novedades) y si encuentra el elemento lo deberá incluir en el análisis. En la siguiente figura se muestra el diagrama de secuencia para verificar si la novedad está en las reglas del modelo conceptual del sistema inteligente.

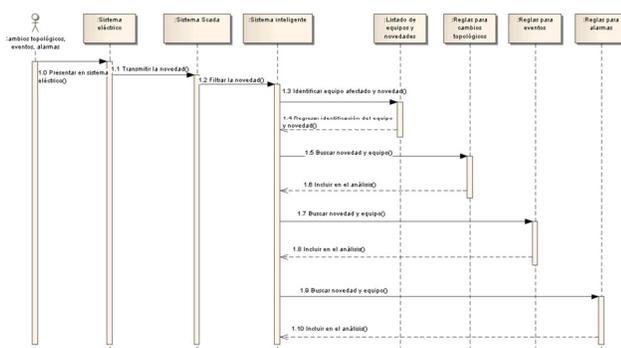


Fig. 10. Diagrama de secuencia para verificar si la novedad está en las reglas.

Diagrama de secuencia para definir la acción a tomar

Para los activos que se hayan incluido en el análisis, el sistema inteligente buscará en las reglas que apliquen cuál es la recomendación y la almacenará.

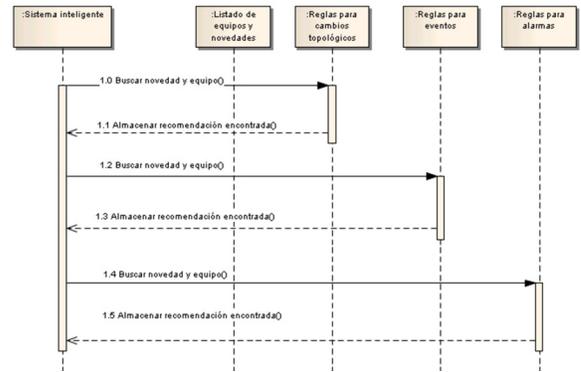


Fig. 11. Diagrama de secuencia para definir la acción a tomar.

Diagrama de secuencia para aplicar consigna operativa

Luego de definir la acción a tomar (recomendación) y almacenar los resultados, el sistema inteligente debe verificar si para el resultado objeto de análisis se aplica una consigna operativa y si requiere adicionalmente hacer una maniobra. De requerirse una maniobra se preparará la secuencia de maniobra para realizarla desde el sistema SCADA y se envía este requerimiento al sistema SCADA.

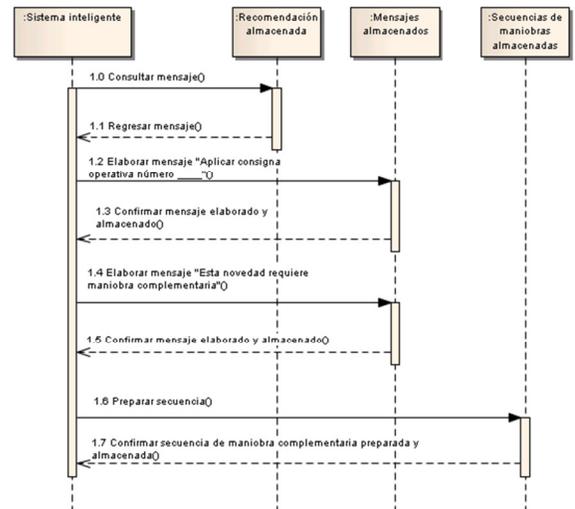


Fig. 12. Diagrama de secuencia para aplicar consigna operativa.

Diagrama de secuencia para realizar maniobra

El sistema inteligente debe verificar si en los resultados almacenados se recomienda realizar una maniobra, en caso afirmativo se prepara la secuencia de maniobra y se envía este requerimiento al sistema SCADA, además se preparará el mensaje “Realizar maniobra _____” el cual debe describir cuál es la maniobra y sobre qué elemento.

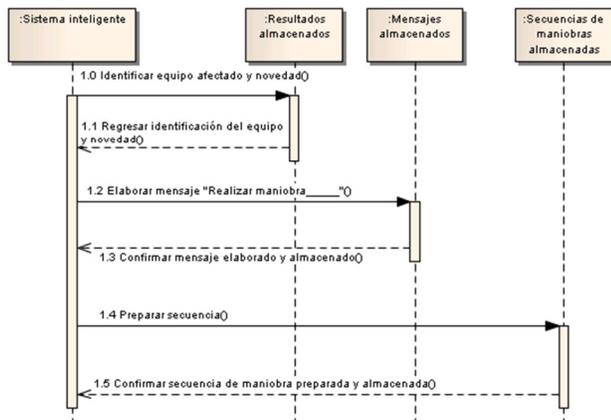


Fig. 13. Diagrama de secuencia para realizar maniobra

Diagrama de secuencia para generar acciones en el sistema SCADA

Se recopilan los mensajes y las secuencias de maniobras que fueron preparados, tanto maniobras complementarias como las secuencias producto de una novedad específica. El sistema debe mostrar los mensajes al usuario y dar la opción de realizar las maniobras de acuerdo con la secuencia automática, en caso de realizar la secuencia de maniobras automáticas se debe evaluar si fue correcta su ejecución en el sistema eléctrico e informarle al usuario.

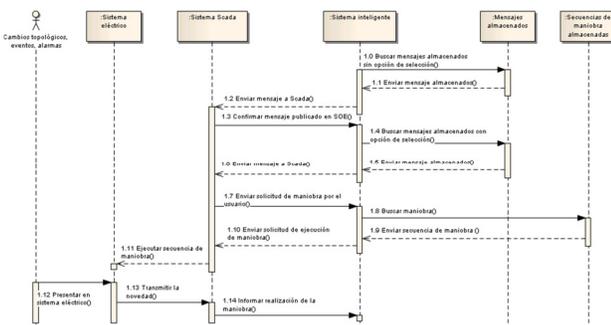


Fig. 14. Diagrama de secuencia para generar acciones en el sistema SCADA.

E. Diagrama de dominio

Muestra las relaciones existentes entre las diferentes entidades relacionadas con el proyecto. Para la elaboración del diagrama de dominio se utilizan diagramas de clase, los cuales tienen como atributos los elementos sobre los cuales aplican las clases.

Se determinaron las siguientes clases:

Alarma: es la señal que se puede presentar en los activos indicando alguna situación que debe ser gestionada por parte del operador. En el caso que nos ocupa se tendrán las alarmas de los reactores de línea sin interruptor.

Cambio topológico: es un estado de conexión o desconexión de activos que se tiene en el sistema. Estos son ejecutados por el operador del activo y dependiendo de la maniobra realizada se debe ejecutar una acción que ayude a disminuir la vulnerabilidad del sistema eléctrico.

Evento: es la salida de un activo ante falla en el equipo o en

el sistema eléctrico.

Sistema inteligente: es el sistema encargado de generar las recomendaciones necesarias ante la presencia de cualquier alarma, evento o cambio topológico que se encuentre configurado en las reglas.

Experto: es un insumo importante en la operación, pues es el encargado de la generación y actualización de las reglas del sistema inteligente. La experiencia a nivel de empresa está depositada en las consignas operativas y la experiencia del operador se construye con su gestión en tiempo real.

Sistema eléctrico: conformado por la generación, transmisión, distribución y los usuarios, los cuales son supervisados por el sistema SCADA. Para el caso del presente trabajo se considera el Sistema de Transmisión Nacional de Colombia.

Activo: es cada equipo del sistema eléctrico que está considerado en las reglas, como atributos tiene los elementos que hacen parte del sistema y que son objeto de supervisión por parte del sistema SCADA (autotransformadores y transformadores de potencia, condensadores, líneas de transmisión, reactores y subestaciones).

Sistema SCADA: es la herramienta que tiene el operador para supervisar y operar el sistema eléctrico a su cargo y donde se mostrarán los mensajes del sistema inteligente y se podrán ejecutar las maniobras sobre los equipos.

Consignas operativas: se refiere a los procedimientos que se deben aplicar ante una novedad en el sistema eléctrico. Como atributos tiene todas las posibles consignas operativas a aplicar.

Usuario: el usuario del sistema será el operador del Centro de Supervisión y Maniobras de INTERCOLOMBIA S.A. responsable de la supervisión y operación del sistema eléctrico propiedad de Interconexión eléctrica S.A. En un futuro se podría considerar como usuarios al operador del Centro Nacional de Despacho CND y a otros agentes del sector ampliando el sistema eléctrico a todo el Sistema de Transmisión Nacional.

Acción: es la actividad producto de las consignas operativas o de las reglas implementadas que se debe realizar ante una novedad en el sistema eléctrico.

Mensaje: es la recomendación que se presentará en el sistema, producto de las reglas implementadas para minimizar la vulnerabilidad de éste. El mensaje puede ser aplicar una consigna, ejecutar una maniobra o ambos.

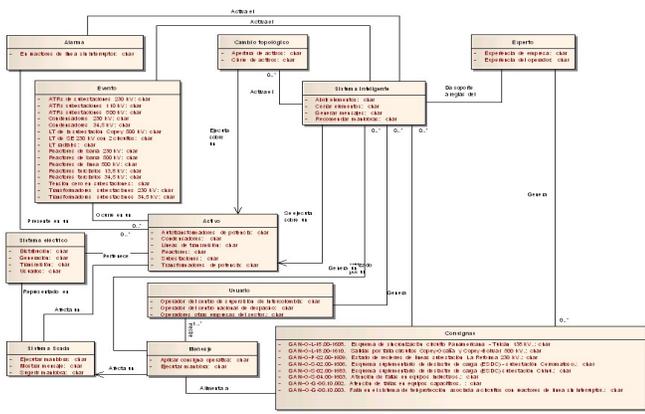


Figura 15. Diagrama de dominio para el modelo conceptual del sistema inteligente.

F. Diagrama de estados

El diagrama de estados, se utiliza para examinar los distintos estados que puede tener un objeto. A continuación se muestran los cambios de estado para alarmas, eventos, cambios topológicos, activos, consignas operativas y mensajes que son los objetos que presentarán cambios durante el proceso.

Diagrama de estados para alarmas

Las alarmas son un tipo de novedad generadas por un activo del sistema eléctrico y detectadas por el sistema SCADA (alarma detectada en el sistema SCADA), donde se verifica si el formato y la estampa de tiempo son correctos (alarma para análisis) para proceder a verificar si está presente en las reglas configuradas (alarma en reglas) y buscar una recomendación para atender la novedad (alarma con recomendación) que será entregada en forma de mensaje.



Fig. 16. Diagrama de estados para alarmas.

Diagrama de estados para eventos

Los eventos son un tipo de novedad generados por un activo del sistema eléctrico y detectados por el sistema SCADA (evento detectado en el sistema SCADA), donde se verifica si

el formato y la estampa de tiempo son correctos (evento para análisis) para proceder a verificar si está presente en las reglas configuradas (evento en reglas) y buscar una recomendación para atender la novedad (evento con recomendación) que será entregada en forma de mensaje.

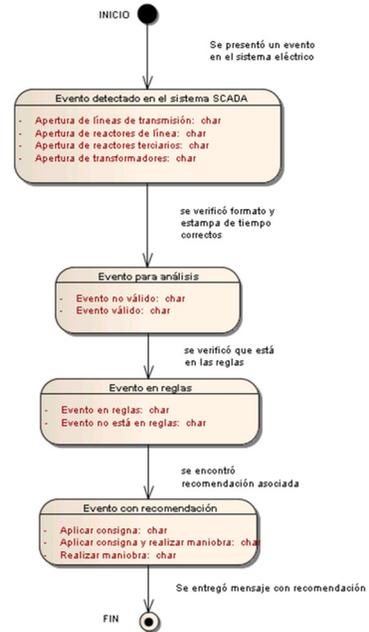


Fig. 17. Diagrama de estados para eventos.

Diagrama de estados para cambios topológicos

Los cambios topológicos son un tipo de novedad generados por un activo del sistema eléctrico y detectados por el sistema SCADA (cambio topológico detectado en el sistema SCADA), donde se verifica si el formato y la estampa de tiempo son correctos (cambio topológico para análisis) para proceder a verificar si está presente en las reglas configuradas (cambio topológico en reglas) y buscar una recomendación para atender la novedad (cambio topológico con recomendación) que será entregada en forma de mensaje.

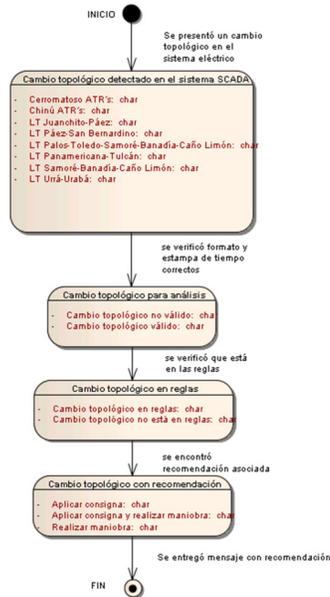


Fig. 18. Diagrama de estados para cambios topológicos.

Diagrama de estados para activos

Los activos son los componentes del sistema eléctrico en los cuales ocurren las novedades, cuando el sistema inteligente decide aplicar una consigna se tiene un activo con novedad y se procede a encontrar una acción a realizar obteniéndose un activo en atención que al ser afectado por esta debe considerarse un activo normalizado, en caso contrario continuará la novedad presente y debe nuevamente aplicarse el procedimiento. Hay algunas novedades en las cuales los activos no requieren atención, esto es porque son novedades menores, no están configuradas en las reglas del sistema inteligente.

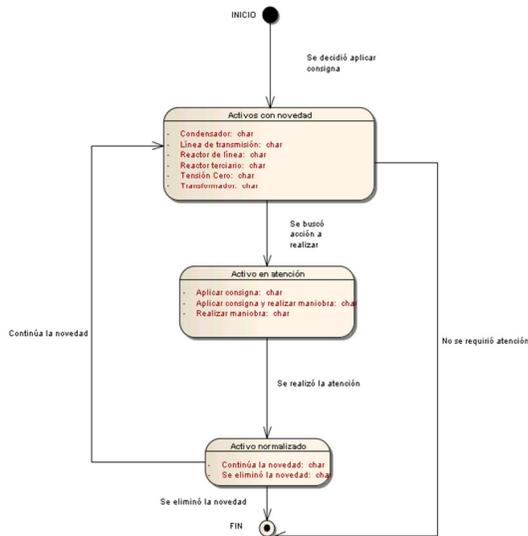


Fig. 19. Diagrama de estados para activos.

Diagrama de estados para consignas operativas

Las consignas operativas son los procedimientos con los

cuales se atenderán las novedades que se presentan en el sistema eléctrico. Una consigna operativa tendrá el estado de consigna recomendada cuando el sistema inteligente decida que ella es la mejor opción para atender una novedad en un activo, y tendrá el estado de consigna entregada cuando el sistema inteligente le informe al operador del sistema eléctrico su recomendación.

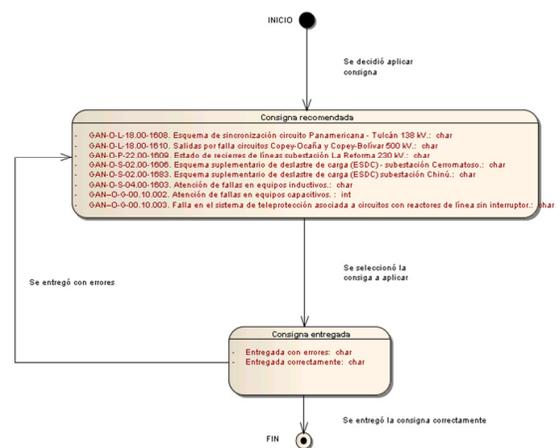


Fig. 20. Diagrama de estados para consigna operativa.

Diagrama de estados para mensajes

Los mensajes son la forma de comunicación entre el sistema inteligente y el operador del sistema eléctrico. Un mensaje tendrá el estado de mensaje almacenado cuando producto de buscar una recomendación o consigna operativa para atender una novedad, el sistema inteligente haya elaborado un mensaje para el usuario y lo deposite en el sistema SCADA para su publicación, y tendrá el estado de mensaje procesado cuando el sistema SCADA lo entregue al operador del sistema eléctrico.

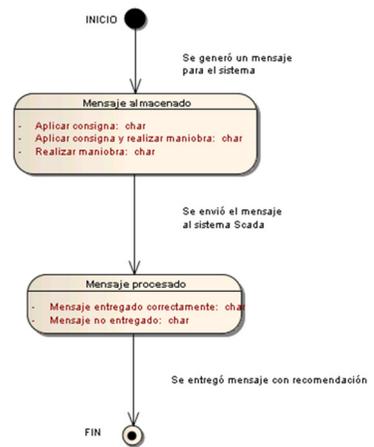


Fig. 21. Diagrama de estados para mensajes.

XI. CONCLUSIONES

El presente trabajo plantea un sistema inteligente capaz de

interpretar una novedad que se presenta en el sistema eléctrico, buscar una recomendación para atender dicha novedad y mostrarla al operador del centro de control, con la opción de realizar maniobras propuestas de forma automática.

El sistema inteligente propuesto ofrece las siguientes ventajas y beneficios:

- Incorporación de las experiencias operativas a través de los conocimientos recopilados en las consignas operativas y las recomendaciones.

- Aumento de la seguridad en la operación de sistemas eléctricos, debida a la reducción de errores en la operación siempre que se tengan correctamente identificados los casos en las reglas del sistema inteligente. El operador del sistema eléctrico no dependerá del acceso a documentos, recuerdos o consultas externas, pues el sistema de reglas permanecerá actualizado y ofrecerá la información en cuanto se presente la novedad.

- Posibilidad de aplicación en empresas del sector eléctrico. El presente trabajo, no se limita al Centro de Supervisión y Maniobras de INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. sino que es aplicable a cualquier centro de control o supervisión de sistemas eléctricos de potencia, adaptando el modelo a las particularidades operativas y necesidades propias del usuario.

- El sistema inteligente basado en reglas o sistema experto es una aplicación de fácil manejo y sencillo en su implementación. El sistema utiliza como insumo las reglas ofrecidas por un experto en operación de sistemas de potencia, tiene la posibilidad de ser alimentado con nuevas reglas que se vayan presentando en el sistema y eliminando reglas que ya no apliquen, por ejemplo, ampliación de subestaciones, cambios topológicos permanentes, entre otros.

- Posibilidad de implementación en el sistema SCADA. Los sistemas modernos ofrecen herramientas para gestión de información, en las cuales se puede implementar un sistema basado en reglas, como lo ofrece el sistema Monarch, desarrollado por OSI, utilizado por varias empresas del Grupo ISA (INTERCOLOMBIA, REP, TRANSELCA). En el anexo 6 Aplicación en sistema Monarch se puede observar lo que podría ser su implementación.

Para el éxito en la implementación del presente modelo, el ingeniero de conocimiento encargado debe tener claridad en las necesidades del proyecto, por lo que se requiere la participación activa de todas las áreas involucradas, aportando sugerencias, considerando nuevos casos, eliminando casos que no apliquen, contribuyendo a la creación de un modelo acorde con la situación actual del sistema eléctrico. Luego de creado el sistema inteligente y en productivo, se requiere una alimentación permanente de las bases de datos con nuevas reglas para tener un sistema actualizado y acorde con las necesidades operativas.

XII. TRABAJO FUTURO

El presente trabajo integra varios aspectos a nivel de ingeniería como manejo de sistemas de control y supervisión de sistemas eléctricos, la experiencia en operación de sistemas de potencia, manejo de sistemas inteligentes, establecimiento de reglas para la atención de novedades y utilización de

herramientas operativas como el sistema SCADA, consignas de operación, secuencias de maniobra, además de la utilización de programas para el manejo de inteligencia artificial, elaboración de diagramas UML y el mismo sistema SCADA. Con la combinación de estos elementos y sus resultados, no sólo se puede lograr el presente documento, sino que se puede evaluar la aplicación de proyectos para mejoramiento de los procesos de operación mediante la incorporación de inteligencia artificial en tiempo real, como son:

Generación automática de reglas mediante un sistema inteligente. Se espera que de acuerdo con las acciones realizadas por el operador del sistema eléctrico en tiempo real pueda generar recomendaciones y secuencias de maniobras sin necesidad de tener un experto que alimente las reglas, esto es, que en el proceso diario de operación el sistema recomiende nuevas reglas ante las novedades detectadas en el sistema eléctrico. Con esto la generación de reglas no tendría la dependencia de un experto, sólo validaría las recomendaciones.

Buscar un sistema inteligente que tenga reglas del sistema eléctrico de varios operadores y ante novedades presentadas en un sistema eléctrico genere recomendaciones para el operador considerando un universo mayor de posibilidades.

Investigar cómo puede realizarse la implementación de un sistema inteligente basado en reglas para operación de plantas de generación, esto por la complejidad de los parámetros de sistema y en la operación de las unidades de generación.

Investigar en los sistemas SCADA de los diferentes fabricantes, cuáles son las últimas novedades sobre la aplicación de sistemas inteligentes para la operación de sistemas eléctricos de potencia. Dependiendo de los avances que se tengan se pueden implementar las reglas directamente en el sistema SCADA con mayores aplicaciones que contribuyan a mejorar la seguridad en la operación, en el anexo 6 se muestra el ejemplo de lo que puede ser la aplicación en el sistema SCADA Monarch de INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.

A. APLICACIÓN EN EL GRUPO ISA : dada la importancia que tiene para Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. el proceso de operar la red eléctrica en los países donde tiene presencia, se recomienda iniciar la exploración e implementación del presente trabajo en INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. teniendo en cuenta los siguientes lineamientos:

Crear un equipo de trabajo conformado entre otros por especialistas en operación de sistemas de potencia eléctrico, ingenieros de conocimiento y especialistas del sistema SCADA. Involucrar a los ingenieros de conocimiento del proyecto de tal forma que entiendan correctamente qué es lo que se requiere de la herramienta.

Determinar las mejores opciones en cuanto a herramientas computacionales, esquema de trabajo, cronogramas, grupos de trabajo, para implementar un sistema experto seguro y confiable en el sistema SCADA.

Establecer o adaptar las reglas para el sistema experto basados en las necesidades del momento para apoyar la

operación. Es posible que algunas reglas deban ser agregadas por la entrada de nuevos proyectos, cambios topológicos y otros.

Seleccionar la forma adecuada para la implementación del sistema experto, bien sea en el sistema SCADA Monarch o en un aplicativo independiente que se puede conseguir a nivel comercial o apoyado por la Academia.

Implementar la solución por etapas, inicialmente a nivel de alarmas y luego evolucionar a cambios topológicos y maniobras.

Realizar pruebas preliminares con los operadores del sistema eléctrico de tal forma que se obtengan opiniones y sugerencias del Usuario sobre la herramienta.

Realizar correctivos y luego iniciar la puesta en operación del sistema experto.

Definir un sistema de seguimiento, actualización de reglas e realimentación por parte del Usuario.

De acuerdo con los resultados obtenidos, evaluar la posibilidad de implementación de la herramienta en otras empresas del Grupo de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P.

Compartir las experiencias con otras empresas del sector y con la Academia.

Continuar con el desarrollo del sistema inteligente de tal forma que se adapte a los avances tecnológicos y a los requerimientos de seguridad en la operación.

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor sentimiento de gratitud a INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. e Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. empresas que siempre me han brindado su apoyo, así como el equipo de operadores del CSM de INTERCOLOMBIA cuya amplia experiencia ha sido un insumo valioso para la elaboración de este trabajo.

Agradecimientos también a la asesoría y colaboración de los ingenieros Catalina Gil, Sandro Úsuga y John Albeiro Calderón.

REFERENCIAS

- Sparx Systems. (2015). Retrieved from Enterprise Architect UML Design Tools and UML Case tools for software development: <http://www.sparxsystems.com/products/ea/index.html>
- Adaraga Morales P., Z. S. (1994). *Psicología e inteligencia artificial*. Madrid: Editorial Trotta.
- Andrés, T. d. (2002). *Homo Cybersapiens. La Inteligencia artificial y la humana*.
- Benito Matías, T., & Durán Vicente, M. (n.d.). *Lógica borrosa*. Universidad Carlos III, Madrid.
- Castillo, E., Hadi, A. S., & Gutiérrez, J. M. (1998). *Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas*. Madrid: Academia Española de Ingeniería.
- Castro, J. A. (2011). Diagramas entidad relación y de clases de UML en el modelado de gobierno electrónico. *Laboratorio de Investigación de Tecnologías y Sistemas de Información Computación, Universidad Del Zulia. Maracaibo, Zulia. República Bolivariana de Venezuela*.
- Checkland, P., & Poulter, J. (n.d.). *Soft Systems Methodology Método radical para integrar actividades organizativas*.
- Durant, K. (n.d.). Entity Relationship Model . *Entity Relationship Model* .
- Elders, I., Centre for Electr. Power Eng., S. U., Burt, G. M., McDonald, J., & Spiller, J. (n.d.). The application of an intelligent system to power network operation and control. *Intelligent Systems Applications to Power Systems, 1996. Proceedings, ISAP '96., International Conference on*, (pp. 170-174).
- García Báez, P. (n.d.). Introducción a las redes neuronales y su aplicación a la investigación astrofísica. Instituto de astrofísica de Canarias.
- Gemino, A., & Wand, Y. (2003). Evaluating modeling techniques based on models of learning. *Communications of the ACM*.
- Gemino, A., & Wand, Y. (2004). A framework for empirical evaluation of conceptual modeling techniques. *Requeriments Engineering*.
- Gonzalo, L. M. (1987). *Inteligencia Humana e Inteligencia Artificial*. Madrid.
- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-G-00.10.002. Consigna operativa - atención de fallas en equipos capacitivos*. . Medellín.
- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-G-00.10.003. Consigna operativa - falla en el sistema de teleprotección asociada a circuitos con reactores de línea sin interruptor*. Medellín.
- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-L-18.00-1608. Consigna operativa - esquema de sincronización circuito Panamericana - Tulcán 138 kV*. Medellín.
- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-L-18.00-1610. Consigna operativa - salidas por falla circuitos Copey-Ocaña y Copey-Bolívar 500 kV*. Medellín.
- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-P-22.00-1609. Consigna operativa - estado de recierres de líneas subestación La Reforma 230 kV*. Medellín.

- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-S-02.00-1606. Consigna operativa - esquema suplementario de deslastre de carga (ESDC) - subestación Cerromatoso*. Medellín.
- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-S-02.00-1683. Consigna operativa – esquema suplementario de deslastre de carga (ESDC) subestación Chinú*. Medellín.
- Intercolombia S.A. E.S.P. (2015). *GAN-O-S-04.00-1603. Consigna operativa - atención de fallas en equipos inductivos*. Medellín.
- ISSN, R. “. (n.d.). *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*.
- Ju, K., Duisburg Univ., G., Krost, G., & Rumpel, D. (1996). Expert system for interlocking and sequence switching [power system control]. *Intelligent Systems Applications to Power Systems, 1996. Proceedings, ISAP '96., International Conference on*, (pp. 385-389).
- Kendall, K. &. (2011). *Análisis y diseño de sistemas*. Camden, New Jersey: Prentice Hall.
- Krivine, J.-P., Direction des Etudes et Recherches, E. d., & Jehl, O. (n.d.). The AUSTRAL system for diagnosis and power restoration: an overview. *Intelligent Systems Applications to Power Systems, 1996. Proceedings, ISAP '96., International Conference on*, (pp. 180-186).
- Krost, G., Duisburg Univ., G., Spanel, U., & Muller, C. (n.d.). Self-acting expert systems in electric energy system operation. *Intelligent Systems Applications to Power Systems, 1996. Proceedings, ISAP '96., International Conference on*, (pp. 352-356).
- Lee, C. (1995). *Assessing the Value of Conceptual Modeling*. University of Arizona, Tucson, AZ 85721.
- Lee, C. (n.d.). *Assessing the Value of Conceptual Modeling:.* University of Arizona, Tucson, AZ 85721.
- Oldfield, P. (2002). *Domain Modelling*. Retrieved from www.aptprocess.com
- Oldfield, P. (2002). *Domain Modelling*.
- Pin, V. G. (2006). *Entre lobos y autómatas. La causa del hombre*. Madrid.
- Serrano, A. G. (2012). *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*. Editorial RC Libros.
- Sistemas Expertos*. (n.d.). Retrieved from <http://sistemasespertos2012.blogspot.com/2012/11/proceso-de-desarrollo-de-sistemas.html>
- Vale, Z., Dept. of Elelctr. & Comput. Eng., P. U., Faria, L., Ramos, C., & Fernandez, M. (n.d.). Towards more intelligent and adaptive user interfaces for control center applications. *Intelligent Systems Applications to Power Systems, 1996. Proceedings, ISAP '96., International Conference on*, (pp. 2-6). Porto.
- Vale, Z., & C., R. (n.d.). Temporal reasoning methodologies used in AI applications for power system control centers. *Intelligent Systems Applications to Power Systems, 1996. Proceedings, ISAP '96., International Conference on*, (pp. 357-361).
- Zicari, R. (1992). *Conceptual Modeling, Databases, and Case An integrated view of information systems development*. New York.
- Zicari, R. (n.d.). *Conceptual Modeling, Databases, and Case An integrated view of information systems development*. New York.

BIOGRAFÍA



Gustavo Girón estudió ingeniería eléctrica en la universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Actualmente postulante a Magíster en ingeniería en la Universidad Pontificia Bolivariana y se desempeña como analista de operación del Centro de Supervisión y Maniobras de la empresa

Intercolombia S.A. E.S.P.