

**SOFTWARE PARA APOYAR EL ENTRENAMIENTO
DE LOS OPERADORES DE LAS SUBESTACIONES
DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**BETTY ALEXANDRA GUALDRÓN VASQUEZ
LILIANA CLEMENCIA DÍAZ GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA**

2004

**SOFTWARE PARA APOYAR EL ENTRENAMIENTO
DE LOS OPERADORES DE LAS SUBESTACIONES
DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**BETY ALEXANDRA GUALDRÓN VASQUEZ
LILIANA CLEMENCIA DÍAZ GONZÁLEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero de Sistemas**

Director

Dr. Gilberto Carrillo Caicedo

Codirectora

Dra. Martha Vitalia Corredor Montagut

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

*A mi hijo, fuente de inspiración
Para la culminación de este trabajo.
A Javier, por su apoyo y comprensión.
A mis compañeros de proyecto,
Por compartir conmigo
Estos años de trabajo.*

Liliana Clemencia

DEDICATORIA

*A Dios, por ser la luz que guía mi camino.
A mi madre a quien le debo todo lo que soy.
A mi hermana por confiar en mí
Y alentarme a seguir adelante.
A mis compañeros de proyecto
Por compartir conmigo
Este tiempo de trabajo.*

Betty Alexandra.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Ente forjador de nuestra formación profesional.

GILBERTO CARRILLO CAICEDO. Por aceptar dirigir este proyecto y sus valiosas orientaciones.

MARTHA VITALIA CORREDOR MONTAGUTH. Por su importante colaboración para el logro de este trabajo.

LUIS CARLOS GOMEZ FLORES. Por su constante ánimo y disposición para colaborarnos.

JORGE JAIMES Y SU GRUPO DE TRABAJO. Por su importante aporte, ya que sin ustedes este proyecto no se hubiera cristalizado.

GRUPO GISEL. Por su asesoría en Ingeniería Eléctrica y los recursos suministrados.

GRUPO STI. Por facilitarnos las cosas en todo momento

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. ASPECTOS GENERALES	18
1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2 OBJETIVOS	28
1.2.1 Objetivo General	28
1.2.2 Objetivos Específicos	28
2. OPERACIÓN DE SUBESTACIONES ELECTRICAS	30
2.1 CLASIFICACIÓN DE SUBESTACIONES	30
2.2 ASPECTOS DE LAS CONFIGURACIONES	31
2.3 EQUIPOS DE PATIO	32
2.3.1 Interruptores de Potencia o Disyuntores	32
2.3.2 Seccionadores	32
2.3.3 Transformador de Potencia	33
2.3.4 Transformadores de Medida y de Protección	33
2.3.5 Transformadores de Corriente	33
2.3.6 Transformadores de Tensión	33
2.3.7 Pararrayos	34
2.3.8 Trampas de Onda	34
2.4 SISTEMAS ESENCIALES	35
2.4.1 Servicios Auxiliares	36
2.4.2 Esquematización	36
2.5 SISTEMAS FUNCIONALES	38
2.5.1 Sistemas de Comunicaciones	38
2.5.2 Sistema de Protecciones	38
2.5.3 Sistema de Medida	39
2.5.4 Sistema de Registro de Fallas	41
2.5.5 Sistema de Alarmas y Señalización	43
2.6 MANUAL DE OPERACIÓN	45
2.6.1 Consigna Operativa	47
2.6.1.2 Consignas Operativas para Equipos de Patio	49
2.6.1.3 Consignas Operativas para Equipos de Soporte	50
2.6.2 Consignas Bajo Falla	51
2.6.3 Recursos de la Consigna Bajo Falla	55
2.7 FORMACIÓN POR COMPETENCIAS LABORALES	62
3. MARCO CONCEPTUAL	63
3.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	63

3.1.1 Breve Historia, Evolución y Estado Actual	67
3.1.2 Áreas y Aplicaciones	67
3.2 SISTEMA BASADOS EN EL CONOCIMIENTO (SBC)	69
3.2.1 Esquema General de un Sistema Basado en el Conocimiento	70
3.2.1.1 Base de Conocimiento	70
3.2.1.2 Motor de Inferencia	70
3.2.1.3 Interfase de Usuario	71
3.2.1.4 Justificación	72
3.2.2 Etapas de Desarrollo de un SBC	72
3.2.2.1 Análisis Previo	72
3.2.2.2 Análisis de la Tarea	72
3.2.2.3 Construcción del Prototipo	73
3.2.2.4 Desarrollo del Sistema	73
3.2.2.5 Pruebas de Campo	73
3.3 REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO	73
3.3.1 Criterios de Evaluación de la Representación	74
3.3.2 Esquemas de Representación del Conocimiento	76
3.3.2.1 Representación Declarativa	76
3.3.2.2 Representación Procedimental	77
3.3.3 Técnicas de Representación del Conocimiento	78
3.3.3.1 Lógica Formal	78
3.3.3.2 Redes Semánticas	84
3.3.3.3 Marcos	88
3.3.3.4 Reglas de Producción	94
3.3.3.5 Razonamiento Basado en Casos	105
4. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	108
4.1 FASE DE INICIO	109
4.1.1 Planeación	109
4.1.1.1 Hitos de la Fase de Inicio	110
4.1.1.2 Flujos, Actividades y Productos a Entregar en la Fase de Inicio	110
4.1.1.3 Estudio de la Viabilidad del Proyecto	111
4.1.2 Captura de Requisitos	111
4.1.2.1 Lista de Características	111
4.1.2.2 Lista de Requisitos Iniciales del Sistema	112
4.1.2.3 Contexto del Sistema	115
4.1.2.4 Modelo General de Casos de Uso	116
4.1.2.5 Actores y Casos de Uso	118
4.1.2.6 Modelo de Casos de Uso General	120
4.1.2.7 Riesgos Críticos	121
4.1.3 Análisis	122
4.1.3.1 Descripción de Casos de Uso	122
4.1.3.2 Casos de uso en detalle	125
4.1.3.3 Requisitos Adicionales	126
4.1.3.4 Análisis de la Arquitectura	127
4.1.3.5 Modelo de Análisis	127
4.1.3.6 Paquetes de Análisis General	127
4.1.3.7 Clases de Entidad Derivadas del Modelo de Dominio	129

4.1.4	Diseño de la Arquitectura	130
4.1.5	Evaluación	131
4.1.5.1	Resultado de la Fase de Inicio	132
4.1.5.2	Desarrollo de los Modelos de Casos de Uso	132
4.1.5.3	Vista de la Arquitectura	133
4.1.5.4	Cumplimiento de los Criterios	134
4.2	FASE DE ELABORACIÓN	135
4.2.1	Planeación	135
4.2.1.1	Hitos	136
4.2.1.2	Flujos, Actividades y Productos a Entregar en la Fase de Elaboración	136
4.2.1.3	Iteración Única. Determinación de una Arquitectura Estable	137
4.2.1.4	Captura de Requisitos	137
4.2.2	Actores y Casos de Uso	137
	Casos de Uso	138
4.2.3	Análisis	139
4.2.3.1	Análisis de la Arquitectura	139
4.2.3.2	Paquetes de Análisis de Gestión	139
4.2.3.3	Análisis de los Casos de Uso	140
4.2.4	Diseño	144
4.2.5	Implementación	150
4.2.6	EVALUACIÓN	151
4.2.6.1	Desarrollo del Modelo de Casos de Uso	151
4.2.6.2	Vista de la Arquitectura	152
4.2.6.3	Cumplimiento de Criterios	152
4.3	FASE DE CONSTRUCCIÓN	152
4.3.1	Planeación de la Fase de Construcción	153
4.3.1.1	Hitos y Asignaciones de Tiempo	153
4.3.1.2	Flujos, Actividades y Productos a Entregar en la Fase de Construcción	154
4.3.2	Implementación de Subsistemas Generales	155
4.3.2.1	Subsistema de Gestión de Usuarios	155
4.3.2.2	Subsistema de Gestión de Interfase	156
4.3.3	Subsistemas Específicos	162
4.3.3.1	Subsistema de Administración	162
4.3.3.2	<i>Subsistema de Consignas</i>	164
4.3.3.3	Subsistema de Tutorial	168
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	170
6.	BIBLIOGRAFÍA	173

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Algunas definiciones de IA agrupadas en cuatro categorías [Russell, Norving, 1996].</i>	66
<i>Tabla 2. Criterios generales de evaluación de Técnicas de Representación del Conocimiento.</i>	76
<i>Tabla 3 Sintaxis de la Lógica</i>	80
<i>Tabla 4 Tabla de verdad proposicional.</i>	81
<i>Tabla 5. Listado de requisitos.</i>	114
<i>Tabla 6 Proceso de negocio. Administrar Base de Conocimiento.</i>	117
<i>Tabla 7 Proceso de negocio. Consultar consignas</i>	117
<i>Tabla 8 Proceso de negocio. Seguir Tutorial.</i>	117
<i>Tabla 9. Usuarios identificados en el sistema</i>	119
<i>Tabla 10. Descripción del modelo general de casos de uso.</i>	120
<i>Tabla 11 Riesgos Críticos del Sistema</i>	121
<i>Tabla 12 Descripción de los casos de uso “administración de usuarios y base de conocimiento”.</i>	123
<i>Tabla 13 Casos de uso identificados en la administración de usuarios y base de conocimiento</i>	124
<i>Tabla 14 Descripción detallada del caso de uso agregar registro</i>	125
<i>Tabla 15. Descripción detallada del caso de uso “establecer condiciones”</i>	126
<i>Tabla 16. Requisitos Adicionales Identificados en la Fase de Inicio.</i>	127
<i>Tabla 17 flujos de trabajo realizados fase de inicio.</i>	134
<i>Tabla 18 Descripción casos de uso seguir tutorial.</i>	138
<i>Tabla 19. Casos de uso identificados en seguir tutorial.</i>	139
<i>Tabla 20 Tabla de asignación de tiempo a cada una de las iteraciones (subsistemas a desarrollar).</i>	154

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Estructura del Sistema de Simulación</i>	24
<i>Figura 2 Modelo Funcional Proyecto Simulador</i>	24
<i>Figura 3 Desagregación de los Sistemas Esenciales [Ariza, 2004].</i>	35
<i>Figura 4 Esquema Funcional del Sistema de Protecciones</i>	39
<i>Figura 5 Sistema de Registro, Diagrama General</i>	42
<i>Figura 6 Esquema Funcional del Sistema de Señalización y Alarmas.</i>	45
<i>Figura 7 Diagrama de Flujo para la Maniobra de Energización de la Línea Bucaramanga L-15 de la Subestación Guatiguara</i>	50
<i>Figura 8 Procedimiento Básico Seguido en las Consignas Bajo Falla no Destructiva Asociadas a Consignas Operativas de Equipo de Patio</i>	55
<i>Figura 9 Procedimiento Básico Seguido en las Consignas Bajo Falla Asociadas a la Aparición de Alarmas en el Panel Indicador.</i>	57
<i>Figura 10 Algoritmo Seguido en las Fallas de Equipos de Servicios Auxiliares.</i>	59
<i>Figura 11 Esquema de un Sistema Basado en el Conocimiento[Rolston, 1990]</i>	71
<i>Figura 12 Representación en Redes Semánticas.</i>	86
<i>Figura 13 Proceso de Razonamiento Progresivo</i>	95
<i>Figura 14 Matriz de Conocimiento</i>	102
<i>Figura 15 Modelo de Dominio del Sistema.</i>	115
<i>Figura 16 Modelo General de Casos de Uso</i>	116
<i>Figura 17 Modelo de Casos de Uso General del Sistema</i>	120
<i>Figura 18 Casos de Uso para la Administración de Usuarios y Base de Conocimiento.</i>	123
<i>Figura 19 Modelo de Caso de Uso “Consultar Consigna”</i>	124
<i>Figura 20 Identificación de Paquetes de Análisis a Partir de las Clases del Dominio</i>	128

<i>Figura 21 Identificación de Paquetes de Análisis a Partir de los Casos de Uso</i>	_____	129
<i>Figura 22 Clases Derivadas a Partir del Modelo de Dominio</i>	_____	130
<i>Figura 23 Subsistemas Identificados a Partir de los Requisitos</i>	_____	131
<i>Figura 24 Modelo de Casos de Uso Consultar Tutorial</i>	_____	138
<i>Figura 25 Paquetes de Análisis de Gestión Administrativa, Conteniendo los Paquetes de Gestión de Usuarios y Base de Conocimiento.</i>	_____	140
<i>Figura 26 Diagrama de Colaboración para el Caso de Uso “Adicionar Usuario”</i>	_____	141
<i>Figura 27 Diagrama de Colaboración para el Caso de Uso “Seleccionar Consigna”.</i>	_____	143
<i>Figura 28 Diagrama de Secuencia para el Seguimiento de la Consigna</i>	_____	144
<i>Figura 29 Subsistemas de Diseño.</i>	_____	145
<i>Figura 30 Modelo de Tres Capas</i>	_____	146
<i>Figura 31 Interfase del Sistema</i>	_____	148
<i>Figura 32 Menú del Sistema</i>	_____	149
<i>Figura 33 Diagrama “Entidad Relación” de la Base de Conocimiento.</i>	_____	150
<i>Figura 34 Inicio de Sesión en el Sistema.</i>	_____	157
<i>Figura 35 Acceso a la Base de Conocimiento por Parte del Administrador</i>	_____	158
<i>Figura 36 Acceso a la Base de Conocimiento por Parte del Asistente de Subestación</i>	_____	159
<i>Figura 37 Creación de Nuevas Consignas.</i>	_____	160
<i>Figura 38 Creación de Acciones en una Consigna.</i>	_____	160
<i>Figura 39 Formulario Para la Consulta de Consignas.</i>	_____	161
<i>Figura 40 Formulario Para el Cambio de Password Usuario.</i>	_____	163
<i>Figura 41 Sección de Código del Motor de Inferencia “Evaluación de Condiciones Iniciales”.</i>	_____	165
<i>Figura 42 Selección de Condiciones Iniciales de los Equipos para seguir una consigna</i>	_____	166
<i>Figura 43 Selección de Consigna a seguir</i>	_____	166
<i>Figura 44 Seguimiento de acciones en una consigna</i>	_____	167
<i>Figura 45 Pagina Inicial Tutorial</i>	_____	168
<i>Figura 46 Pagina Consignas Tutorial.</i>	_____	169

TITULO: SOFTWARE PARA APOYAR EL ENTRENAMIENTO DE LOS OPERADORES DE LAS SUBESTACIONES DE TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA.*

AUTORES: Betty Alexandra Gualdron Vásquez Liliana Clemencia Díaz González**

PALABRAS CLAVES:

Sistema, inteligencia artificial, base de conocimiento, reglas de producción, consignas operativas, consignas bajo falla, subestaciones, proceso unificado.

RESUMEN

Los sistemas basados en el conocimiento, específicamente las reglas de producción, se utilizaron para estructurar el SOFTWARE DE APOYO AL ENTRENAMIENTO DE LOS OPERADORES DE LAS SUBESTACIONES DE TRANSMISION DE ENERGIA ELECTRICA, "SAE-OS", esta es una herramienta computacional para entrenar al asistente en el funcionamiento de las subestaciones de transmisión de energía, a través del seguimiento de las consignas operativas y bajo falla. La herramienta permite desarrollar habilidades y destrezas en el manejo de las mismas, para lograr así un mayor desempeño en los asistentes de subestación.

Para lograr tal fin, el sistema hace uso de algoritmos de inferencia que interactúan con su base de conocimiento interna y le permite al asistente de subestación realizar el seguimiento de las consignas, o realizar las acciones que cree son las adecuadas y el sistema le informara si ha procedido correctamente. En ambos casos se siguen tanto las consignas operativas con las consignas bajo falla.

El software también consta de tres módulos: el Modulo de Tutorial, el de Administración de Base de Conocimiento y el de Administración de Usuarios. El Modulo Tutorial permite al usuario conocer con más detalle conceptos relacionados con las subestaciones de transmisión y las consignas operativas y bajo falla. El Modulo de administración de Base de Conocimiento, permite el ingreso y la actualización de las nuevas consignas a la Base del Conocimiento. El Modulo de Administración de Usuarios permite crear los usuarios autorizados para el uso del sistema, con sus respectivos permisos de ingreso.

El enfoque de autoformación tratado en este proyecto, conlleva a un cambio de mentalidad en el asistente de subestación, debido a que se convierte en protagonista de su propio proceso de aprendizaje.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías FísicoMecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas,
Director: Dr. Gilberto Carrillo Caicedo, Codirector: Dr. Matha Vitalia Corredor Montaguth

TITLE: SOFTWARE TO SUPPORT TRAINING ELECTRIC POWER TRANSMISSION OPERATORS.

AUTHORS: Betty Alexandra Gualdron Vásquez Liliana Clemencia Díaz González

PASSWORDS:

System, artificial intelligence, knowledge base, production rules, operative watchwords, under-fail consign, substations, unified process.

SUMMARY

The systems based on the knowledge, specifically the production rules, were used to structure the SOFTWARE OF SUPPORT TO THE TRAINING OF THE OPERATORS OF THE SUBSTATIONS OF TRANSMISSION OF ELECTRIC POWER, "SAE-OS", that is a computational tool to train the assistant in the operation of the substations of energy transmission, through the pursuit of the operative procedures and under-fail. The tool allows to develop abilities and dexterities in the handling of the same ones, to achieve this way a bigger acting in the substation assistants.

To achieve such end, the system makes use of algorithms of inferencia that interact with its internal base of knowledge and permits it to the assistant of subestación to carry out the monitoring of the procedures, or to carry out the actions that believes are the adequate and the system reported it if has proceeded correctly. In both cases continue so much the operating procedures as the procedures under failure.

The software also consists of three modules: the Tutorial module, that of administration of base of knowledge and that of administration of users. The Tutorial module to allow the user to know with more details concepts related with the transmission substations and the operative procedures and under-fail. He modulates of administration of base of knowledge; it allows the entrance and the upgrade from the new procedures to the base of the knowledge. He modulates of administration of users it allows to create the authorized users for the use of the system, with their respective entrance permits.

The focus of self formation treated in this project, involves to a change of mentality in the assistant of subestación, due to that becomes protagonist of its own process of learning.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la brecha tecnológica entre las empresas es cada vez más angosta, y hoy día, quien refleja la diferencia en competitividad es el talento humano. Por lo tanto, se considera que el activo más importante en una organización lo constituye su personal, pues es el que permite el logro de las misiones empresariales.

El bajo rendimiento en el desempeño de los trabajadores con formación tradicional, ha hecho que surja la necesidad de disponer de otros caminos para optimizar los resultados del ejercicio empresarial, variando la formación de una simple repetición de conocimientos académicos hacia la búsqueda de la identificación y el desarrollo de un perfil laboral bien definido en los individuos. La actividad laboral soportada por la muestra de resultados concretos, es lo que permite identificar las falencias de formación, y aún más, el perfil profesional del individuo.

Por lo anterior, es importante que las experiencias de aprendizaje que se ofrezcan hoy a los trabajadores, estén apoyadas en herramientas que les permitan el desarrollo de habilidades para la construcción de conceptos, competencias, actitudes y valores. En esta dirección se propone este asistente de entrenamiento como una herramienta didáctica que facilite aprovechar al máximo las opciones que les ofrecen el mundo y la cultura.

El desarrollo de este proyecto hace posible ofrecer a los trabajadores de las subestaciones de transmisión (Asistentes de Subestación), conocer y practicar la operación de subestaciones, guiada por la aplicación de las consignas operativas en condiciones normales y bajo falla.

El presente documento realiza una exposición del trabajo realizado. El capítulo 1 hace una presentación del proyecto en su aspecto general, el capítulo 2 expone los conceptos teóricos que orientaron la comprensión y evaluación del problema a resolver y el capítulo 3 describe el procedimiento por medio del cual se estableció la técnica de representación adecuada al conocimiento de las consignas.

El capítulo 4 por su parte, describe cada una de las fases del desarrollo del entorno. En la fase de inicio se realiza un análisis para justificar la puesta en marcha del proyecto, en la fase de elaboración se muestra la forma de construcción de una arquitectura estable para guiar el posterior desarrollo del sistema y en la fase de construcción se expone el desarrollo de una versión funcional del sistema.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones respecto al desarrollo del proyecto y la metodología utilizada.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Sector Eléctrico en Colombia, a partir de la expedición de las leyes 142 y 143 de 1994 [Ministerio de minas y energía], presenta una nueva estructura de funcionamiento en la cual se plantea una desregulación del sector y una desagregación de sus actividades: generación, transmisión, distribución y comercialización.

Con el ánimo de garantizar la calidad, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), expidió la resolución 061 de 2000 aplicable a los activos de uso¹ y de conexión al Sistema de Transmisión Nacional (STN)², en donde se establecen los tiempos mínimos de indisponibilidad³ y los criterios para el cálculo de las penalizaciones por incumplimiento

Para mantener estos índices en los niveles adecuados, las empresas encargadas de la transmisión de energía eléctrica han decidido realizar unos manuales llamados “Manuales de Subestación”, que contienen las consignas operativas en condiciones normales y los “Planes de

¹ Son aquellos activos en la transmisión de electricidad a tensiones iguales o superiores a 220 kV. Se clasifican en Unidades Constructivas y son remunerados mediante Cargos por Uso del STN.

² Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, y sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.

³ Se define como el tiempo total sobre un período dado, durante el cual un Activo de Conexión al STN o de Uso del STN no estuvo en servicio o disponible para el servicio.

Contingencia” donde se encuentran las consignas operativas bajo falla. Estos planes se realizaron a partir de la configuración y los manuales de los equipos presentes en cada subestación, aunque en el caso de las consignas bajo falla la lista está todavía incompleta.

Una consigna operativa en condiciones normales es un documento donde se recopila el conjunto de maniobras que se realizan sobre los equipos de una subestación eléctrica, es decir, en donde se establece el procedimiento que deben seguir los operadores para realizar una operación, como por ejemplo sacar de línea un circuito para su posterior mantenimiento, cumpliendo con los parámetros de seguridad y enclavamientos entre los equipos de potencia [Gisel, 2003].

Las consignas operativas bajo falla contienen la descripción de las maniobras y acciones a realizar en caso de presentarse alguna falla no destructiva en la subestación o en el sistema de potencia. La falla es evidenciada por la activación de una alarma, un disparo o la inadecuada operación de los equipos de maniobra, control y/o protección de la subestación. Las consignas operativas bajo falla deben contener una relación de situaciones de falla con sus posibles causas y soluciones en forma de tabla, además de una revisión del circuito de control básico [Mora, 2000].

El objeto de las consignas bajo falla es servir como herramienta guía al operador de las subestaciones para:

- a) Determinar las causas de la situación de contingencia.
- b) Restaurar las condiciones normales de la subestación.

- c) En caso de no lograr la restauración, elaborar un reporte que permita a los grupos de mantenimiento avanzar en la localización de la falla antes de desplazarse a la subestación bajo contingencia.

Con el fin de reducir el tiempo bajo condiciones de emergencia, las consignas operativas en condiciones normales y bajo falla no destructiva están diseñadas para hacer una verificación rápida de las condiciones normales de funcionamiento de la subestación. Dentro de la estructura de la consigna aparece como prioridad la continuidad en el servicio de transmisión de energía [CREG 080, 99].

En las subestaciones, se cuenta con sistemas que permiten la operación en forma remota. Debido a esto, el número de operarios que laboran se ha disminuido, pero la empresa no cuenta con programas de entrenamiento continuo que permita a sus trabajadores adquirir la experiencia necesaria para la responsabilidad que afrontan.

Dada la nueva reglamentación del sector eléctrico, el nivel de automatización del Sistema de Interconexión Nacional y la escasa experiencia de los operadores en casos de falla en los equipos, se hace necesaria la adopción de metodologías y recursos diseñados para estructurar más el desarrollo de habilidades y destrezas de los operarios en el manejo de las subestaciones.

Las fallas y maniobras en los equipos de alta tensión (interruptores, seccionadores, cuchillas de puesta a tierra), en los equipos de control, protección y servicios auxiliares, y en los sistemas que los conforman no se presentan con frecuencia. Por ello, los operadores de las subestaciones no cuentan con la experiencia necesaria para garantizar

la respuesta correcta cuando se presentan eventos de falla. Debido a esto, es indispensable capacitar a los operadores de subestación, para que asimilen e interpreten la filosofía implementada en las consignas operativas en condiciones normales y bajo falla. Las consignas bajo falla establecen las estrategias o procedimientos en caso de fallas, las causas y las soluciones a los problemas o situaciones de contingencia a ser aplicados por el personal que se encuentra en el sitio [Mora, 2000] [Olmedo, 2000].

Además de lo descrito anteriormente se perciben falencias en la utilización de las consignas bajo falla y operativas, en la realización de maniobras, y en la atención de fallas; algunas se listan a continuación.

- La mayoría de las veces el operador entrenado participa solo de algunas, o de ninguna maniobra operativa, ya que no es una condición habitual en las subestaciones. Éstas dependen principalmente de los mantenimientos programados o de la presentación de fallas en la subestación.
- El operador entrenado no participa de simulaciones de maniobras o procedimientos bajo condición de falla, ya que es una condición difícil de simular y no es habitual que se presente en las subestaciones.
- El estudio de consignas bajo falla y de consignas operativas se limita a la lectura de la secuencia en el manual de operación, lo cual es tedioso y aburrido.

- El estudio y la comprensión de los procedimientos de la consigna bajo falla de cada elemento de la subestación es limitado, ya que están hechas para condiciones específicas.
- El estudio y la comprensión de los enclavamientos de cada elemento se limita a la lectura de planos o de los diagramas de enclavamientos.
- El acceso a una consigna bajo falla o una consigna operativa determinadas en el manual de operación de la subestación es dispendioso y puede generar demoras en la atención de la contingencia (los tiempos son fundamentales para el restablecimiento del servicio).

Ante esto se presenta una dificultad, los costos que produce la simulación de una falla en un equipo, ya sea por la necesidad de declarar indisponible el activo o por la repercusión que puede ocasionar la falla en el Sistema Interconectado Nacional, son muy altos. Por otro lado, se ha reducido el personal en la subestación, y esta condición exige que el personal remanente esté altamente calificado y entrenado para el manejo de las subestaciones de transmisión.

Durante el tiempo de operación de las subestaciones eléctricas de transmisión se han presentado dificultades en cuanto al manejo de la información necesaria para sus operaciones correctivas y procedimentales (son muy pocas las personas expertas en su manejo), que junto con la desactualizada información de los manuales de operación, hacen muy difícil que operarios inexpertos resuelvan en

forma eficaz los problemas de la subestación. Esto generaría una gran pérdida económica.

Es necesario por tanto, contar en las empresas con programas de mantenimiento adecuados, estrategias de atención de equipos en fallas y personal calificado para la operación y el mantenimiento, teniendo en cuenta la nueva filosofía. ISA y la UIS conscientes de estos requerimientos, realizaron un convenio con el objetivo de elaborar las estrategias en caso de fallas en los equipos de subestaciones para ser aplicados por el personal que se encuentra en el sitio, y otro convenio para validar las consignas desarrolladas. El convenio asociado a entrenamiento de los operadores de subestaciones de transmisión cuenta con el apoyo de Colciencias. En este sentido se pretende simular el funcionamiento de las subestaciones y las estrategias utilizadas en la atención de fallas, para entrenar al personal en la operación y en la respuesta ante fallas de los sistemas y equipos sin poner en riesgo el sistema. Con esto se pretenden complementar las actividades enfocadas a disminuir el impacto que tienen las fallas en los índices de disponibilidad; mantenimientos adecuados, estrategias de falla y entrenamiento del personal de operación.

Por lo anterior, se propone elaborar una herramienta de simulación del funcionamiento de una subestación que permita el entrenamiento del personal en la realización de actividades de operación normal y de falla de las subestaciones. Esta investigación se desarrolla en tres grandes temas, el Sistema de Conocimientos Operativos, el Sistema de Formación y el Modelo del Sistema (simulador), la estructura del modelo desarrollada para la simulación y entrenamiento de asistentes de subestaciones eléctricas se observa en la figura 1.

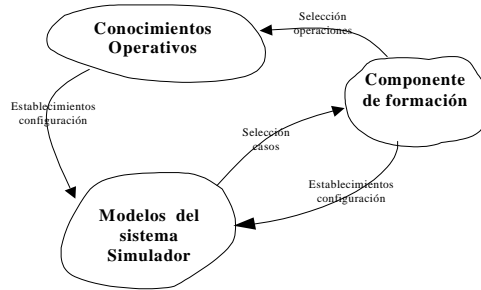


Figura 1 Estructura del Sistema de Simulación

A continuación se presenta un esquema detallado del modelo funcional del sistema de simulación (Figura 2.), [Gisel, Isa, 2003].

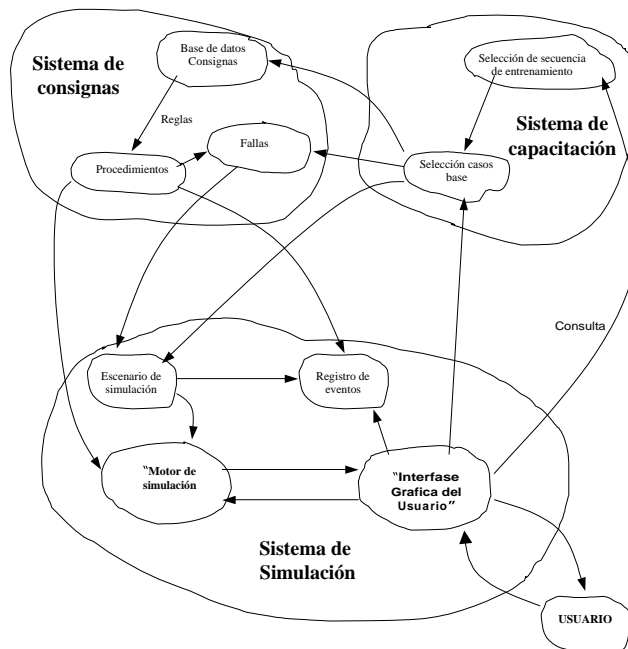


Figura 2 Modelo Funcional Proyecto Simulador

Los sistemas que conforman el modelo se presentan a continuación.

El **Sistema de Simulación** se encarga de representar los elementos funcionales del Sistema de simulación para la capacitación de

Asistentes de Subestaciones. Está conformado por cuatro componentes: el Motor de simulación, la interfase de usuario (GUI), el escenario de simulación y el sistema de registro, los cuales se describen a continuación.

- **Motor de simulación:** presenta el modelo de la subestación, y permite la abstracción necesaria para la representación de los procedimientos de las Consignas para el entrenamiento y la evaluación. Está conformado por pequeños modelos que representan el funcionamiento de cada elemento de la subestación. Interactúa con la GUI para permitir el cambio de estado de los elementos del modelo, y a su vez la actualiza con los nuevos estados [Gelvis, Gáfaró, 2004].
- **Escenario de Simulación:** La definición del escenario corresponde a establecer la configuración inicial del modelo, es decir, el estado que tendrá cada uno de los elementos que conforman la subestación. Esta configuración se fija dentro del Motor de simulación y se almacena en el sistema de Registro.
- **Sistema de Registro:** se encarga de registrar las acciones que realiza el usuario, los procedimientos de los casos base y los valores iniciales del escenario de simulación.
- **GUI:** permite al usuario la interacción con el sistema de simulación y la visualización física de cada uno de los elementos modelados de la subestación. Además, a través de ella se puede cambiar el estado de los diferentes elementos del modelo de la subestación eléctrica.

El **Sistema de Entrenamiento** se encarga de organizar el entrenamiento del asistente. Está constituido por:

- Selección de secuencias de entrenamiento: el propósito principal de esta parte del sistema es la selección de la secuencia de consignas a presentar al asistente de operación, necesarias para que adquiera cierta destreza o habilidad.
- Selección del caso base: particulariza una consigna de la secuencia y selecciona los posibles escenarios que ayuden al incremento de destrezas y habilidades.

El **Sistema de Consignas** se encarga del manejo, representación y soporte de las consignas. Está constituido por:

- Base de datos de Consignas: su función principal es el almacenamiento de las consignas de la subestación.
- Procedimientos: este mecanismo abstraerá de las consignas la secuencia de los pasos a seguir y los elementos que intervienen.
- Fallas: se encarga de identificar para una consigna, las fallas que pueden originar ya sea la pérdida de operatividad de la subestación, o una alarma.

Dentro de este subsistema, se encuentra enmarcado este proyecto, y se ha propuesto como un sistema de soporte basado en información actualizada, apoyado en la experiencia y el conocimiento proporcionado por ingenieros expertos y operarios, para que se facilite la toma de decisiones minimizando el tiempo en cuanto a la consecución de personas expertas en el tema.

La formalización de conocimiento relacionado con las consignas, permitirá contribuir al entrenamiento de los asistentes de operación, además de disminuir el número de consignas, que hará más fácil su actualización, comprensión y asimilación por parte de los operarios.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos planteados en la propuesta, para el desarrollo de este proyecto, se presentan a continuación.

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema “software” utilizando técnicas de inteligencia artificial, que contribuyan a la representación del conocimiento de las consignas operativas en condiciones normales y bajo falla, para apoyar el entrenamiento de los asistentes de operación de las subestaciones de transmisión de energía eléctrica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar la forma de representación del conocimiento adecuada para la construcción de la Base de Conocimiento (BC), a considerar en el desarrollo del software.
- Estructurar los procedimientos incluidos en las consignas implicadas y las principales fallas que se presentan en la operación de las Subestaciones de transmisión de energía eléctrica.
- Realizar el diseño del sistema basado en el conocimiento que apoya el entrenamiento de los asistentes de operación, de forma tal que soporte la solución de las dificultades operativas detectadas, considerando:

- ◆ Los procedimientos relacionados con la energización, desenergización y transferencia en la operación de las subestaciones de transmisión de energía eléctrica.
 - ◆ El apoyo a la ejercitación y aplicación de conceptos, por parte de los operadores, sobre operación de subestaciones y el refuerzo en temas básicos como subestaciones y equipos.
- Diseñar una interfase para el “software” que involucre el uso de dispositivos de entrada y salida de forma que los operarios, con un cierto nivel de conocimiento en manejo de subestaciones, puedan interactuar fácilmente con el sistema.

2. OPERACIÓN DE SUBESTACIONES ELECTRICAS

En este capítulo se describen los equipos y sistemas que conforman una subestación, además de los manuales de operación que sirvieron de base para la elaboración del proyecto “Software para apoyar el entrenamiento de los operadores de subestación de transmisión de energía eléctrica”.

Una subestación la conforma un conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía en un sistema de potencia y garantizar la seguridad del sistema.

Entre los principales componentes de una subestación se tienen: Interruptores de potencia o disyuntores, seccionadores, transformadores de potencia y de instrumentación, pararrayos, elementos de compensación y trampas de onda.

La manera como están dispuestos los equipos en la subestación se denomina configuración, y define muchas características de la misma. La configuración se define como el arreglo de los equipos que se conectan en el patio y debe cumplir con aspectos básicos como son: confiabilidad, seguridad y flexibilidad.

2.1 CLASIFICACIÓN DE SUBESTACIONES

Las subestaciones se clasifican según su finalidad en: subestaciones de Generación, subestaciones de Maniobra y subestaciones de Transformación [Mora, 2000].

De acuerdo con la configuración, las subestaciones se clasifican en:

- Barra sencilla.
- Doble barra.
- Barra principal más barra de transferencia.
- Doble barra más seccionador de “by-pass” o de paso directo.
- Doble barra combinada con barra de “by-pass” (paso directo) o transferencia.
- Doble barra más barra de transferencia.
- Anillo.
- Interruptor y medio.
- Doble barra con doble interruptor

2.2 ASPECTOS DE LAS CONFIGURACIONES

El desempeño de una subestación está de acuerdo con el papel que juega la subestación dentro del sistema interconectado y en su mayor o menor grado de la flexibilidad que tenga. Las características que deben cumplir las subestaciones son:

- Flexibilidad: Es la propiedad de la subestación para acomodarse a las diferentes condiciones que pueda presentar el sistema.
- Confiabilidad: Es la propiedad de que una subestación cumpla con su función durante un período de tiempo dado, aunque un componente de la subestación esté fuera de servicio.
- Seguridad: Es la propiedad de una instalación de dar continuidad de servicio sin interrupción alguna, en presencia de fallas en los equipos de potencia.

2.3 EQUIPOS DE PATIO

Los equipos de patio de una subestación se describen a continuación.

2.3.1 Interruptores de Potencia o Disyuntores

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de un circuito eléctrico en condiciones de carga o cortocircuito. El interruptor es junto con el transformador uno de los dispositivos más importantes de una subestación; su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que puede tener un sistema eléctrico de potencia.

Función. Sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado, una línea de transmisión. También pueden incluir o retirar máquinas, aparatos o cables.

El interruptor debe ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de diferentes intensidades aun cuando presenten diversos factores de potencia.

2.3.2 Seccionadores

El Seccionador es un dispositivo eléctrico utilizado para abrir o cerrar partes de una instalación eléctrica cuando no circula corriente.

Los seccionadores pueden desempeñar diversas funciones siendo la más común la de seccionamiento de circuitos por necesidad de operación, o para aislar de forma visible los componentes del sistema (equipos o líneas).

2.3.3 Transformador de Potencia

Los transformadores son elementos estáticos de inducción, formados por un sistema de bobinas mutuamente acopladas, que se utilizan para realizar cambios de tensión en un sistema de potencia.

Los valores de la tensión primaria y secundaria establecen una distinción entre los devanados, permitiendo distinguirlos como devanado de Alta tensión y devanado de Baja tensión.

2.3.4 Transformadores de Medida y de Protección

Son dispositivos cuya función es reducir a valores no peligrosos y normalizados ya sea la tensión o la corriente de una red eléctrica, evitando la conexión directa entre los instrumentos de medida, protección y control y los circuitos de alta tensión [Martín, 1990].

2.3.5 Transformadores de Corriente

Son aquellos en los cuales la corriente en el secundario es directamente proporcional a la corriente en el primario.

2.3.6 Transformadores de Tensión

Son aquellos equipos en los cuales la tensión en el secundario es directamente proporcional a la tensión primaria. Los transformadores de potencial tienen dos finalidades: Aislar el circuito de baja tensión del circuito de alta tensión y reproducir fielmente en el circuito de baja tensión, (proporcionalmente) las tensiones del circuito de alta tensión.

2.3.7 Pararrayos

Son dispositivos eléctricos formados por elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, en el sistema de potencia. El pararrayos tiene las siguientes características especiales: se comporta como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda cierto valor predeterminado, se vuelve conductor al alcanzar la tensión ese valor y conduce a tierra la corriente producida por la onda de sobretensión, y cuando pasa la sobretensión recupera su condición aisladora.

2.3.8 Trampas de Onda

Son dispositivos que se conectan en serie con las líneas de alta tensión para limitar la circulación de corrientes de alta frecuencia (encerrándolas). Su impedancia debe ser baja para la frecuencia industrial, de tal forma que no perturbe la transmisión de energía, pero debe ser relativamente alta para cualquier banda de frecuencia utilizada para comunicación por onda portadora. Por lo general el rango de frecuencia utilizado para comunicación por onda portadora es de 30-500 kHz, la cual se escoge de acuerdo con las frecuencias ya usadas y con la longitud de la línea.

Las trampas de onda consisten de una bobina principal con un elemento protector y usualmente uno de sintonización. La bobina principal lleva la corriente a la frecuencia industrial del circuito. El equipo de sintonía sirve para obtener una impedancia relativamente alta para la banda de frecuencia requerida por la onda positiva.

2.4 SISTEMAS ESENCIALES

Los sistemas esenciales se pueden dividir en dos subsistemas: el de servicios auxiliares o de alimentación y el de soporte al análisis o de esquematización. Los servicios auxiliares aseguran el funcionamiento de la subestación pues incluyen los equipos y sistemas de distribución encargados de la alimentación de los demás equipos y sistemas.

El de soporte al análisis es esencial desde el punto de vista operacional y de mantenimiento, para realizar las tareas de operación y mantenimiento de una manera óptima. Hacen parte de éste, los mímicos, los diagramas unifilares, los planos esquemáticos, los planos de conexión, los diagramas funcionales, etc., (ver figura 3).

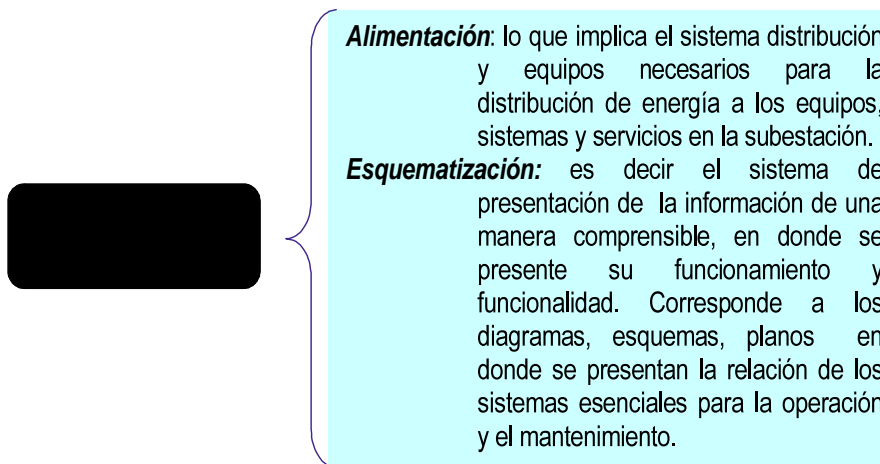


Figura 3 Desagregación de los Sistemas Esenciales [Ariza, 2004].

2.4.1 Servicios Auxiliares

Para realizar el accionamiento de los equipos de la subestación (interruptores, seccionadores,...) se requiere de una energía independiente del sistema. El sistema de Servicios Auxiliares se encarga de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos que componen los sistemas de la subestación, proporcionando los niveles de tensión que requieren para su normal funcionamiento.

Se caracteriza por el modo de operación, la flexibilidad y el grado de confiabilidad de su configuración, el operador puede realizar operaciones en estos equipos sin la autorización del CSM⁴. La configuración puede variar según el grado de redundancia y el nivel de tensiones que utiliza.

2.4.2 Esquemmatización

Los diagramas, esquemas y planos representan de forma simbólica las partes, el funcionamiento, la relación de elementos, la funcionalidad, etc. Y son esenciales para planificar o analizar las labores de operación y mantenimiento.

Este sistema presenta la información de una manera entendible, la complejidad de una subestación por niveles (comienza por el nivel más sencillo), la representación unifilar de la configuración (la complejidad circuital es la mayor), los diagramas de bloque (un nivel de detalle más

⁴ Centro de supervisión y Maniobras

complejo), y por último los planos de conexión de la subestación (tiene en cuenta todos los detalles).

El sistema de esquematización tiene como función la conceptualización y la representación de las relaciones de los diferentes sistemas de la subestación (protecciones, comunicación, control, etc.), a fin de atacar en forma precisa y gráfica la integración de sus diferentes elementos y la incorporación de los componentes numéricos (PLC). Este sistema incluye:

- Diagramas unifilares: son las representaciones de los sistemas, en donde se simplifica su complejidad, permiten ver características esenciales sin necesidad de entrar en detalles específicos. Ayudan a la comprensión y visualización de la subestación.
- Diagramas de bloques: en estos diagramas, se presentan las funciones principales de los sistemas y las relaciones con los demás elementos (tanto del sistema, como externos) en forma lógica.
- Planos de conexión: En estos, el nivel de detalle es más profundo. Presenta en su totalidad los elementos y sistemas, y la manera de conexión de los componentes. Es posible mediante éstos, realizar el seguimiento de una señal de control y tener detalles de su trayectoria.

2.5 SISTEMAS FUNCIONALES

2.5.1 Sistemas de Comunicaciones

Las tecnologías más utilizadas para la comunicación de las subestaciones eléctricas son: PLP, fibra óptica y microondas.

Las que utilizan PLP (portadoras por líneas de potencia), aprovechan las líneas de potencia como medio para enviar información. Este método utiliza equipos especiales para la transformación y manipulación de la información.

El segundo método de comunicaciones es la fibra óptica la cual está insertada, normalmente, en el cable de guarda de la línea de potencia. La principal ventaja que proporciona es el ancho de banda, que posibilita comunicar más cantidad de datos. Los equipos utilizados por este método de comunicación son diferentes a los utilizados por el PLP.

El tercer método utilizado es el de microondas que no utiliza la línea sino que su transmisión es electromagnética por el aire. Este grupo incluye antenas, emisoras y receptoras (pueden ser repetidoras), que transmiten la información (Las antenas están directamente orientadas, la una a la otra).

2.5.2 Sistema de Protecciones

Por razones como la acción de agentes atmosféricos, errores humanos y fallas en aislamientos, se producen incidentes o disturbios en la red. Los efectos de tales incidentes pueden reducirse al mínimo mediante la

utilización de un adecuado sistema de protección. El objetivo de un sistema de protección consiste en reducir la influencia de una falla en el sistema, para que no se produzcan daños relativamente importantes en él, en las personas y en los animales. Para conseguir lo anterior se deben cubrir de manera ininterrumpida los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía mediante esquemas de protección y relés que hayan sido diseñados para tales propósitos.

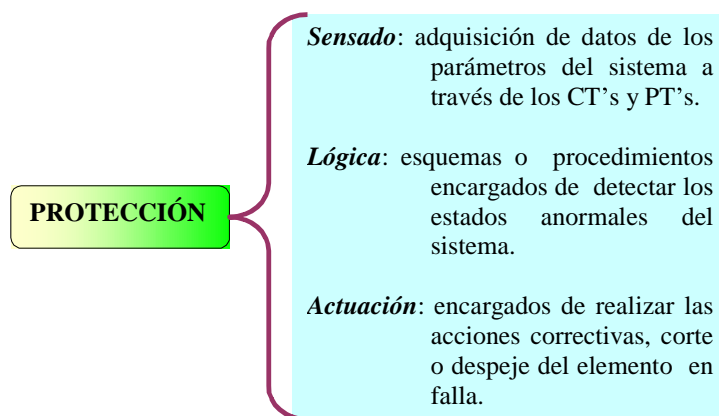


Figura 4 Esquema Funcional del Sistema de Protecciones

Los equipos de protección interactúan con el sistema de control y con el interruptor para proteger los diferentes sistemas y equipos en la subestación [Olmedo, 2000].

2.5.3 Sistema de Medida

En las subestaciones eléctricas es necesario tener una medida de la cantidad de energía que entregan o consumen las líneas o

alimentadores conectados, de las tensiones de operación de la frecuencia del sistema y de los flujos de corriente por los circuitos. Para medir la energía eléctrica se utilizan contadores de energía. Que permiten conocer la cantidad de energía recibida o entregada, y realizar por ejemplo, gráficos de consumo que faciliten el estudio de nuevas instalaciones y el control en las horas de mayor consumo. Los instrumentos y aparatos de medida, indican el valor de la magnitud medida. Generalmente las señales de tensión y de corriente son transformadas a valores que no presentan ningún riesgo para los equipos y el personal. En la mayoría de las subestaciones se dispone de medidores multifuncionales para cada campo de línea en configuración redundante, con un contador principal y otro de respaldo.

Los medidores multifuncionales son unidades de medida programables con capacidad de medida y registro para (como mínimo) las variables de energía activa y reactiva, potencia activa y reactiva, corriente y tensión. Tienen puertos de comunicación serial que permiten la conexión en red para la transmisión de la información y el acceso de forma remota. Utiliza un "software" de comunicación de protocolo abierto, que permite la integración de un gran número de unidades dentro de la misma red. Una red de contadores de energía está compuesta por un concentrador, que constituye la unidad de acceso a la red para la conexión y el direccionamiento de los contadores de energía, de un módem para el acceso remoto a la red y de los conversores opto-eléctricos requeridos para realizar la conexión con el medio de comunicación usado en la red. Los principales elementos de la red se describen a continuación.

El enrutador o concentrador permite el diálogo entre el PC LOCAL, el PC REMOTO y todos los contadores de energía multifuncionales, por un canal de datos tipo RS-232C. El enrutador recibe del PC LOCAL ó REMOTO una dirección (número serial) con la cual identifica el respectivo contador y establece la conexión automáticamente, sin necesidad de conmutación manual.

El módem telefónico. Permite la exploración y el acceso remoto de los contadores a través de un canal telefónico conmutado a 2 hilos, a través del cual es posible efectuar las mismas funciones que se realizan de forma local.

El conversor Óptico Eléctrico. Transforman las señales eléctricas del puerto serial RS232 - RS485 bidireccionales e independientes del protocolo, en señales ópticas. Proporciona además una comunicación de datos inmune a ruido a través de cable de fibra óptica; permite transmisiones a grandes distancias, entre 2 interfases RS 232 (hasta 15 m); y permite la adaptación de interfases con un interfase estándar serie. La velocidad de transmisión de datos queda determinada por la interfase de potencia más baja.

2.5.4 Sistema de Registro de Fallas

El sistema de registro de fallas se encarga de entregar el comportamiento de la red cuando existe una perturbación. Cuando se presenta una anomalía en el sistema, por ejemplo un rayo impacta una línea, el sistema de registro de fallas almacena los valores de los vectores de tensión y corriente durante una ventana de tiempo prefijada. El sistema de registro de fallas proporciona el comportamiento

de la red durante la activación de las protecciones. A las fallas que originan la activación del sistema de registro de fallas se le denomina eventos.

El sistema de registro de fallas es importante porque ayuda a prevenir fallas que generan altos costos para el sistema eléctrico, ayudando a seleccionar la fijación óptima de los equipos de protección para el despeje de estas fallas.

El diagrama funcional o de bloques de un sistema de registro de fallas se muestra en la figura 5.

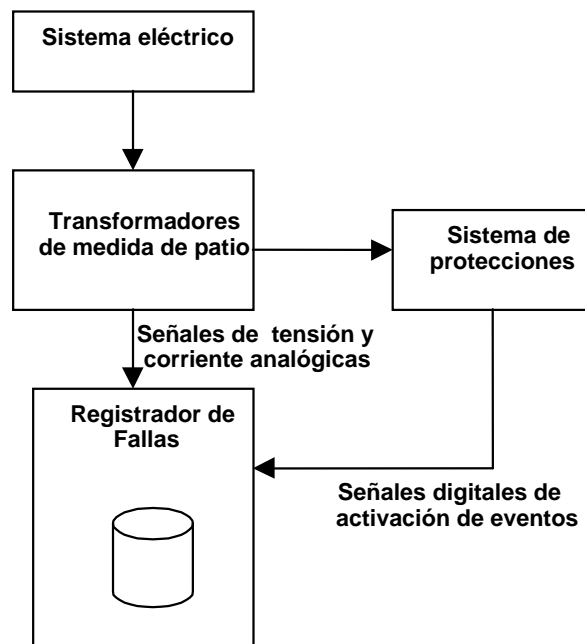


Figura 5 Sistema de Registro, Diagrama General

Los Registradores de Falla son equipos digitales, completamente programables, y deben ser capaces de manejar al menos ocho (8)

entradas analógicas y dieciséis (16) entradas digitales, para requerimientos del sistema eléctrico.

Un equipo para el Registro de Fallas en una red eléctrica, debe contar con las señales de tensión y corriente de la línea o el campo tal como se le cablean a un relé de distancia. Estas señales son acopladas y digitalizadas utilizando conversores Analógico/Digital.

Además, el registrador de fallas debe tener canales de entrada digitales para obtener la información a manera de contactos de la operación y el arranque de las protecciones de distancia, la operación del recierre, la posición de los polos del interruptor de la línea, entre otros, configurados de acuerdo con el criterio del analista o en su defecto de acuerdo con la normalización.

Una vez se tenga la información en forma digital se procesa y se guarda en una memoria interna organizada en archivos de fácil consulta para el analista.

2.5.5 Sistema de Alarmas y Señalización

La característica de la subestación y el desarrollo del sistema de control permiten monitorizar la mayoría de sus subsistemas por medio de sensores o relés. Éstos detectan anomalías en el funcionamiento de la subestación, activando las señales de alarma que se registran en el sistema de control.

El sistema de alarmas monitoriza un gran número de señales que indican el funcionamiento de los equipos. Las alarmas son visualizadas

en el computador central a través de la interfase con el operador o en los anunciadores de indicación luminosa o de indicación sonora.

Cuando ocurre una alarma en la subestación, se enciende la señal luminosa respectiva, de forma intermitente en el anunciador, y se energiza la alarma sonora, el operador procede a realizar el reconocimiento de la alarma apagando la señal (sonora y luminosa). Una vez reconocida la alarma se toman las acciones e instrucciones de las consignas para solucionar el problema, a partir de lo cual, se procede a reponer el anunciador y a registrar los datos en la bitácora.

Las alarmas típicas de un circuito (campo, bahía) de una subestación serían: disparo de las protecciones principales, disparo protecciones de respaldo, disparo del relé "falla interruptor", recepción y emisión de la señal de teleprotección, baja presión de SF6, falla del mecanismo de operación del interruptor o discrepancia de polos, falla de los circuitos de disparo, falla de los fusibles secundarios del transformador de tensión, o falla de la alimentación de corriente continua.

Las alarmas típicas en un transformador de potencia son: operación de la protección diferencial, operación del relé de sobrecorriente (baja, alta tensión), operación del relé Buchholz, operación del relé de presión de aceite, falla de enfriamiento, alarma por sobrettemperatura, disparo por sobrettemperatura, cambio de derivación incompleto, falla del regulador de tensión, falla de los circuitos de disparo, falla de los fusibles secundarios, falla de la alimentación de corriente continua y discrepancia de polos, entre otras.

En los servicios auxiliares las alarmas típicas son: falla en barras, falla en baterías, falla en el cargador de baterías, falla en los alimentadores de corriente alterna, falla en los alimentadores de corriente continua, falla en el transformador de servicios auxiliares y falla en la planta diesel de emergencia, entre otras.

En la figura 6 se pueden observar los sistemas que envían señales a los anunciadores o la computadora. [Gisel, 2004].

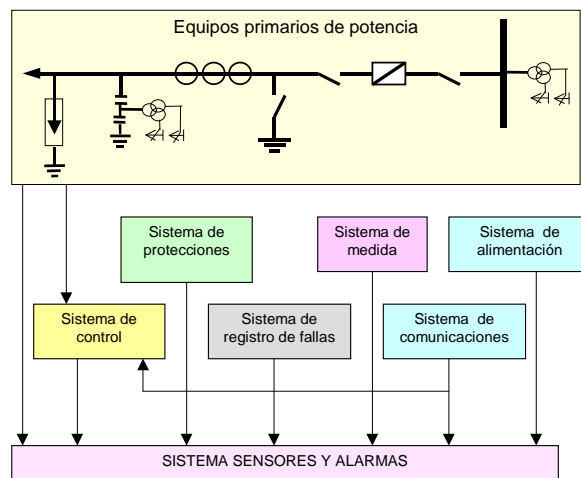


Figura 6 Esquema Funcional del Sistema de Señalización y Alarmas.

2.6 MANUAL DE OPERACIÓN

Las subestaciones tienen un manual de operación en donde se describen los equipos, los sistemas, las operaciones en condiciones normales, las operaciones en condición de falla en los equipos y sistemas. En él se describen las principales características de los sistemas y de los equipos que hacen parte de la subestación, contiene todas las consignas operativas para maniobras de equipos, medidas y

acciones que se deben tomar en caso de falla de los mismos, dan una guía exacta de cómo ejecutar las maniobras oportuna y correctamente, e indican qué hacer en caso de presentarse alarmas y disparos de los equipos durante la operación normal⁵.

Dentro del manual de operación se deben encontrar los siguientes tópicos:

- ☑ Las generalidades: con la descripción de la subestación en términos de configuración, sistema de Control, Protecciones, Medidas, Servicios Auxiliares, Registro de Fallas, Telecomunicaciones, Localización Geográfica, Parámetros del Sistema y Diagramas Unifilares. En resumidas cuentas una visión general de la subestación.
- ☑ Las secuencias de maniobras de equipos para cada acción operativa. Contiene las secuencias de acciones necesarias para realizar maniobras correctas sobre equipos y la operación correcta de los diferentes sistemas, en condiciones operativas normales desde los diferentes niveles de control, de acuerdo con el diseño y la configuración de la subestación.
- ☑ Las acciones de restablecimiento de las condiciones normales de los sistemas y equipos: contiene la descripción de las maniobras y acciones a realizar en caso de presentarse alguna falla o anomalía en la subestación o en el sistema, evidenciada por una alarma o un disparo, o cualquier causa de mal funcionamiento de los equipos y sistemas.

⁵ Interconexión Eléctrica S.A. Manual de Operación, guía de elaboración.

2.6.1 Consigna Operativa

En el caso de las subestaciones de conmutación, las operaciones se realizan con la mayor precaución encargando al sistema de supervisar las secuencias correctas mediante los enclavamientos requeridos. Estos enclavamientos a su vez únicamente se pueden desactivar en condiciones de operación en estado de emergencia (en las casetas de relés se encuentran los interruptores para desactivar los enclavamientos de los equipos primarios de patio).

Para la realización de una operación en algún campo es necesaria la ejecución de una secuencia de acciones de control sobre los equipos primarios de potencia (interruptores, seccionadores) en un orden establecido. Este orden depende tanto de la operación que se requiere hacer como de la configuración de la subestación. La configuración de la subestación repercute en el orden en que se realiza la operación y en las operaciones que se pueden realizar en dicha configuración.

De la configuración depende la confiabilidad, la seguridad, la flexibilidad de manejo y la transformación y distribución de energía que proporciona la subestación y, a su vez, repercute en el nivel de maniobrabilidad que se tiene, por ejemplo, una configuración de doble barra con transferencia proporciona más alternativas operativas que una configuración de barra sencilla; aclarando que la selección de la configuración depende de los requerimientos de seguridad y confiabilidad que necesita en sistema de transmisión (analizados antes de montar la subestación).

Dentro de las principales características de la configuración se encuentran: separación de circuitos sin afectar el servicio, separación de interruptores, separación de seccionadores, separación de barras, división de sistemas, transformación a configuraciones más sencillas, alternativas de conexión y desconexión.

La información y la secuencia de acciones de operación en los equipos primarios de potencia (interruptores y seccionadores) para la realización de una determinada operación se encuentra en la consigna operativa respectiva, en ella se encuentran las condiciones requeridas para la realización de la operación, la secuencia de acciones a realizar y el estado final de la subestación. Asimismo, si alguna de estas secuencias no se pudiese realizar, relaciona el documento que se debe consultar para la solución del percance.

Las operaciones más comunes que se realizan en una subestación son:

- En los equipos primarios de alta tensión:
 - Energización y desenergización de circuitos
 - Energización y desenergización de barras
 - Energización y desenergización de transformadores.
 - Energización y desenergización de equipos de compensación.
 - Cambio de toma en los transformadores.
 - Puesta a tierra de transformadores, líneas y barras.
 - Puesta a tierra de equipos de patio para mantenimiento.
 - Supervisión de la puesta a tierra en equipos.
 - Revisión de las transferencias.
 - Desactivación de las transferencias.
 - Sincronismos.

☑ En los equipos de soporte:

- Mantenimientos a las plantas de generación (plantas de emergencia).
- Encendido y apagado de las plantas de emergencia.
- Mantenimientos preventivos a los bancos de baterías.
- Operaciones en los sistemas primarios de distribución de los servicios auxiliares.
- Energización y desenergización de cargadores de baterías.

Como se dijo anteriormente, la consigna operativa contiene las acciones a seguir para la realización de una operación determinada. Estas consignas se han clasificado, teniendo en cuenta los sistemas a los que hace referencia, en consignas operativas para equipos de patio y consignas operativas para equipos de servicios auxiliares.

Cada una de las operaciones anteriores y cada uno de los sistemas (simétricos) tiene su respectiva consigna.

2.6.1.2 Consignas Operativas para Equipos de Patio

Hacen referencia a las operaciones que se deben hacer en los equipos de patio, y debe existir una consigna operativa para cada posible operación que se pueda realizar en la subestación. Si alguna maniobra estipulada en la consigna no se puede realizar debe remitirse a la correspondiente consigna bajo falla.

La consigna operativa tiene una estructura básica donde se presentan todas las actividades a desarrollar durante la maniobra. En el flujograma presentado en la figura 7, se hace referencia a las consignas

bajo falla que se deben aplicar en caso de una contingencia no destructiva de los equipos utilizados en la maniobra operativa [Mora, 2000].

2.6.1.3 Consignas Operativas para Equipos de Soporte

Hacen referencia a las operaciones que se deben hacer en los equipos de servicios auxiliares. Son las más numerosas puesto que estos equipos presentan mayor flexibilidad y el operador de la subestación no está tan restringido para realizar su operación en comparación con los equipos primarios de alta tensión.

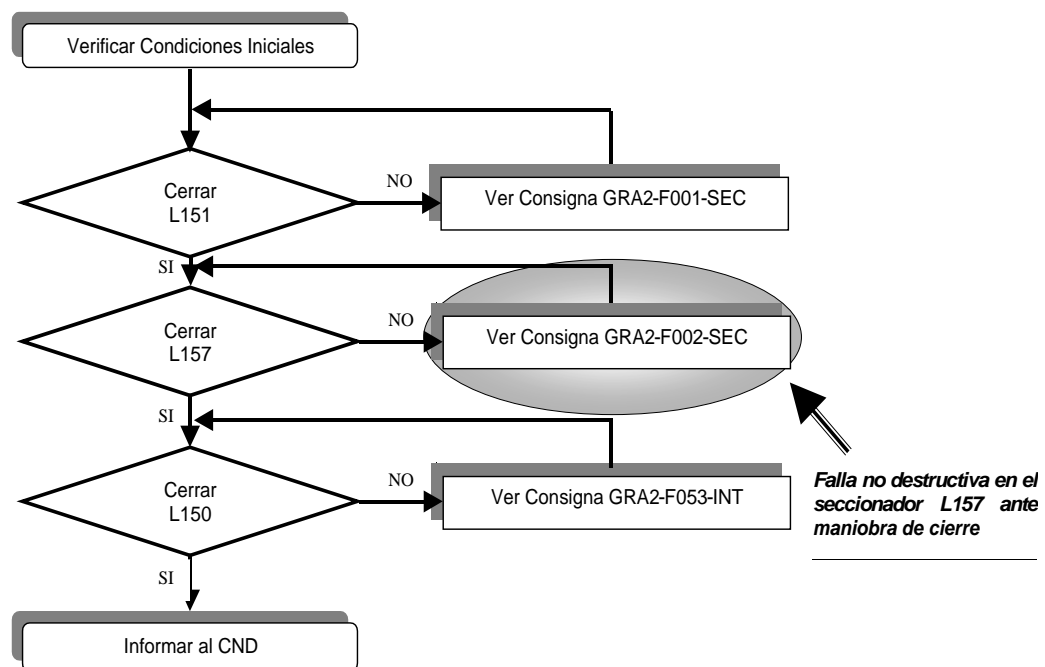


Figura 7 Diagrama de Flujo para la Maniobra de Energización de la Línea Bucaramanga L-15 de la Subestación Guatiguara

2.6.2 Consignas Bajo Falla

Las condiciones de operación normal de los equipos están definidas en la descripción del funcionamiento y de la operación de los equipos y sistemas que componen una subestación. La descripción y el establecimiento del funcionamiento y la respuesta de los equipos, los sistemas y los operadores ante fallas no se encuentran definidas, por lo tanto, se comenzó a crear cada uno de los posibles escenarios de fallas y recrear las características y consecuencias que se generarían bajo dichas condiciones.

Dependiendo de la severidad de la anomalía de los equipos de la subestación, las fallas pueden ser destructivas y no destructivas. Las fallas destructivas son aquellas en las cuales el equipo afectado sufre daños que obliga a su reemplazo; y ocasionan disminución en la confiabilidad, flexibilidad y seguridad del sistema de potencia. Las fallas no destructivas son aquellas en las cuales el operador y los grupos de mantenimiento pueden realizar labores de reparación sobre el equipo afectado para ponerlo nuevamente en funcionamiento. Estas fallas conllevan la disminución de la capacidad operativa y de control de los equipos y sistemas de las subestaciones.

En el caso de fallas destructivas de los equipos, se requieren acciones que involucren toda la organización y el sistema. En estos casos, se ha desarrollado una serie de estrategias para la atención de algunas fallas destructivas para los equipos que son prioritarios para la seguridad, confiabilidad y continuidad en la prestación del servicio, estas estrategias son los planes de contingencia para fallas destructivas de

transformadores, interruptores y seccionadores, y los planes de contingencia para fallas destructivas en casetas de control y protección [Mora, 2000]. En este proyecto de grado no se tienen en cuenta estas fallas, puesto que la labor del operador es limitada y se remonta únicamente a la consignación y al recibo de los equipos destruidos.

En caso de fallas no destructivas, es prioritaria la realización de maniobras encaminadas a mantener o restablecer la continuidad del servicio de transporte de energía, aprovechando los recursos existentes en la subestación. Esto se hace mediante la recuperación de la funcionalidad de los equipos en los casos donde sea posible o a través de reportes que faciliten y optimicen la labor de los grupos especializados en mantenimiento. Esta clase de falla es el tema central de este análisis.

Las consignas bajo falla contienen la descripción de las maniobras y acciones a realizar en caso de presentarse alguna falla no destructiva en la subestación o en el sistema de potencia. La falla es evidenciada por la activación de una alarma, un disparo o la inadecuada operación de los equipos de maniobra y control (Falla en el cierre y/o apertura de seccionadores e interruptores), y/o protección de la subestación. Las consignas bajo falla deben contener una relación de situaciones de falla con sus posibles causas y soluciones en forma de tabla, además de una revisión del circuito de control básico [Mora, 2000].

Como principio básico, las consignas bajo falla deben mejorar la continuidad del suministro y por tanto, disminuir el impacto de las contingencias de equipos de subestación en los índices de disponibilidad de los activos.

Su elaboración permite que el operador tenga un papel activo en condiciones de emergencia, ya que le permite realizar las acciones previstas en las consignas y tener un papel más activo y participativo.

El alcance de la consigna bajo falla está limitado a las acciones que se le permite realizar al operador, de tal forma que no se comprometa la integridad y estabilidad de los sistemas y equipos de la subestación y del sistema de transmisión. Las consignas ofrecen una guía para que el operador verifique condiciones básicas como: enclavamientos mecánicos y eléctricos, posición de selectores y conmutadores de mando, alimentación de equipos de maniobra, control y protección, etc. Adicionalmente, cada consigna contiene un procedimiento para la revisión en planos del circuito de control básico de cierre/apertura, de equipos tales como seccionadores e interruptores y de esquemas funcionales de sistemas como los de medida, registro de fallas, comunicaciones.

Dentro del contenido de una consigna bajo falla se destacan tres aspectos básicos: la descripción de la anomalía, la descripción de la posible causa y el procedimiento de la posible solución. La descripción de la anomalía contiene una breve descripción de la falla (alarma, disparo, maniobra). La sección de posible causa señala las causas de la aparición de la alarma o disparo. Y en la sección de posible solución se establece el procedimiento general de solución del problema y va desde la aceptación o reconocimiento de las alarmas; hasta la ejecución de acciones que conduzcan a determinar la permanencia en servicio del equipo fallado.

Se considera que las consignas bajo falla son de siete tipos, a saber: consignas bajo falla que aparecen cuando se realiza una consigna operativa, consignas bajo falla asociadas a la aparición de alarmas, consignas bajo falla del sistema de servicios auxiliares, consignas bajo falla del sistema de registro de fallas, consignas bajo falla del sistema de medida, consignas bajo falla del sistema de comunicaciones y consignas bajo falla para equipo de control y protección.

En caso que no se pueda realizar una operación de control de un equipo, existen procedimientos a seguir para la continuación de una operación, denominados consignas bajo falla asociadas a interruptores y seccionadores. Estas consignas están diseñadas para atender fallas no destructivas en los equipos de maniobra (seccionadores/interruptores) y sus sistemas de control y protección. Estas fallas se evidencian por la ausencia de respuesta a las órdenes de cierre o apertura de los equipos en mención, durante la realización de una maniobra operativa en la subestación. La activación de alguna de las alarmas de los sistemas de supervisión de los equipos se clasifica en las consignas asociadas a alarmas.

La estructura propuesta para la realización de los procedimientos y actividades, dentro de estas consignas, tienen un orden de prioridad de acciones y una secuencia así: Revisión de condiciones iniciales, cambio de nivel de operación, cambio de consigna operativa (en los casos que sea posible), revisión posterior a la culminación de la consigna operativa y revisión en planos del circuito de control básico. El procedimiento seguido en la consigna está asociado a la maniobra operativa realizada y su algoritmo se presenta en la (figura 8).

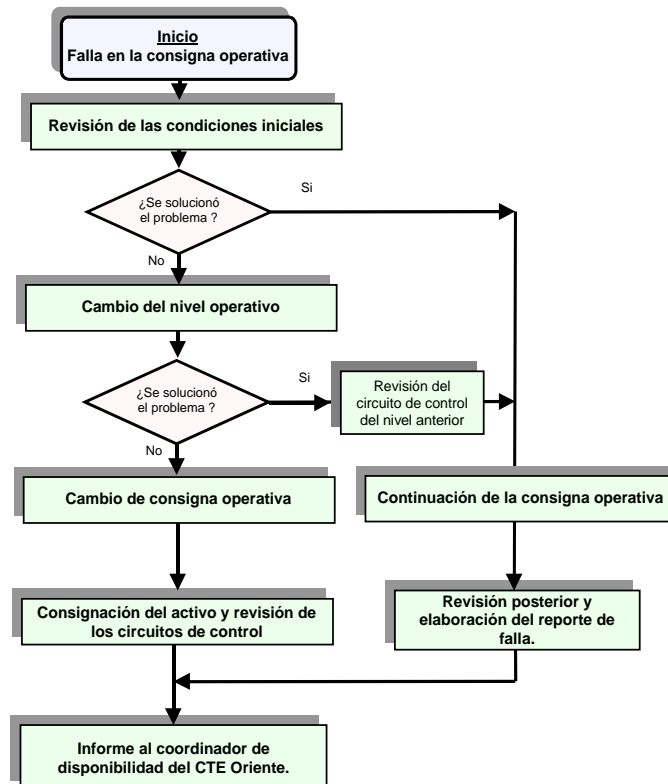


Figura 8 Procedimiento Básico Seguido en las Consignas Bajo Falla no Destructiva Asociadas a Consignas Operativas de Equipo de Patio

2.6.3 Recursos de la Consigna Bajo Falla

La consigna bajo falla cuenta con el recurso humano, representado por el operador de la subestación como elemento básico. El operador debe conocer tanto la estructura como las características, el funcionamiento y la ubicación de los equipos. Adicionalmente, el operador debe tener destrezas para las siguientes actividades:

- a) Ejecución de las consignas operativas
- b) Interpretación de planos.
- c) Utilización de equipos de medición (multímetro).

Además, el operador debe tener conocimiento de las resoluciones de la CREG relacionadas con índices de disponibilidad de equipos y destrezas en su aplicación.

Para la comprensión de las consignas bajo falla, desarrolladas para los interruptores y seccionadores, fuera del procedimiento seguido durante su realización o ejecución, es necesario ampliar las causas que generan la falta de operación de los equipos de patio, así como el estudio y conocimiento de los equipos y sistema de control.

Las Consignas bajo falla asociadas a la aparición de alarmas en el panel indicador están diseñadas para la atención de eventos de contingencia que tienen indicación visual o sonora en la subestación. Estas consignas se organizan en un formato que permite reconocer causas y soluciones para la correcta reposición de la alarma o para la acción correctiva. Este tipo de consignas tiene una estructura básica de diseño que comprende cinco tapas fundamentales: identificación de la señal de alarma, verificación de la veracidad de la señal, revisión de causa _ efecto, revisión del circuito de alarma en planos y por último realización de consigna operativa si lo permite la subestación. La secuencia seguida en estas consignas se presenta en la (figura 9). Las consignas bajo falla asociadas a las alarmas están elaboradas para aquellas señales que tienen mayor importancia y para las cuales el operario puede tomar alguna acción correctiva.

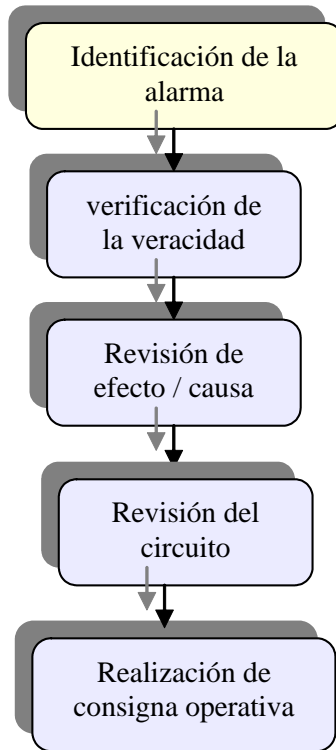


Figura 9 Procedimiento Básico Seguido en las Consignas Bajo Falla Asociadas a la Aparición de Alarmas en el Panel Indicador.

Las consignas bajo falla del sistema de servicios auxiliares están estrechamente relacionadas con las consignas evidenciadas por alarmas, debido a la indicación de falla que existe en los paneles de señalización. La estructura de las consignas plantea inicialmente la identificación de la alarma, posteriormente la verificación de la operación de los equipos de respaldo y su activación o puesta en funcionamiento si se considera necesario y finalmente se presenta, como etapa final, la descripción de las posibles causas y soluciones para la falla.

Las consignas bajo falla de servicios auxiliares describen las maniobras y acciones a desarrollar durante fallas o anomalías que puedan afectar los equipos de servicios auxiliares de la subestación (cargadores, inversores, transformadores, planta diesel, bancos de baterías, tableros de distribución AC, tableros de distribución DC, seccionadores bajo carga, interruptores). Esta anomalía puede ser evidenciada por la activación de una alarma, un disparo o la inadecuada operación de los equipos (Falla en el cierre y/o apertura).

Las consignas para este sistema consideran los siguientes aspectos:

- Clasificación de acuerdo con los niveles de tensión AC y DC. Es así como se identifican los niveles de 13,2 kV, sistemas de 120/208 Vca, sistemas auxiliares de 125 Vcc y sistemas auxiliares de 48 Vcc.
- Accesibilidad por parte de los operadores al elemento en falla.
- Estado de los equipos y posición de selectores involucrados en la maniobra antes de ejecutar la consigna.

Este sistema es de vital importancia para la operación de la subestación. El grado de confiabilidad y seguridad de este sistema debe ser alto; por tal motivo, en la mayoría de los casos, existe redundancia en el número de equipos que componen este sistema. Las consignas bajo falla en su estructura aprovechan esta característica; establecen que ante la condición de falla de un equipo, éste puede ser sustituido por su respaldo para proceder a aislar el equipo en falla, y de esta forma coordinar las labores de reparación.

Las consignas presentan una descripción del equipo bajo falla y una relación de posibles causas y soluciones en forma de tabla. La revisión

comprende aspectos tales como: Verificación de tensiones de entrada y salida, estado de fusibles e interruptores de protección y chequeo general de los equipos entre otros aspectos. En la figura 10 se puede ver la secuencia seguida en el algoritmo de una consigna bajo falla en equipos de servicios auxiliares. Como se observan, las consignas están divididas en tres partes que son:

- Descripción de la anomalía: contiene una descripción de la falla y los efectos sobre los sistemas de control y protección de la subestación.
- Posibles causas: presenta las causas más probables de la aparición de la alarma o disparo, dando prioridad a las fallas más comunes.
- Posibles soluciones: establece un procedimiento de aceptación o reconocimiento de las alarmas y la ejecución de diversas acciones que conduzcan a definir la permanencia o no del equipo en servicio.

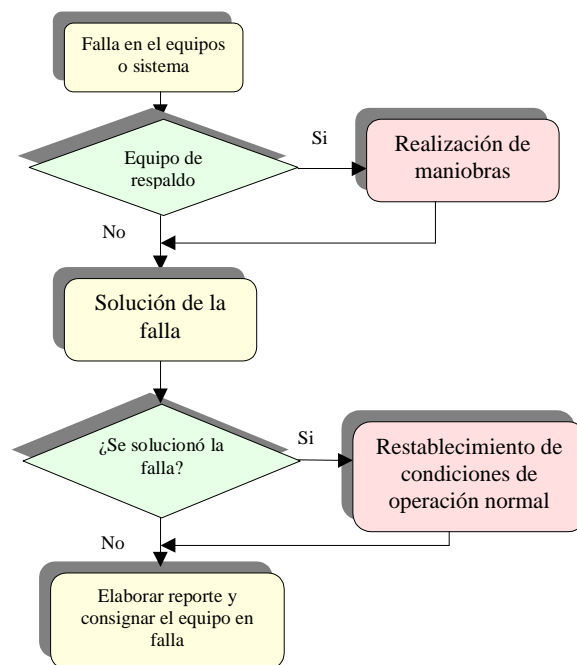


Figura 10 Algoritmo Seguido en las Fallas de Equipos de Servicios Auxiliares.

El sistema de distribución de los servicios esenciales, permite al operador realizar operaciones de seguimiento y reparaciones o cambios de interruptores y relés. Para estas fallas y actividades no existen procedimientos de fallas pero se podrían desarrollar en un futuro para completar la información de las fallas en este sistema.

Consignas Bajo Falla para Equipo de Control y Protección

Dada la importancia que tienen estos equipos para el correcto funcionamiento de la subestación y el sistema de potencia, la mayoría de ellos son equipos modernos que proporcionan amplias ventajas y funciones, y flexibilidad en el manejo.

Tienen como finalidad, brindar al operador una metodología para determinar el estado de los equipos de control y de protección más importantes de la subestación. Se busca que el operador identifique la señalización que posee cada equipo, para que reporte su estado a los técnicos de control y protecciones. Generalmente no se plantea ninguna acción correctiva por parte de los operadores, debido a la complejidad de los equipos bajo falla entre los cuales se consideran los relés del tipo numérico, controladores lógicos programables y otros dispositivos de control que indican su estado de funcionamiento mediante una interfase hombre-máquina.

Las consignas bajo falla para los equipos de protección y control, están organizadas de la siguiente forma:

- Descripción de la falla: se presenta la descripción de la falla evidenciada por el sistema de señalización del relé de protección o del equipo de control.
- Posibles causas: presenta las causas más probables de la aparición de la alarma en el relé.
- Posibles soluciones: se establecen los pasos que debe seguir el operador en caso de falla detectada por el relé. Cada posible causa tiene asociada una posible solución.
- Panel de operación del relé: muestra un gráfico del panel frontal del relé.
- Glosario de señalización: presenta la descripción y función de los Led's de señalización y las teclas de control en el panel frontal del relé.
- Procedimiento para obtener información sobre el evento en el relé: se presenta el procedimiento para que el operador de la subestación pueda obtener la información sobre la falla en el relé.
- Glosario de los posibles anuncios de falla: para el caso particular de los relés de protección que tienen habilitadas varias funciones, se muestra la lista de todas las posibles fallas que pueda detectar y su correspondiente descripción.

La estructura propuesta para la priorización de actividades presenta, de forma general, las siguientes acciones básicas y secuenciales: revisión de condiciones iniciales, cambio en el nivel de operación, cambio de consigna operativa, y seguimiento de planos para la revisión del circuito de control.

2.7 FORMACIÓN POR COMPETENCIAS LABORALES

Las normas de competencia laboral están conformadas por los conocimientos, las habilidades, destrezas, actitudes y aptitudes, que se identifican a través de la aplicación del análisis funcional, para un desempeño competente en una determinada función productiva. En este sentido, es un instrumento que permite la identificación de las competencias laborales requeridas en una cierta función productiva [Giraldo, 2002].

La formación por competencias, será base para la elaboración del módulo de seguimiento de consignas ya que éstas estarán relacionadas entre sí, por medio de una metodología que se sigue para determinar las habilidades y destrezas de los asistentes de subestación a seguir en el entrenamiento. Esto con el fin de capacitarlos para el manejo de consignas en condiciones normales y bajo falla, y para determinar la forma que debería tener el simulador de entrenamiento en consignas, planteado anteriormente.

3. MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo presenta el sustento teórico utilizado para el desarrollo de este proyecto.

Desde el punto de vista ingenieril, se utilizaron procedimientos de raciocinio e inferencia propios de los Sistemas Basados en el Conocimiento para generar el asistente de entrenamiento de operadores de subestaciones de transmisión. Para esto fue necesario recurrir a la aplicación de conceptos adquiridos en el transcurso de la carrera profesional, sobre todo en la rama de la Inteligencia Artificial.

Desde el punto de vista eléctrico, se presenta la literatura empleada para la comprensión del problema, así como también la fundamentación teórica de las herramientas a utilizar en la elaboración de las matrices de conocimiento, fundamentales en la fabricación de las reglas de producción que utiliza el sistema.

De esta forma, el producto de este trabajo se presenta como un aporte en la solución de problemas interdisciplinarios, como es el entrenamiento de operadores de Subestaciones de Transmisión de Energía Eléctrica.

3.1 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial, es una de las disciplinas más nuevas. Normalmente se considera que inició en 1956 cuando se acuñó este

término. Sin embargo, el estudio de la inteligencia contemplada como el razonamiento humano viene siendo estudiado por los filósofos desde hace más de 2 milenios.

Durante más de 2000 años de tradición en filosofía, sicología y educación han surgido diversas teorías del razonamiento y del aprendizaje, simultáneamente con el punto de vista de que la mente funciona como un sistema físico. Durante más de 400 años de matemáticas, han surgido teorías formales relacionadas con la lógica, la probabilidad, la teoría de decisiones y la computación. La psicología ofrece herramientas que permiten la investigación de la mente humana, así como un lenguaje científico para expresar las teorías que se van obteniendo. La lingüística ofrece teorías sobre la estructura y el significado del lenguaje. La ciencia de la computación dispone de herramientas que permiten que la inteligencia artificial sea una realidad. [Corredor, 1992]

Según [Russel, Norving, 1996], los esfuerzos del campo de la Inteligencia Artificial, IA, se enfocan a lograr la comprensión de entidades inteligentes, por lo que una de las razones que motivó su estudio fue la de aprender más acerca de los seres humanos. A diferencia de la filosofía y de la psicología, la IA se ocupa además de la comprensión de la construcción de entidades inteligentes.

Una buena definición de IA es algo elusiva y controversial, fundamentalmente porque la inteligencia humana no está completamente entendida. Cada libro de texto en IA propone una definición que enfatiza las diferentes perspectivas que encierran el campo, según la percepción del autor.

Russell y Norving incluyen una figura en la que presentan definiciones de IA clasificadas en cuatro categorías a saber: sistemas que piensan como humanos, sistemas que actúan como humanos, sistemas que piensan racionalmente y sistemas que actúan racionalmente.

Esta clasificación se reproduce en la tabla 1, y contiene definiciones que varían en torno a dos dimensiones principales: las que aparecen en la parte superior se refieren a procesos mentales y de razonamiento, en tanto que las de la parte inferior aluden a la conducta. Por otra parte, las definiciones de la izquierda miden la condición deseable en función de eficiencia humana, mientras que las de la derecha lo hacen de conformidad con un concepto de inteligencia ideal, denominado racionalidad.

A pesar de la diversidad de conceptos propuestos para la IA, en general todos coinciden en que la IA trata de alcanzar inteligencia a través de la computación. Toda computación, requiere de una representación de cierta entidad y de un proceso para su manipulación.

Puesto que la IA tiene como metas, a largo plazo, el desarrollo de máquinas que puedan percibir, razonar, aprender, comunicarse y actuar en entornos complejos, igual o incluso mejor que los humanos y además llegar a comprender este tipo de comportamiento; metas científicas y de ingeniería deben ser el objetivo de la IA.

Como ingeniería, el objetivo de la IA es resolver problemas reales, actuando como un conjunto de ideas acerca de la forma de representar y utilizar el conocimiento, y de desarrollar sistemas informáticos. Como

ciencia, el objetivo de la IA es buscar la explicación de diversas clases de inteligencia, a través de la representación del conocimiento y de su aplicación en los sistemas informáticos desarrollados.

<p>“la interesante tarea de lograr que las computadoras piensen... <i>Máquinas con mente</i>, en su amplio sentido literal” (Haugeland, 1985)</p>	<p>“El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales” (Charniak y Maclermott, 1985)</p>
<p>“[La automatización de] actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades tales como toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...” (Bellman, 1978)</p>	<p>“El estudio de los cálculos que permiten percibir, razonar y actuar” (Winston, 1992)</p>
<p>“El arte de crear máquinas con capacidad de realizar funciones que son realizadas por personas requieren inteligencia” (Kurzweil, 1990)</p>	<p>“Un campo de estudio que se enfoca a la explicación y emulación de la conducta inteligente en función de procesos computacionales” (Schalkoff, 1990)</p>
<p>“El estudio de cómo lograr que las computadoras realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor” (Rich y Knight, 1991)</p>	<p>“La rama de la ciencia de la computación que se ocupa de la automatización de la conducta inteligente” (Luger y Stubblefield, 1993)</p>

Tabla 1 Algunas definiciones de IA agrupadas en cuatro categorías

[Russell, Norving, 1996].

3.1.1 Breve Historia, Evolución y Estado Actual

La llegada de las computadoras a principios de los años cincuenta permitió pasar de la especulación, en charlas informales, en torno a estas facultades mentales, a su abordaje mediante una auténtica disciplina teórica y experimental.

Se considera que la IA inició formalmente, cuando John McCarthy acuñó el término como título de una conferencia celebrada en Dartmouth en 1956; no obstante para entonces ya se había estado trabajando en ello. De hecho, [Nillson, 2001] reconoce que los primeros programas, fueron escritos por investigadores durante las décadas de los 40 ó 50 cuando empezaban a desarrollarse los primeros computadores, con la realización de algunas tareas elementales de razonamiento.

La historia de la IA ha sido testigo de ciclos de éxito e injustificado optimismo y la consecuente aparición y desaparición de entusiasmos y apoyos financieros. También ha habido ciclos caracterizados por la introducción de nuevos y creativos enfoques y de un sistemático perfeccionamiento de los mejores.

3.1.2 Áreas y Aplicaciones

La investigación en IA se ha encontrado con que aplicaciones como el diagnóstico médico, la consulta de contribuciones o el diseño de equipos, necesitan de un amplio conocimiento acerca del tema que tratan.

Este énfasis en la importancia del conocimiento en las aplicaciones descritas sugiere utilizar la frase *Sistemas Basados en Conocimiento* para describir los programas que razonan utilizando grandes bases de conocimiento.

Desde el punto de vista de ingeniería, la mayor parte del trabajo requerido para construir sistemas de IA, está basado en el desarrollo de representaciones adecuadas de conocimiento y sus correspondientes estrategias de manejo. No se puede manejar el conocimiento a menos que esté adecuadamente representado [Rich, Kinigh, 1994].

En IA, el conocimiento puede ser de tipo procedimental, declarativo o heurístico. Conocimiento procedimental es aquel conocimiento compilado que se refiere a la forma de realizar una cierta tarea (el saber cómo hacerlo). Por ejemplo, los pasos necesarios para resolver una ecuación algebraica son expresados como conocimiento procedimental.

Por otro lado, el conocimiento declarativo es conocimiento pasivo, expresado como sentencias acerca de los hechos del mundo del entorno (el saber qué hacer). La información personal en una base de datos es un típico ejemplo de conocimiento declarativo. Tales tipos de datos son piezas explícitas de conocimiento independiente.

La representación del conocimiento constituye una de las máximas prioridades de la investigación en IA. Una representación del conocimiento puede ser un esquema o dispositivo utilizado para capturar los elementos esenciales del dominio de un problema. Una representación manejable es aquella que facilita la computación. En

representaciones manejables, la información es accesible a otras entidades que usan la representación como parte de una computación.

3.2 SISTEMA BASADOS EN EL CONOCIMIENTO (SBC)

Un sistema basado en el conocimiento, es un sistema computarizado que emula el proceso de razonamiento de un experto humano en un área o campo específico. Esta área o campo puede referirse a aplicaciones en las siguientes categorías: la interpretación, la predicción, el diseño, la planeación, la monitorización, la depuración, la instrucción, el entrenamiento, el control y el diagnóstico.

Los sistemas basados en el conocimiento pueden considerarse como un estilo de programación en el que se separa por una parte el conocimiento y, por la otra, la forma de usarlo. Se pueden describir los sistemas basados en el conocimiento como una formula así:

Sistema Basado en el conocimiento = modelo declarativo + procedimiento de interpretación.

La idea central de este planteamiento es la separación entre el conocimiento estático del dominio o modelo declarativo y el conocimiento de control o procedimiento de interpretación, gracias al cual se interpreta el modelo declarativo de manera que permita solucionar problemas concretos sobre el dominio.

3.2.1 Esquema General de un Sistema Basado en el Conocimiento

Un sistema basado en el conocimiento está compuesto básicamente por los módulos: base de conocimiento (BC), motor de inferencia (MI), interfase de usuario (IU) y justificación.

3.2.1.1 Base de Conocimiento

Contiene las reglas, los procedimientos y los datos intrínsecos al área del problema. Generalmente se construye a través de consulta con uno o varios expertos del área y literatura especializada, y se hace con el propósito de incluir el conocimiento heurístico, procedimientos y reglas de decisión para la solución de problemas.

3.2.1.2 Motor de Inferencia

Es el mecanismo empleado para utilizar el contenido de la base de conocimiento, buscando una solución o conclusión determinada. Este proceso que efectúa el razonamiento a partir de los datos y utilizando el conocimiento, se puede aplicar a diferentes dominios, sólo cambiando la BC.

El paradigma del motor de inferencia es la estrategia de búsqueda que se emplea para producir el conocimiento demandado. Varios paradigmas diferentes se emplean en un sistema basado en el conocimiento, pero la mayoría se basa en dos conceptos fundamentales: encadenamiento hacia delante y encadenamiento hacia atrás.

El proceso de buscar conocimientos apropiados y a partir de estos, deducir nuevos, constituye un elemento clave del procedimiento de un sistema experto.

3.2.1.3 Interfase de Usuario

Es el medio de comunicación entre el sistema basado en el conocimiento y el usuario.

Las funciones de la interfase están relacionadas con la aceptación de información del usuario y su traducción a una representación que entienda el sistema, o con la aceptación de información proveniente del sistema y su conversión a una forma que el usuario pueda entender.

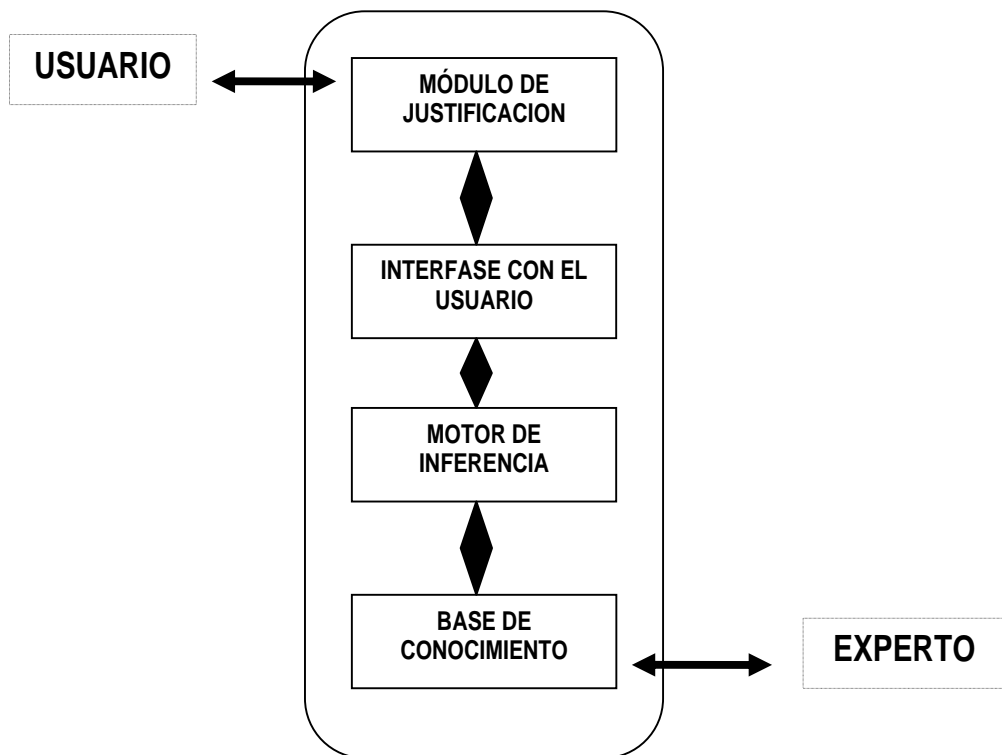


Figura 11 Esquema de un Sistema Basado en el Conocimiento[Rolston, 1990]

3.2.1.4 Justificación

Es el módulo por medio del cual el sistema informa o explica la manera en la cual llegó a la solución. En este caso incluye las características operativas y de estado de los equipos que utilizó para encontrar la solución.

3.2.2 Etapas de Desarrollo de un SBC

Para el desarrollo del sistema basado en el conocimiento se tienen en cuenta las siguientes etapas:

3.2.2.1 Análisis Previo

Corresponde a la identificación y análisis del problema para identificar si puede solucionarse a partir de una serie de reglas y experiencias. A partir de esto, se diseña algún modo de adquirir, modelar y expresar el conocimiento en forma simbólica de manera que pueda ser procesado por la máquina. En esta etapa se definen las estrategias de desarrollo del sistema, el dominio y las tareas específicas a ser resueltas por el sistema basado en el conocimiento.

3.2.2.2 Análisis de la Tarea

Conjunto de actividades que determinan la labor a desarrollar por el sistema. Se logra por medio de consulta de literatura y de expertos, así como también por la observación del especialista en su trabajo cotidiano. Se define el tipo de problema que podrá resolver el sistema, sus limitaciones y la forma como se medirá su rendimiento.

3.2.2.3 Construcción del Prototipo

Después del análisis del problema y de la técnica a utilizar, se construye un prototipo para ayudar a la comprensión del problema y estimar el mecanismo de inferencia más apropiado para el diagnóstico, la consistencia en la información, la estructura de la base del conocimiento creada y las características de la interfase.

3.2.2.4 Desarrollo del Sistema

Es la formalización y el diseño completo del sistema. Aquí se crean las estructuras de datos necesarias para almacenar los conocimientos del especialista y la interfase de usuario.

3.2.2.5 Pruebas de Campo

Consiste de un ciclo continuo de adquisición de conocimiento, actualización de la base del conocimiento y pruebas para determinar si la forma como se implementa el sistema es adecuada y tiene utilidad futura.

3.3 REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO

El conocimiento representa la piedra angular de un sistema inteligente. Se busca poder representarlo abstractamente y utilizarlo para apoyar el proceso de razonamiento. La idea de representar el conocimiento es simbolizar las complejas estructuras de información con el objetivo de apoyar el proceso de razonamiento.

La representación del conocimiento abarca: la estructura empleada para describir los elementos del conocimiento y el Proceso Interpretativo que se requiere para emplear el conocimiento descrito.

Existen muchas formas diferentes de representar el conocimiento en IA, pero la característica común a todas las representaciones es que tienen en cuenta dos tipos de entidades: Hechos o verdades en un cierto mundo, es decir lo que desea representarse y representaciones de los hechos en un determinado formalismo, esto es, lo que realmente se puede manejar.

Si no es posible establecer una correspondencia adecuada entre representaciones para un determinado problema, entonces el programa no obtendrá respuestas que se correspondan con las respuestas reales, por muy bueno que sea resolviendo ese problema.

Considerando estas ideas, el diseño de un Sistema Basado en el Conocimiento implica la necesidad de una lógica, es decir, de un lenguaje formal para expresar el conocimiento y de diferentes formas de razonar utilizando el lenguaje.

3.3.1 Criterios de Evaluación de la Representación

Para resolver los complejos problemas a los que se enfrenta la Inteligencia Artificial se requiere disponer de una gran cantidad de conocimiento, y de una serie de mecanismos que permitan manejarlo con el fin de obtener soluciones a nuevos problemas, y una comprensión básica de la forma en que se puede representar el conocimiento y de los métodos que se pueden usar.

El conocimiento es muy importante porque permite la organización y la representación de las leyes, las teorías, los conceptos, las ideas y los métodos de resolución que posibilitarán la implementación de procesos de inferencia para obtener soluciones óptimas aceptables a diversas situaciones problemáticas. En este caso, el objetivo que se busca es adecuar una de las diferentes formas de representación para el desarrollo de la Base del Conocimiento que se adapte al manejo de las consignas.

La elección de la mejor forma de manipular el conocimiento y la información, exige resolver tres problemas: Encontrar la forma de representar todo el conocimiento del dominio, realizar inferencias automáticas por el usuario y actualizar y construir nuevos conocimientos.

Los modelos de representación actuales son los resultados de investigaciones y análisis empíricos antes que de consideraciones filosóficas. En los modelos de representación actuales no existe una técnica de representación universal considerada la mejor. Todo depende del área de aplicación. Sin embargo es posible evaluar los esquemas de representación según ciertos criterios generales. Éstos se resumen en la Tabla 2, los criterios se evaluaron por medio del seguimiento de una consigna con las técnicas de: lógica, frames o marcos, redes semánticas, reglas y razonamiento basado en casos. De la aplicación de las formas de representación y del análisis de sus fortalezas y debilidades, se logró obtener una selección inicial de forma de representación [Corredor, 1992].

Criterio	Definición
Transparencia	Facilidad para identificar el conocimiento almacenado.
Claridad	Facilidad de representar directamente el conocimiento.
Naturalidad	Facilidad de representar el conocimiento en su forma original
Eficiencia	Facilidad relativa con la cual se puede acceder a conocimientos específicos durante la ejecución
Adecuación	Punto hasta el cual una estructura dada se puede emplear para representar los conocimientos que requiere el sistema
Modularidad	Punto hasta el cual los fragmentos de conocimiento se pueden almacenar independientemente uno del otro

Tabla 2. Criterios generales de evaluación de Técnicas de Representación del Conocimiento.

3.3.2 Esquemas de Representación del Conocimiento

3.3.2.1 Representación Declarativa

Es aquella en la cual el conocimiento está especificado, pero no la manera en que debe ser usado. Una representación declarativa requiere de un programa que especifique lo que debe hacerse con el conocimiento y la forma como debe hacerse.

Si las aseveraciones⁶ lógicas son consideradas como programas y no como datos de un programa, entonces las sentencias de implicación

⁶ Proposición o enunciado en los que se afirma algo.

definen los caminos de razonamiento legitimado, dando los correspondientes puntos de partida. Las formas básicas de la representación declarativa son las reglas, las cláusulas, los marcos y las restricciones. Una representación declarativa del conocimiento se diferencia de una representación procedimental en que en la primera se especifica el conocimiento de forma independiente de su uso. Sin embargo, se verá que asociada a cada representación se dispone de formas de manipulación del conocimiento específicas y que en cierta forma son un criterio para la elección de la forma de representación del conocimiento.

3.3.2.2 Representación Procedimental

La información de control necesaria para utilizar el conocimiento se encuentra embebida en el propio conocimiento. Para utilizar una representación procedimental se necesita aumentarla con un intérprete que siga las instrucciones dadas por el conocimiento. La verdadera diferencia entre el punto de vista declarativo del conocimiento y el procedimental, radica en el sitio donde se encuentra la información de control. Es importante recordar que, aunque ya se ha dicho que una representación procedimental codifica la información de control en la base de conocimiento, esto sólo ocurre en el caso en que el intérprete de la base de conocimiento reconozca dicha información de control. Por lo tanto, se pueden haber obtenido diferentes respuestas a la pregunta hecha.

3.3.3 Técnicas de Representación del Conocimiento

Existen diversas técnicas para la representación del conocimiento consideradas en el presente trabajo de investigación para determinar la más adecuada a la representación de las consignas. Algunas de ellas se describen a continuación. El ejemplo considerado para seleccionar la forma de representación a usar en este proyecto, corresponde a la consigna operativa en condiciones normales GRA2-009-LIN y la consigna bajo falla GRA2-F015-SEC que corresponden a: Transferencia circuito Guatiguara-Bucaramanga, de la bahía de línea a la bahía de acople, y Seccionador L152 no cierra en maniobra de transferencia programada campo de línea a campo de acople.

3.3.3.1 Lógica Formal

La lógica de predicados de primer orden es la lógica que tiene como elemento básico el predicado y es de primer orden porque sólo cuantifica variables. El predicado es un enunciado que describe características y/o relaciones entre los objetos que se están trabajando.

La sintaxis de la lógica formal es sencilla. Los símbolos utilizados son las constantes *Verdadero* y *Falso*, símbolos de proposiciones tales como P y Q , los conectivos \wedge , \vee , \Leftrightarrow , \Rightarrow , \neg y $()$. En la Tabla 3 se presentan los signos junto con a una breve explicación de cada uno.

Todas las oraciones se forman combinando los signos anteriores mediante las siguientes reglas:

- Las constantes lógicas *verdadero* y *falso* constituyen oraciones en sí mismas.
- Un símbolo propositivo tal como P ó Q , es una oración en sí mismo.
- Encerrar entre paréntesis una oración produce también una oración, por ejemplo $(P \wedge Q)$.

La semántica de la lógica formal es bastante sencilla. Se define especificando la interpretación de los signos de proposición y de las constantes, y especificando el significado de los conectores lógicos.

Signo	Significado	Explicación
\wedge	Y	A la oración cuyo conector principal es \wedge como en $P \wedge (Q \vee R)$ se le denomina conjunción (lógica); a sus partes se les llama conjuntos.
\vee	O	En una oración donde aparece \vee , como en $A \vee (P \wedge Q)$ se le denomina disyunción de A y $(P \wedge Q)$. (Históricamente, \vee se originó de la palabra latina "vel" que significa "o".
\Rightarrow	Implica	Una oración como $(P \wedge Q) \Rightarrow R$ se conoce como implicación (o condicional). Su premisa o antecedente es $P \wedge Q$ y su conclusión o consecuente es R . A las implicaciones también se les conoce como reglas o aseveraciones si-entonces. El símbolo de implicación a veces se escribe en libros como: $\supset \rightarrow$.

\Leftrightarrow	Equivalente	La oración es una equivalencia (también conocida como bicondicional).
\neg	No	A una oración como por ejemplo $\neg P$ se le conoce como negación de P. Los demás conectores combinan dos oraciones en una sola; \neg es el único de los conectores que funciona en una oración.

Tabla 3 Sintaxis de la Lógica

Un signo de proposición significa lo que el usuario desee. Es decir, cualquier hecho arbitrario puede ser su interpretación. P podría interpretarse como que París es la capital de Francia o que el Wumpus está muerto. Las oraciones que contienen sólo un signo de proposición son satisfacibles pero no válidas: son verdaderas sólo cuando el hecho al que aluden es relevante en un momento dado. En el caso de las constates lógicas no hay opción: la oración *Verdadero* siempre quiere decir aquello que sucede en la realidad: el hecho de la verdad. La oración *Falso* siempre quiere decir aquello que no existe en el mundo (Cuando en este proyecto se habla del mundo, se hace referencia al universo del problema).

El significado de una oración compleja se obtiene del significado de cada una de sus partes. Se puede considerar que cada conector es una función. Una manera de definir una función es construir una tabla mediante la que se obtenga el valor de salida de todos los valores de entrada posibles. A este tipo de tablas se les conoce como tablas de verdad. La Tabla 4 es una tabla de verdad de los conectores lógicos.

P	Q	$\neg p$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Verdadero	Verdadero
Falso	Verdadero	Verdadero	Falso	Verdadero	Verdadero	Falso
Verdadero	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso
Verdadero	Verdadero	Falso	Verdadero	Verdadero	Verdadero	Verdadero

Tabla 4 Tabla de verdad proposicional

- **Validez e inferencia de la lógica formal**

La inferencia es el procedimiento mediante el cual se obtienen nuevas oraciones a partir de la evaluación previa de otras. El esfuerzo se centra en diseñar procedimientos de inferencia confiables, para obtener conclusiones verdaderas a partir de premisas verdaderas. Una oración verdadera en todos los mundos, bajo todas las interpretaciones, se dice que es válida. Cuando una oración de implicación es válida, (lo cual se debe demostrar), su conclusión se puede obtener si se conoce su premisa. La validez de la oración se puede demostrar, independientemente del significado.

Las tablas de verdad sirven no sólo para definir los conectores, sino también para probar la validez de las oraciones. Si se desea considerar una oración, se construye una tabla de verdad con una fila por cada uno de los de valores de verdad correspondientes a los signos propositivos de la oración (que van en las columnas). Se calcula el valor de verdad, en cada una de las fila, y si la oración es verdadera en cada una de ellas, la oración es válida.

En el siguiente código se representan mediante “lógica”, las consignas tomadas como ejemplo.

El primer paso es definir constantes, variables, funciones y predicados dentro del conocimiento a representar, para formular el conocimiento en el lenguaje natural deseado. En esta forma se describen expresiones según las reglas de formación y la lógica, para así construir la base del conocimiento.

domains = “*términos que se usan para representar argumentos de predicados que no varían en el*

Proceso de inferencia”

nombre = symbol

codigo = symbol

predicates “*expresan propiedades de objetos o elementos de un dominio o una relación entre estos*”

equipo(nombre)

falla (nombre)

acción(nombre)

relación(nombre, nombre, nombre)

pertenece (nombre, nombre)

clauses “*términos que describen elementos, identificándolos como el resultado único de la aplicación*

de una transformación entre otros elementos del dominio”

acción(cambio _ conexión_1_2).

equipo(seccionador_L151).

equipo(seccionador_L152).

equipo(seccionador_L153).

falla(no_cierra_Nivel_1).

relación(seccionador_L152,no_cierra_nivel_1,cambio_conexion_1_2).

pertenece(seccionador_L152,no_cierra_Nivel_1).

pertenece(seccionador_L152,no_abre_Nivel_1).

pertenece(seccionador_L153,no_cierra_Nivel_1).

pertenece(seccionador_L153,no_abre_Nivel_1).

Respuesta del programa

Goal: equipo (seccionador_152) “ el seccionador es un equipo de la subestación”

NO (aquí le esta diciendo que no esta catalogado como un equipo)

Goal: pertenece (seccionador_L152, no cierra _ nivel_1). “el seccionador esta cerrando el nivel 1”

YES (aquí le dice que si esta cerrando)

Goal: relacion (seccionador_L152,no cierra_nivel_1,cambio _ conexión_1_2).

“cuando el seccionador no cierra en el nivel 1, haga cambio de conexión de barra1 a barra2.”

NO (aquí le dice que no puede hacer ese cambio)

Ventajas

- El contar con reglas de inferencia y pruebas de resolución, permite obtener conclusiones verídicas sobre lo que quiere averiguar.

Desventajas

- La representación del conocimiento, aún en las expresiones mas simples, puede requerir de un gran número de predicados.
- Debido a la cantidad de predicados, la creación y modificación de la base de conocimiento es un procedimiento largo y tedioso.
- Se pueden perder detalles fácilmente declarables que representan conocimiento en las consignas.
- Se puede caer en ambigüedad pues en la interpretación de las consignas existe conocimiento que se repite en varias de ellas.
- Aun en los casos más sencillos no es probable que en un conjunto de frases dado, esté contenida toda la información necesaria para razonar sobre una consigna específica.
- La representación del conocimiento relacionado en las consignas, por medio de lógica proposicional es un procedimiento demasiado largo y engorroso, ya que se deben declarar todas las instancias involucradas, las relaciones entre ellas, los procesos y los resultados obtenidos.
- El conocimiento representado por medio de la lógica no es accesible de una manera eficiente, esto se debe a que en el proceso de inferencia se deben introducir todos los datos que sean necesarios para que el programa entregue los resultados requeridos.

- La representación de los conocimientos descritos en las consignas será lo suficientemente clara en la medida en que se puedan traducir en predicados lógicos la mayor parte de los procedimientos.
- La lógica dificulta la lectura e identificación del conocimiento almacenado, ya que éste, al ser declarado tan específicamente, puede confundir a aquellos que no estuvieron presentes en la declaración del conocimiento.

3.3.3.2 Redes Semánticas

Las redes semánticas, fueron originalmente desarrolladas para representar el significado o semántica de oraciones en inglés, en términos de objetos y relaciones. Se trata de un lenguaje gráfico fácilmente traducible a forma simbólica, muy útil para representar conocimiento taxonómico. Es decir, aquél que permite agrupar los elementos del universo en una jerarquía de clases y subclases entre las cuales existe una relación de herencia. [Corredor, 1992]

Las redes semánticas o asociativas se caracterizan por representar el conocimiento en forma gráfica. Agrupan una porción de conocimiento en dos partes: objetos y relaciones. Los objetos se denominan también nodos (elementos del conocimiento) y las relaciones entre nodos se denominan enlaces o arcos. Cada nodo y cada enlace en una red semántica, deben estar asociados con objetos descriptivos.


Son muy apropiadas para representar conocimiento de naturaleza jerárquica. Su concepción se basa en la asociación de conocimientos que realiza la memoria humana. Las principales aplicaciones son:

comprensión de lenguaje natural, bases de datos deductivos, visión por computadora y sistemas de aprendizaje.

Las redes asociativas tienen dos ventajas sobre los sistemas basados en reglas y sobre los basados en lógica: Permiten la declaración de importantes asociaciones, en forma explícita y sucinta y, además, debido a que los nodos relacionados están directamente conectados y no se expresan las relaciones en una gran base de datos, el tiempo que toma el proceso de búsqueda por hechos particulares puede ser significativamente reducido.

Entre las desventajas de las redes asociativas, se tiene que no existe una interpretación normalizada para el conocimiento expresado por la red. La interpretación de la red depende exclusivamente de los programas que manipulan la misma. Además la dificultad de interpretación, a menudo, puede derivar en inferencias inválidas del conocimiento contenido en la red. Finalmente, la exploración de una red asociativa puede derivar en una explosión combinatoria del número de relaciones a ser examinadas para comprobar una relación.

En la figura 12 se presentan las consignas tomadas como ejemplo, representadas mediante redes semánticas. La representación tienen en cuenta las siguientes definiciones.

NODOS: Permiten representar objetos físicos y conceptuales del dominio en el que se esté trabajando. (Nodo) 

ENLACES: Permiten definir relaciones que se presentan entre los objetos del dominio como la herencia y causas. (Enlace)



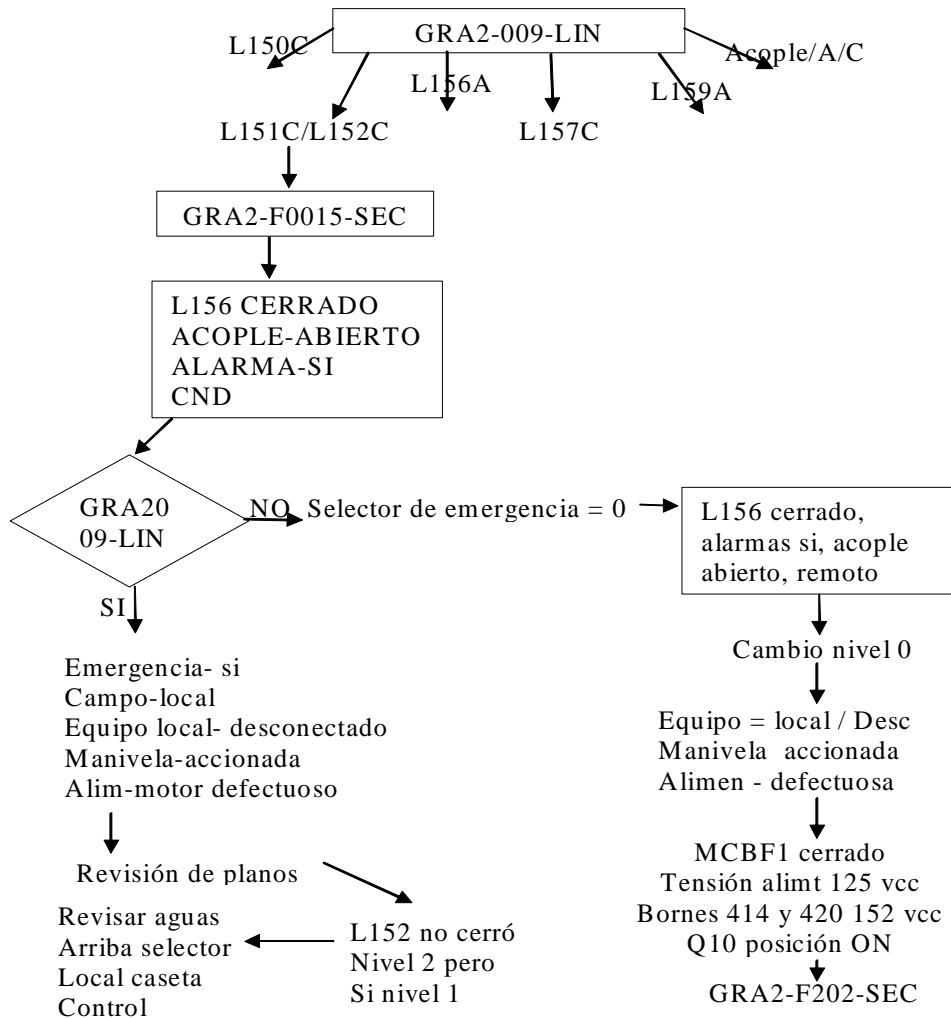


Figura 12 Representación en Redes Semánticas.

Ventajas

- Permiten la declaración de importantes asociaciones, en forma explícita y sucinta.
- Debido a que los nodos relacionados están directamente conectados, y no se expresan las relaciones en una gran base de

datos, el tiempo que toma el proceso de búsqueda por hechos particulares puede ser significativamente reducido.

- Las redes semánticas hacen los objetos y las relaciones en las consignas.
- Permiten decidir con facilidad la opción verdadera para un caso en particular.
- Se pueden generalizar las consignas y hacer a un lado los detalles que rara vez se utilizan, pero acceder a ellos cuando sea necesario.
- Permiten enlazar técnicas de representación tales como la lógica o las reglas en aquellos casos donde no es posible detallar en la representación por medio de redes semánticas.

Desventajas

- No existe una interpretación normalizada para el conocimiento expresado por la red. La interpretación de la red depende exclusivamente de los programas que manipulan la misma.
- La dificultad de interpretación a menudo puede derivar en inferencias inválidas del conocimiento contenido en la red.
- La exploración de una red asociativa puede derivar en una explosión combinatoria del número de relaciones que deben ser examinadas para comprobar una relación.
- En ocasiones por cuestión de memoria, se dificultan los mecanismos de búsqueda y se aumenta el tiempo de respuesta.
- Por medio de redes semánticas, el conocimiento representado en las consignas, no utiliza el lenguaje propio del área de la aplicación.
- Las redes semánticas tienen poca flexibilidad, lo que dificulta las modificaciones, y su lectura cuando la base de conocimientos es

grande, es compleja, por lo cual necesita de potentes sistemas gráficos.

- La representación de conocimiento únicamente mediante redes semánticas no suele ser habitual.
- Las relaciones entre nodos y enlaces no se cumplen, debido a que en el conocimiento inmerso en las consignas no se ve la relación de herencia y confrontación⁷.

3.3.3.3 Marcos

Un marco (*frame*) es una estructura de datos planteados para representar una situación estereotípica. Los marcos corresponden a que organizan el conocimiento en objetos y eventos, apropiados para situaciones específicas. Evidencia psicológica sugiere que la gente utiliza grandes plantillas para codificar el conocimiento de experiencias pasadas, o el conocimiento acerca de cosas que se encuentran comúnmente, para analizar y explicar una situación nueva en su cotidiana actividad cognoscitiva.

Una *plantilla* representa un objeto o situación y describe la colección de atributos que posee. Están formadas por un nombre y por una serie de campos de información o *ranuras* (*slots*). Cada *ranura* puede contener uno o más *enlaces* (*facets*). Cada *enlace* tiene un valor asociado. Varios *enlaces* pueden ser definidos para cada *ranura*. Además los *enlaces* pueden ser procedimientos que residen en la base de datos y están aguardando para ser utilizados cuando se los necesite. Entre los más comunes se pueden mencionar:

⁷ Es la operación que se realiza cuando se trata de responder a consultas del usuario y se usa el conocimiento representado en la red semántica.

- *Si-Necesitado*.- Procedimiento(s) para determinar el valor actual de una ranura.
- *Si-Agregado*.- Procedimiento(s) a ejecutarse cuando un valor es especificado para una ranura.
- *Si-Modificado*.- Procedimiento(s) a ejecutarse si el valor de una ranura es cambiado.

A estos procedimientos también se los denomina *demons* y representan un concepto poderoso en las plantillas, esto es, la habilidad de combinar conocimiento procedimental dentro de la estructura de conocimiento declarativo de la plantilla. Esto sugiere que una plantilla puede ser un medio poderoso de representación del conocimiento, especialmente si se la incorpora en una red de plantillas.

Un marco único, tomado independientemente, no suele ser útil. En lugar de eso se construyen sistemas de marcos a partir de colecciones de marcos conectados unos con otros en virtud del hecho de que el valor de un atributo de un marco, puede ser a su vez otro marco.

Cada marco representa una clase (un conjunto) o una instancia (un elemento de la clase). Existen relaciones tales como: *es_un* (Subconjunto), *instancia*, *mutuamente_excluyente_con* (No tiene elementos comunes), *es_cubierta_por* (relación clase - subclases = clase original). Una clase es un conjunto pero también una entidad en sí misma y puede tener propiedades que no pertenezcan a instancias individuales, sino sólo a la clase de su conjunto. Una clase hereda propiedades de la clase de la cual es instancia, del mismo modo que lo hace cualquier instancia. Además, una clase traslada propiedades hereditarias desde sus superclases hacia sus instancias.

Se pueden establecer ciertas similitudes entre un sistema basado en plantillas y un sistema de bases de datos. Aparentemente los dos representan "datos" (a través de las ranuras de una plantilla y de los campos de una tabla de datos), sin embargo las plantillas representan en realidad conocimiento, mientras que las bases de datos representan sólo datos. La investigación que se realiza actualmente en bases de datos está examinando la posibilidad de aplicarlas a la representación del conocimiento, incorporando herencia y *demons* (*Bases de Datos Inteligentes*), similar a lo que se tiene en sistemas basados en conocimiento

Inferencia en los Marcos

- Instanciación: dado un Marco que representa un concepto, se puede generar una instancia de ese concepto llenando sus "slots".
- La posesión de atributos es suficiente y necesaria para que un objeto califique como instancia de un marco
- Apareamiento: una instancia de un concepto puede verse como instancia de otro.
- Diferentes puntos de vista: un objeto puede tener propiedades aparentemente contradictorias si se le ve desde diferentes puntos de vista (traducción analógica, e.g., ver a un hombre como un cerdo).
- Razonamiento por defecto: hacer ciertas deducciones (por defecto) y luego posiblemente eliminarlas al tener más información (razonamiento no-monotónico).
- Razonamiento reflexivo: habilidad de hablar acerca de sí mismo (e.g., saber sobre su propio mecanismo de deducciones).

En principio, todos estos tipos de razonamiento se pueden hacer con relativa facilidad usando lógica de primer orden, excepto el razonamiento por defecto y el razonamiento reflexivo.

El razonamiento por defecto requiere de la habilidad de que el sistema sea reflexivo ("hable de sí mismo").

Aparte de la idea de sistema reflexivo, no se ve mayor aportación representacional de los marcos y su fortaleza ha sido sobretodo en la implementación.

En el siguiente código se encuentra la representación de las consignas del caso ejemplo mediante marcos.

El primer paso es definir los componentes que son: nombre, padre o naturaleza, atributos o slots.

SUBESTACIÓN "*nombre*"

Es_un: Lugar "*padre o naturaleza*"

Cardinalidad: 7 "*atributos*"

*Configuración: Doble Barra "*atributos*"

GUATIGUARA

Es_un: Subestación

Cardinalidad: # de grupos

*ubicación: Piedecuesta

*Configuración: Doble Barra

*líneas: Bucaramanga

EQUIPO

Instancia: Guatiguara

Cardinalidad: (# de equipos diferentes en patio 0, # de patios en una Subestación.)

*maniobras: (relación de maniobras por subestación).

*código: (de los equipos).

*línea: Bucaramanga.

SECCIONADOR

Es_un: equipo
Cardinalidad: (# de seccionadores en un patio).
*color: (color característico).
*código: I152.
*falla: relación de consigna bajo falla.}
*línea: Bucaramanga.
*estado: abierto.

INTERRUPTOR

Es_un: equipo
Cardinalidad: (# de interruptores en un patio).
*color: (color característico).
*código: I150.
*línea: Bucaramanga.
*estado: cerrado.

MANIOBRAS

Instancia: equipos de patio.
Cardinalidad: (# de maniobras operativas por subestaciones.).
*línea: Bucaramanga.
* Configuración: Doble barra.

TRANSPARENCIA

Es_un: maniobras.
*línea: Bucaramanga.
*configuración: doble barra.

BORNES

Instancia: seccionador o interruptor
Cardinalidad: (# en el equipo.).
*línea: Bucaramanga.
* código: del borne.
* valor: el que sea.

GRA2-009-LIN

ES –UN: consigna operativa
*línea: Bucaramanga.
*configuración: doble barra.
Consigna bajo falla
Instancia: #5
Cardinalidad: #

Ventajas

- Los *Marcos* en las consignas están organizados jerárquicamente, por lo que es posible que los frames hijos puedan heredar relaciones de los frames padres, que son otras consignas.
- Facilitan la búsqueda rápida en la base de conocimientos a través de la representación compacta de la información.

Desventajas

- Dificultad de representar las consignas que se alejen considerablemente de los esquemas generales.
- No tiene la posibilidad de acomodarse a situaciones nuevas y consignas nuevas.
- Dificultad para describir conocimiento heurístico en las consignas ya que es difícil representarlo si no se encuentra una clase específica.
- Esta técnica de representación, no permite describir todo el conocimiento contenido en las consignas, además, no ofrece la posibilidad de mantener una comunicación continua con otras técnicas de representación, debido a que ésta es procedimental, y aquellas en donde se puede representar mucho mas conocimiento, son declarativas.
- En la representación de las consignas, no se ven claramente las propiedades heredables en los marcos, por lo tanto, los métodos de inferencia y búsqueda se tornan lentos a medida que crece el árbol.

3.3.3.4 Reglas de Producción

Los sistemas basados en reglas tienen gran simplicidad y similitud con el razonamiento humano. Las reglas son un importante paradigma de representación del conocimiento.

Las reglas representan el conocimiento mediante un formato *SI-ENTONCES (IF-THEN)*, es decir tienen 2 partes:

- La parte *SI (IF)*, es el antecedente, premisa, condición o situación; y
- La parte *ENTONCES (THEN)*, es el consecuente, conclusión, acción o respuesta.

Su método de búsqueda se hace por medio de encadenamiento hacia adelante y hacia atrás, la actualización de la base de conocimiento se realiza fácilmente mediante la adición y modificación del conocimiento. Cada regla es un pedazo de conocimiento modular e incluye explícitamente en sus condiciones, el contexto necesario.

Proceso de razonamiento

El proceso de razonamiento en un sistema basado en reglas es una progresión desde un conjunto inicial de afirmaciones y reglas hacia una solución, respuesta o conclusión. La forma de obtener el resultado, sin embargo, puede variar significativamente, por ejemplo:

- Se puede iniciar considerando todos los datos conocidos y luego avanzar progresivamente hacia la solución. Este proceso se denomina “*guiado por los datos*” o de “*encadenamiento progresivo*” (*forward chaining*).

- Se puede seleccionar una posible solución inicial y tratar de probar su validez buscando evidencias que la apoyen. Este proceso se denomina “guiado por el objetivo” o de “encadenamiento regresivo” (*backward chaining*).

Razonamiento Progresivo

En el caso del razonamiento progresivo, se empieza a hacer inferencia a partir de un conjunto de datos recolectados a través de observación y se evoluciona hacia una conclusión. Se chequea cada una de las reglas para ver si los datos observados satisfacen las premisas de alguna de las reglas. Si una regla se satisface, es ejecutada derivando nuevos hechos que pueden ser utilizados por otras reglas para derivar hechos adicionales. Este proceso de chequear reglas para ver si se pueden satisfacer, se denomina *interpretación de reglas*.

La interpretación de reglas en un sistema basado en conocimiento la interpretación de reglas, o inferencia, la realiza la maquina de inferencia, en el razonamiento progresivo involucra la repetición de los pasos que se indican en la figura 13.

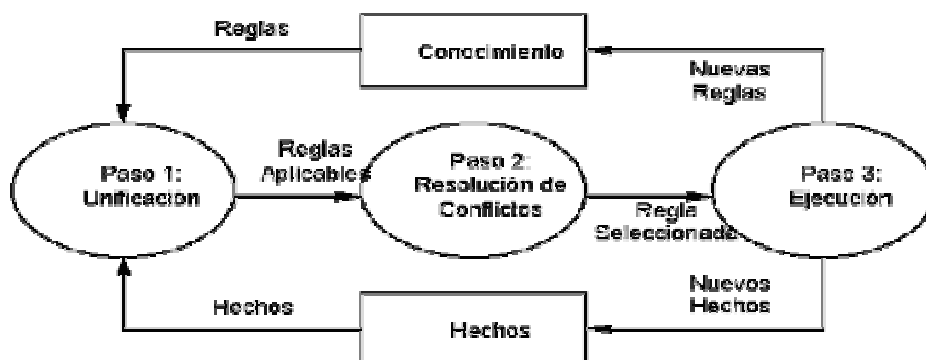


Figura 13 Proceso de Razonamiento Progresivo

1. Cumplimiento.- En este paso, en las reglas de la base de conocimientos se prueban los hechos conocidos al momento, para ver cuáles reglas se satisfacen. Para decir que una regla ha sido satisfecha, se requiere que todas las premisas o antecedentes de la regla resuelvan a verdadero.
2. Resolución de Conflictos.- Es posible que en la fase de cumplimiento resulten satisfechas varias reglas. La resolución de conflictos involucra la selección de la regla que tenga la más alta prioridad de entre el conjunto de reglas satisfechas.
3. Ejecución.- El último paso en la interpretación de reglas es la ejecución de la regla. La ejecución puede dar lugar a uno o dos resultados posibles: nuevo hecho (o hechos) pueden ser derivados y añadidos a la base de hechos, o una nueva regla (o reglas) puede ser añadida al conjunto de reglas (base de conocimiento) que el sistema considera para ejecución.

En esta forma, la ejecución de las reglas procede de una manera progresiva (hacia adelante) hacia los objetivos finales.

Un conjunto de aplicaciones adecuadas al razonamiento progresivo incluye supervisión y diagnóstico en sistemas de control de procesos en tiempo real, donde los datos están continuamente siendo adquiridos, modificados y actualizados. Estas aplicaciones tienen dos importantes características:

1. Necesidad de respuesta rápida a los cambios en los datos de entrada.
2. Existencia de pocas relaciones predeterminadas entre los datos de entrada y las conclusiones derivadas.

En estas aplicaciones hay potencialmente muchas soluciones que pueden ser derivadas de los datos de entrada. Debido a que estas soluciones no pueden ser enumeradas, las reglas expresan el conocimiento que tiene como patrones generales, y no se predeterminan conexiones precisas entre estas reglas.

Razonamiento Regresivo

El mecanismo de inferencia o intérprete de reglas para el razonamiento regresivo, difiere significativamente del mecanismo de razonamiento progresivo. Si bien es cierto que ambos procesos involucran el examen y aplicación de reglas, el razonamiento regresivo empieza con la conclusión deseada y decide si los hechos que existen pueden dar lugar a la obtención de un valor para esta conclusión. El razonamiento regresivo sigue un proceso muy similar a la búsqueda conocida como “primero en profundidad”.

El sistema empieza con un conjunto de hechos conocidos (que típicamente está vacío), se proporciona una lista ordenada de objetivos (o conclusiones), para los cuales el sistema trata de derivar valores. El proceso de razonamiento regresivo utiliza esta lista de objetivos para coordinar su búsqueda a través de las reglas de la base de conocimientos. Esta búsqueda consiste en los siguientes pasos:

1. Conformar una pila (o grupo de objetivos) inicialmente compuesta por los objetivos prioritarios definidos en el sistema.
2. Considerar el primer objetivo de la pila. Determinar todas las reglas capaces de satisfacer este objetivo, es decir aquellas que mencionen al objetivo en su conclusión.

3. Para cada una de estas reglas examinar en turno sus antecedentes:
 - a. Si todos los antecedentes de la regla se satisfacen (esto es, cada parámetro de la premisa tiene su valor especificado dentro de la base de datos), entonces se debe ejecutar esta regla para derivar sus conclusiones. Debido a que se ha asignado un valor al objetivo actual, se remueve de la pila y se retorna al paso (2).
 - b. Si alguna premisa de la regla no se puede satisfacer, se deben buscar reglas que permitan derivar el valor especificado para el parámetro utilizado en esta premisa.
 - c. Si en el paso (b) no se puede encontrar una regla para derivar el valor especificado para el parámetro actual, entonces se debe preguntar al usuario por dicho valor y añadirlo a la base de datos. Si este valor satisface la premisa actual entonces continuar con la siguiente premisa de la regla. Si la premisa no se satisface, considerar la siguiente regla.

Si todas las reglas que pueden satisfacer el objetivo actual se han probado y ninguna ha podido derivar un valor, entonces este objetivo quedará indeterminado, se debe remover de la pila y retornar al paso (2). Si la pila está vacía, se debe parar y anunciar que se ha terminado el proceso.

El razonamiento regresivo es mucho más adecuado para aplicaciones que tienen mucho mayor número de entradas que de soluciones posibles. La habilidad de la lógica regresiva para trazar desde las pocas

conclusiones hacia las múltiples entradas la hace más eficiente que el encadenamiento progresivo.

Una excelente aplicación para el razonamiento regresivo es el diagnóstico, donde el usuario dialoga directamente con el sistema basado en conocimiento y proporciona los datos a través del teclado. Problemas de clasificación también es adecuado resolverlos mediante el razonamiento regresivo.

Inferencia Basada en Reglas

Una declaración de que algo es verdadero o es un hecho conocido, es una afirmación (*fact*). El conjunto de afirmaciones se conoce a menudo con el nombre de memoria de trabajo o base de afirmaciones. De igual forma, al conjunto de reglas se le denomina base de reglas.

Un sistema basado en reglas utiliza el *modus ponens*⁸ para manipular las afirmaciones y las reglas durante el proceso de inferencia. Mediante técnicas de búsqueda y procesos de unificación, los sistemas basados en reglas automatizan sus métodos de razonamiento y proporcionan una progresión lógica desde los datos iniciales, hasta las conclusiones deseadas. Esta progresión hace que se vayan conociendo nuevos hechos o descubriendo nuevas afirmaciones a medida que se va guiando hacia la solución del problema.

En consecuencia, el proceso de solución de un problema en los sistemas basados en reglas realiza una serie de inferencias que crea un sendero entre la definición del problema y su solución. Las inferencias

⁸ Una regla de inferencia usada para probar la corrección o valor de verdad de proposiciones lógicas. Sean dos afirmaciones cualesquiera A y B.

están concatenadas y se las realiza en forma progresiva, por lo que el proceso de solución origina una cadena de inferencias.

En el dominio se tienen que tomar decisiones con información incompleta alrededor de reglas, funciones y atributos. Cada regla es un pedazo de conocimiento modular y tiene explícitamente en sus condiciones el contexto necesario.

Características Principales:

- Se usan sólo conjunciones en las condiciones de las reglas.
- Cada regla puede tener más de una conclusión (acción).
- Su mecanismo de inferencia es encadenamiento hacia atrás.
- Se consideran todas las reglas que pueden aplicarse.
- Se manejan factores de certeza (o certidumbre). Su regla de combinación es: mínimo en las condiciones AND y máximo entre opciones (reglas) OR
- Se guía por metas generalizadas: trata de encontrar toda la información relacionada con la meta
- Se etiquetan algunas condiciones como preguntables para evitar tratar de inferirlas cuando es muy probable que el usuario las conozca.
- Intenta primero aplicar reglas con valores conocidos
- Mantiene lo que va evaluando para evitar tratar de re-evaluar
- Se hace una pre-evaluación en las condiciones de las reglas para eliminar las que sean inmediatamente falsas.
- La pre-evaluación involucra "plantillas" (*templates*).
- Tiene ciertas reglas de "sentido común" para evitar un proceso largo usando un encadenamiento hacia atrás.

- Uso de contextos: paciente, infección, cultivo y organismo, y propiedades "básicas" (a evaluar/preguntar) para guiar el mecanismo de razonamiento.

Para evaluar las Reglas como Representación de Conocimiento se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Desempeño: depende de la cantidad y profundidad de su conocimiento

La modularidad de las reglas es fundamental para un buen desempeño (entre otros para añadir nuevas reglas o detectar inconsistencias).

La modularidad implica que toda la información contextual debe estar incluida en la regla y ninguna regla llama directamente a otra. Esto puede provocar reglas demasiado grandes.

En encadenamiento hacia atrás no es fácil "mapear" un conjunto de pruebas a las metas (pensar "al revés").

- Explicación: debe ser "natural" y transparente para los expertos (razones de usar proceso simbólico y reglas).

Capacidades: mostrar en cualquier momento la regla considerada almacenar las reglas utilizadas para propósitos de explicación, encontrar reglas específicas para contestar algún tipo de pregunta

- Adquisición: es fácil de formalizar en forma de reglas el dominio de consignas.
- Las explicaciones permiten encontrar fallas en la base de conocimiento y facilitan su modificación.

La figura 14 es la matriz de conocimiento donde se representa el conocimiento de la consigna operativa en condiciones normales GRA2-

009-LIN y la consigna bajo falla GRA2-F015-SEC, tomadas como ejemplo.

En la primera columna y en la primera fila se observan las condiciones de los equipos en los estados que deben ser evaluados para realizar la acción siguiente. Esta acción esta representada en la figura 14 como falla#, la relación entre la primera fila y la columna representan las reglas para realizar dicha acción.

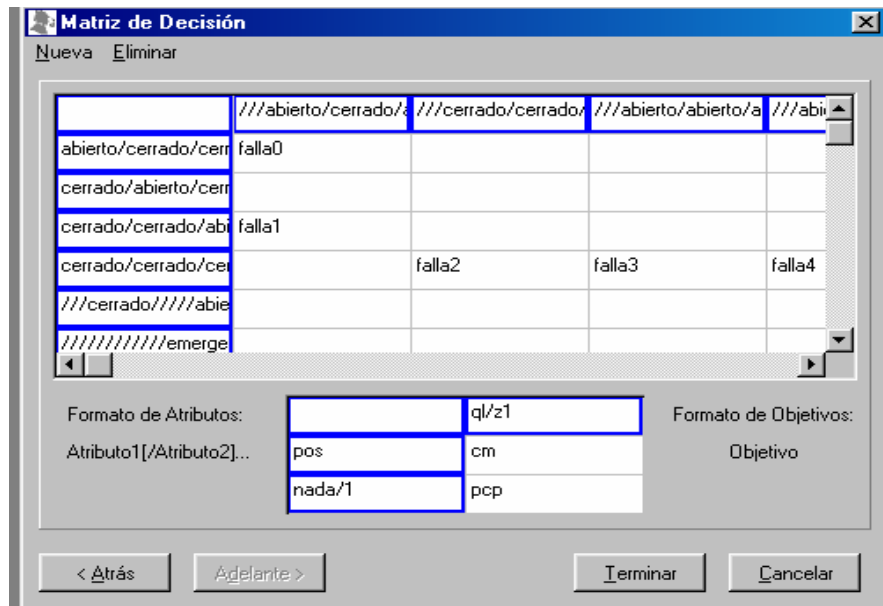


Figura 14 Matriz de Conocimiento

Regla Nro. 1

HIPÓTESIS: falla = falla0

CONDICIONES:

1. alarma = si
2. l156 = cerrado
3. campo_acople = abierto
4. selec_estado = cnd
5. FORMULARIO (conclusion1)

Regla Nro. 2

HIPÓTESIS: falla = falla2

CONDICIONES:

1. alarma = si
2. l156 = cerrado
3. selec_campo = remoto

Regla Nro. 3

HIPÓTESIS: falla = falla1

CONDICIONES:

1. selec_emerg = emergencia
2. selec_equipo = local
3. selec_campo = local

Regla Nro. 4

HIPÓTESIS: falla = falla1

CONDICIONES:

1. selec_emerg = emergencia
2. selec_equipo = local
3. selec_campo = desconectado

Regla Nro. 5

HIPÓTESIS: falla = falla2

CONDICIONES:

1. manivela = manual
2. alim_moto = defectuosa
3. selec_equipo = local
4. selec_campo = local

Regla Nro. 6

HIPÓTESIS: falla = falla2

CONDICIONES:

1. manivela = manual
2. alim_moto = defectuosa
3. selec_equipo = desconectado

Regla Nro. 7

HIPÓTESIS: consigna = falla 0

CONDICIONES:

1. alarmas = si
2. l156 = cerrado
3. campo_acople = abierto
4. selec_esta = cnd

Regla Nro. 8

HIPÓTESIS: consigna = falla 2

CONDICIONES:

1. alarmas = si
2. l156 = cerrado
3. campo_acople = abierto
4. Selec_campo = remoto

Regla Nro. 9

HIPÓTESIS: consigna = falla 1

CONDICIONES:

1. selec_emer = emergencia
2. manivela = accionada
3. ali_motor = defectuosa
4. selec_equipo = local
5. Selec_campo = local
6. selec_equipo2 = desconectado

Regla Nro. 10

HIPÓTESIS: consigna = falla 3

CONDICIONES:

1. manivela = accionada
2. ali_motor = defectuosa
3. selec_equipo = local
4. selec_equipo2 = desconectado

Desventajas

- Ya que el conocimiento de las consignas se repite en varias de ellas pueden existir contradicciones. En la introducción de conocimiento nuevo se puede contradecir o modificar las reglas existentes.

Ventajas

- La representación del conocimiento existente en las consignas es fácil de expresar por medio de reglas. Esto se debe a que éstas permiten describir fácilmente los procedimientos que se deben realizar en la ejecución de las consignas, y facilitar la adquisición de nuevo conocimiento.
- Las consignas se pueden representar con modularidad, uniformidad y naturalidad propia del lenguaje natural del área del sector eléctrico, para expresar el conocimiento.
- En ESBAC⁹, una regla es una sentencia condicional que consta de dos partes. La primera parte está compuesta de una o más cláusulas que establecen condiciones que deben ser satisfechas

⁹ Es una herramienta software para el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento en computadores personales.

para poder establecer la segunda parte llamada conclusión o hipótesis [Moyano, Muñoz, 2001].

3.3.3.5 Razonamiento Basado en Casos

Parte de la inteligencia artificial que se preocupa por el estudio de los mecanismos mentales necesarios para repetir lo que se ha hecho o vivido con anterioridad (por uno mismo, o por casos concretos recopilados en la bibliografía o en la sabiduría popular). Los diversos casos son del tipo "Si X, entonces Y" con algunas adaptaciones y críticas según las experiencias previas en el resultado de cada una de dichas reglas.

El razonamiento basado en casos es un buen paradigma en razonamiento automático y aprendizaje de máquina, él resuelve un nuevo problema basado en una o muchas soluciones de problemas previos, y puede adaptar este conocimiento de soluciones a un caso nuevo. Soluciona por tanto, problemas por analogía con los antiguos.

Hay diferentes tipos de razonamiento basado en casos:

- Interpretativo: teniendo un caso nuevo busca en la base los problemas similares.
- Solución de problemas: la meta es construir una solución a un nuevo caso basada en la adaptación de soluciones a casos pasados.

Para que este sistema actúe de un modo correcto deben responderse algunas preguntas como:

- ¿Cómo están organizados en la memoria los diferentes casos?

- ¿Cómo se pueden recuperar los casos relevantes almacenados en la memoria?
- ¿Cómo se pueden adaptar casos anteriores a los nuevos problemas?
- ¿Cómo se almacenan originalmente los casos?

Uno de los métodos para escoger el mejor caso es el uso de reglas heurísticas de preferencia.

La pseudosolución para el caso ejemplo utilizando razonamiento basado en casos, se da a continuación.

Caso # 0.15 “es la secuencia de situaciones que se pueden presentar”

Meta “es la operación que se va a realizar”

Transferencia programada campo de línea de acople a campo de acople.

Obligación “situación de falla”

Seccionador I152, no cierra

Situación “son las condiciones a resolver para que solucionar la obligación”

S-1- alarmas presentes

S-2.- I156 cerrado

S-3-campo acople abierto

S-4-selector estación CND

Procedimiento indexado y casos “La solución de las situaciones”

1. reconocer alarmas y “resetear”, verificando que no quede ninguna alarma persistente.
2. abrir I156
3. cerrar campo acople
4. selector o estación

Desventajas

- El problema básico es la recuperación y selección de casos desde la operación de recordar, adaptar y evaluar sucesos solo si el caso pasado es relevante a él.

- La organización de la memoria, ya que cuando es muy grande su organización debe ser mas lineal y jerárquica.

Ventajas

- Es una técnica de adquisición de conocimiento y mecanismo de resolución de problemas.
- permite trabajar en dominios de problemas de difícil estructuración y representación.

4. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

El proceso unificado es un proceso sistematizado de desarrollo de “software”. Un proceso de desarrollo de “software” es el conjunto de actividades necesarias para transformar los requisitos de los usuarios en un sistema “software”. Sin embargo el proceso unificado es más que un simple proceso; es un marco de trabajo genérico que puede utilizarse para gran variedad de sistemas “software” en diferentes áreas de aplicación, diferentes tipos de organización, diferentes niveles de aptitud y diferentes tamaños de proyecto.

Los verdaderos aspectos del proceso unificado se resumen en tres frases clave: dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura, e iterativo e incremental.

El proceso unificado se repite a lo largo de una serie de ciclos que constituyen la vida de un sistema, cada ciclo constituye una versión del producto y consta de cuatro fases: inicio, elaboración, construcción y transición, cada fase se divide a su vez en iteraciones y se desarrolla a través de cinco flujos de trabajo: requerimientos, análisis, diseño, implementación y pruebas.

En este proyecto se tuvieron en cuenta las tres primeras fases del proceso unificado, el cual utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) para preparar todos los esquemas del proyecto.

El Proyecto utiliza un ciclo de vida *Iterativo e Incremental*, presentando varias iteraciones. Las iteraciones en las fases de Inicio y Elaboración se enfocan en la gestión, los requerimientos y el diseño de actividades.

Las iteraciones en la fase de Construcción se enfocan en el diseño, la implementación y las pruebas. Las iteraciones en la fase de Transición se enfocan en las pruebas y la instalación. Las tareas a realizar en cada iteración serán especificadas en el transcurso de este capítulo.

4.1 FASE DE INICIO

En esta fase se realiza el análisis necesario para justificar la puesta en marcha del proyecto, antes de esta fase es posible que se tenga simplemente una idea interesante del producto. No se definen todos los casos de uso del negocio, sólo los necesarios para soportar el análisis realizado. La primera actividad consiste en establecer el alcance general del proyecto. Los objetivos específicos de esta fase son:

- Definir el alcance y los límites del proyecto.
- Definir una posible arquitectura, adecuada a las necesidades de los usuarios.
- Identificar y solucionar las posibles dificultades, para la puesta en marcha del proyecto.

El siguiente paso es definir el flujo de trabajo, y los productos y actividades resultantes de esta fase.

4.1.1. Planeación

El mayor trabajo en esta fase es lograr el conocimiento de la organización en la que se realiza el proyecto y los requisitos iniciales de éste. Sin embargo, también se deben identificar las dificultades a ser superadas para lograr con éxito el inicio del proyecto.

4.1.1.1 Hitos de la Fase de Inicio

Un hito es un punto de referencia que se utiliza para medir el progreso alcanzado en el proyecto. En este sentido el principal objetivo en la fase de inicio es justificar la propuesta del proyecto. Para ello se debe realizar un análisis de la organización en la cual se va llevar a cabo el proyecto y definir los requisitos iniciales. Para cumplir con los objetivos planteados en esta fase se debe tener una clara visión del proyecto, identificar los posibles elementos que formen parte del mismo y definir una propuesta de interfase para el usuario, teniendo en cuenta los requisitos iniciales. De esta forma se podrán definir una posible arquitectura y una plataforma tecnológica. Estas deben facilitar el soporte teórico de cada uno de los elementos del proyecto y deben estar adaptadas a las necesidades de los usuarios y a las posibilidades de realización efectiva.

4.1.1.2 Flujos, Actividades y Productos a Entregar en la Fase de Inicio

En la fase de inicio se deben definir los requisitos generales del proyecto y estructurar un modelo general del sistema, por medio de los casos de uso relevantes. Se llega a estos casos de uso, luego del proceso de identificación de la técnica más apropiada para la representación del conocimiento inmerso en las consignas, para lo cual se utilizó la metodología a seguir en el desarrollo de los sistemas basados en el conocimiento, descrita en el capítulo tres, páginas (59-61)

4.1.1.3 Estudio de la Viabilidad del Proyecto

El análisis de la viabilidad del proyecto se hace en una subestación. Abarca la definición de modelos de los elementos y la interfase inicial para la ejecución del proyecto.

4.1.2 Captura de Requisitos

La tarea más importante dentro de la fase de inicio es la captura de requisitos. En ella se definen los requisitos iniciales del sistema, y permite definir las características generales del sistema, el contexto del mismo, los actores y los casos de uso.

4.1.2.1 Lista de Características

La lista de características surge a menudo de la experiencia que los clientes/usuarios, tienen con sistemas predecesores o similares. Estas características se traducen en requisitos, a cada uno de ellos se les debe asignar un nombre, descripción, estado (propuesto o aprobado), recursos, prioridad y nivel de riesgo. Para lograr definir los requisitos de una forma mas organizada y facilitar su comprensión. Estos se agrupan por módulos que permite:

- Manejo de Base de Conocimiento
- Manejo de Contenidos
- Manejo de Usuarios
- Enlaces
- Otras Características

4.1.2.2 Lista de Requisitos Iniciales del Sistema

En la tabla 5 se detalla la lista de requisitos iniciales del sistema y se observan las características a evaluar en la captura de requisitos.

En la primera columna se encuentra el número del requisito según su función.

En la segunda columna se encuentra el nombre del requisito, el cual se describe en la tercera columna (descripción).

En la cuarta columna se encuentra el estado del requisito. Si el estado es aprobado se debe a que el usuario ha aceptado el requisito, si el estado es propuesto se debe a que el desarrollador lo ha propuesto y el usuario aun no lo ha aceptado.

En la quinta columna se encuentran los recursos necesarios para el cumplimiento del requisito.

En la sexta columna se encuentra la prioridad que puede tener (*crítica, importante o secundaria*), *crítica* cuando aquellos requisitos son mas importantes para los usuarios del sistema, *importante* cuando los requisitos sirven de apoyo a los requisitos críticos y tienen un pequeño impacto en la definición de la arquitectura, *secundarios* cuando los requisitos no son claves en la definición de la arquitectura o para los riesgos críticos.

En la séptima columna se encuentra el nivel de riesgos que pueden ser (*crítico, significativo u ordinario*), *crítico* cuando es fundamental en la definición de la arquitectura, *significativo* cuando tienen importancia relativa al cumplimiento de las necesidades de los clientes y *ordinario* son los riesgos relativos al rendimiento del sistema.

	Nombre	Descripción	Estado	Recursos	Prioridad	Nivel de riesgo
A	Administrar Base de Conocimiento	Se debe contar con un módulo que permita la administración de la Base de Conocimiento.	Aprobado	Un computador con acceso al servidor	Critico	Ciritco
A01	Manejo de Equipos	Se debe contar con un modulo que permita el manejo de los datos relacionados con los equipos de un subestación.	Aprobado	Un computador con acceso al servidor	Importante	Significativo
A02	Manejo de operaciones	Se debe contar con un módulo para crear, editar y eliminar operaciones de una consigna.	Aprobado	Un computador con acceso al servidor	Importante	Significativo
A03	Manejo de Fallas	Se debe contar con una herramienta que permita incluir, retirar y asociar las fallas con su respectivo equipo u operación.	Aprobado	Un computador con acceso al servidor	Importante	Significativo
A04	Manejo de Competencias	Se debe permitir asignar las competencias con su respectiva acción en una consigna.	Aprobado	Un computador con acceso al Servidor	Importante	Significativo
B	Manejo de Usuarios	Se debe contar con un módulo que permita el manejo de usuarios sean Asistentes de subestación o Administrador	Propuesto	Un computador con acceso al servidor	Importante	Significativo

	Nombre	Descripción	Estado	Recursos	Prioridad	Nivel de riesgo
B01	Cambio de contraseñas	El administrador podrá habilitar las cuentas de los usuarios en caso de ser necesario	Aprobado	Un computador con acceso al servidor	Importante	Significativo
C	Enlaces	Se contará con enlaces a páginas Web y a archivos subidos al servidor.	Propuesto	Un computador con acceso al servidor	Secundario	Ordinario
D	Bajos costos en el desarrollo y la implementación.	El sistema se debe desarrollar tratando de minimizar los costos, sin sacrificar calidad.	Aprobado	Un computador con acceso al servidor	Crítico	Crítico

Tabla 5. Listado de requisitos.

4.1.2.3 Contexto del Sistema

En la fase de inicio, el proyecto traza una línea precisa, acerca de lo que será el desarrollo del proyecto, lo que estará dentro del sistema y lo que no. Se identifican los actores que van a interactuar con el sistema y se especifica la forma de interacción.

4.1.2.3.1 Modelo del Dominio

El modelo del dominio captura los tipos de objetos más importantes en el contexto del sistema y representa las cosas que se manipulan en el negocio. Estos diagramas muestran a los clientes, usuarios y a otros desarrolladores, las clases del dominio y la forma como se relacionan unas con otras.

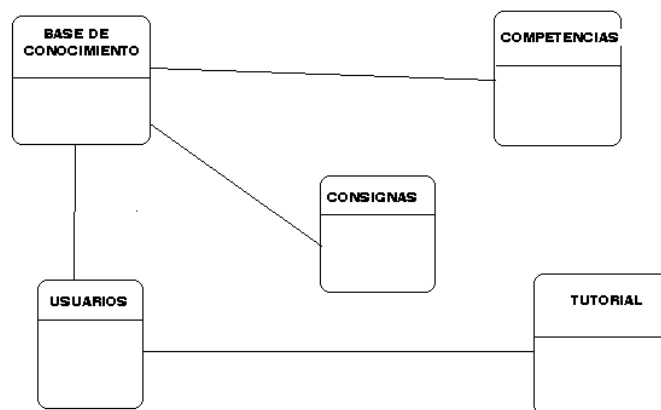


Figura 15 Modelo de Dominio del Sistema.

4.1.2.3.2 Modelo del Negocio

Describe los procesos que se llevan a cabo en el sistema y permite establecer las actividades y la persona que la lleva a cabo. El objetivo es identificar los casos de uso y las entidades de negocio, necesarias para comprender el funcionamiento del sistema.

4.1.2.4 Modelo General de Casos de Uso

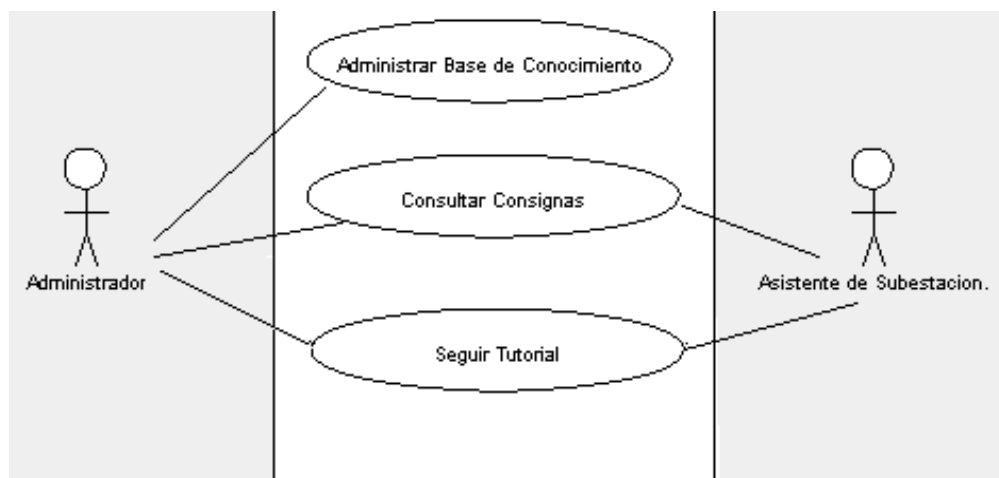


Figura 16 Modelo General de Casos de Uso

Las siguientes tablas describen los casos de uso que hacen parte del contexto del sistema.

Proceso de negocio	de Administrar Base de Conocimiento
Objetivo	Mantener la Base de conocimiento actualizada en cuanto a las consignas y los equipos de las subestaciones.
Descripción	El Administrador revisa los datos y realiza las modificaciones necesarias.
Riesgos	Inconsistencia en la información.
Tiempo de ejecución	Depende del estado de los datos.
Costo de ejecución	Costos en función del tiempo.

Tabla 6 Proceso de negocio. Administrar Base de Conocimiento.

Proceso de negocio	de Consultar Consignas.
Objetivo	Observar el procedimiento al ejecutar una consigna.
Descripción	El usuario accede a una consigna y sigue su proceso de ejecución.
Riesgos	Falta de trabajo en equipo, coordinación de actividades o interés.
Tiempo de ejecución	Depende de la consigna en ejecución.
Costo de ejecución	Costos en función del tiempo.

Tabla 7 Proceso de negocio. Consultar consignas

Proceso de negocio	de Seguir Tutorial.
Objetivo	Permitir al usuario recordar conceptos sobre Subestaciones, consignas (operativas en condiciones normales y bajo falla) y competencias..
Descripción	El usuario ingresa al tutorial y decide el tema que desea recordar.
Riesgos	Ancho de banda de la red.
Tiempo de ejecución	Depende del usuario.
Costo de ejecución	Costos en función del tiempo.

Tabla 8 Proceso de negocio. Seguir Tutorial.

4.1.2.5 Actores y Casos de Uso

A partir del modelo de negocio es posible obtener de manera casi directa la colección inicial de casos de uso del sistema. De este modo, el modelo del negocio permite obtener los casos de uso más importantes dentro de cada proceso del negocio y facilita la determinación del conjunto adecuado de pasos incrementales en el proceso iterativo de desarrollo.

4.1.2.5.1 Actores

Definir los actores es un paso esencial para obtener de manera correcta los requisitos. Para obtener los actores, se debe partir del modelo de negocio y seguir los siguientes pasos:

- Identificar al menos a un usuario que pueda representar al actor candidato. De esta manera tendrán los actores relevantes.
- Encontrar una coincidencia mínima entre los roles que desempeñan las instancias de los diferentes casos de uso en relación con el sistema, con el fin de evitar que dos o más actores sigan en esencia los mismos roles. De ser así, se debe crear un actor generalizado que tenga asignados los roles comunes a los actores que se superponen.
- Describir de una manera breve las funciones de cada actor y para qué utiliza el sistema.

En este proyecto, se identificaron los actores que describe la Tabla 9

Actor	Descripción	Papeles que juega	Uso que le da al sistema
Administrador	Usuario que se encarga de gestionar el sistema	Encargado de realizar la evaluación y el mantenimiento de los usuarios	Utiliza el sistema para actualizar y eliminar los datos de la base de conocimiento y usuarios.
Simulador	Sistema que intercambia información con la Base de Conocimiento.	Permite realizar todas las acciones descritas en las consignas.	Utiliza la Base de Conocimiento para simular las fallas de los equipos.
Usuario	Persona que va a utilizar el entorno. Puede ser administrador o Asistente de subestación.	Acceder a la información disponible por el sistema. Si tiene autorización, mantiene actualizada la base de conocimiento.	Utiliza el sistema para consultar la información y formarse en el manejo de las consignas.

Tabla 9. Usuarios identificados en el sistema

4.1.2.5.2 Casos de Uso

Los casos de uso son fundamentales para definir una visión global del sistema, e identificar los subsistemas que conforman el mismo. La descripción de los casos de uso depende de su complejidad. De no poseerla, con una descripción breve es suficiente.

Los casos de uso se agrupan dependiendo del paquete de análisis al que pertenezcan. Cada paquete presenta el modelo de casos de uso y una descripción general de cada caso de uso. Sólo se detallan aquellos casos de uso que se juzgue conveniente para la comprensión del funcionamiento general del sistema.

4.1.2.6 Modelo de Casos de Uso General

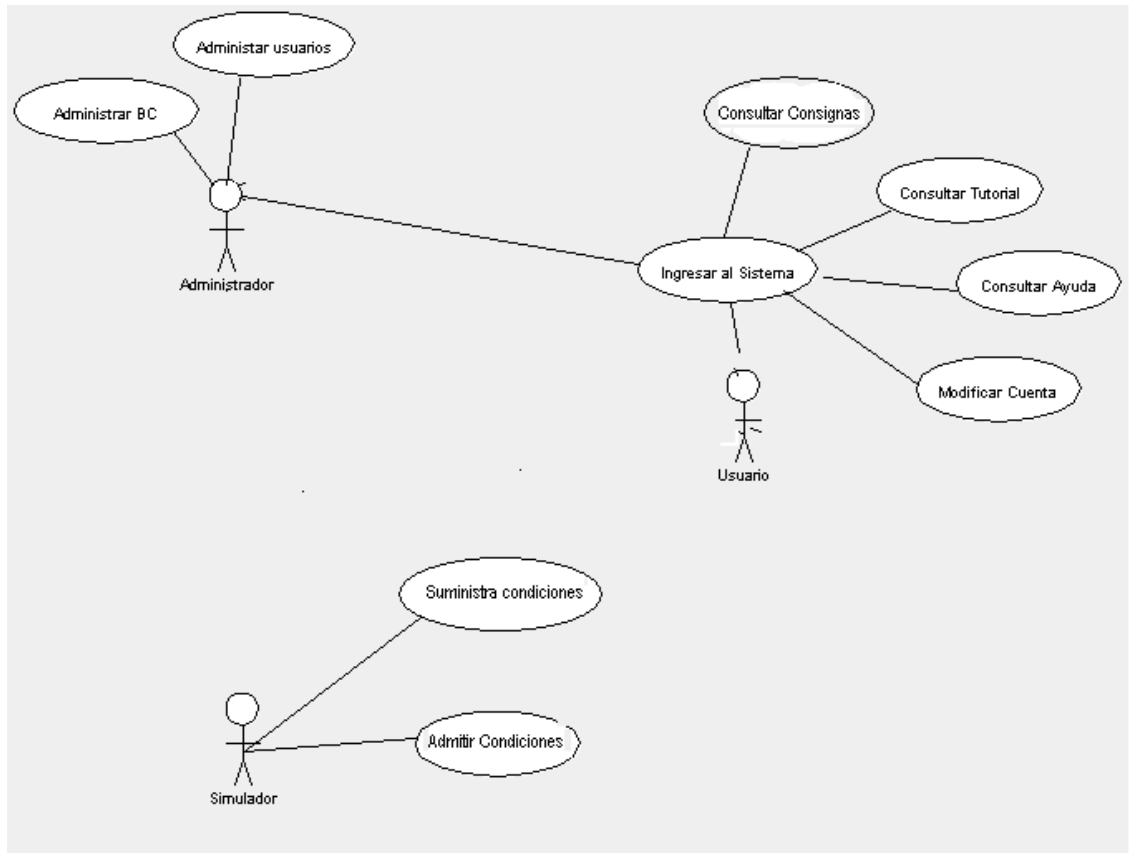


Figura 17 Modelo de Casos de Uso General del Sistema

Descripción del modelo general de casos de uso
<p>El sistema ofrece a los usuarios la posibilidad de aumentar sus conocimientos en el funcionamiento y la operación de Subestaciones, mediante el seguimiento de las consignas operativas en condiciones normales y bajo falla. El sistema contará con una variedad de servicios, los cuales en este modelo son los casos de uso.</p> <p>El administrador será el encargado del manejo de la base de conocimiento y de los usuarios.</p> <p>El usuario tendrá la posibilidad de consultar el tutorial sobre conceptos básicos y operación de subestaciones; así como también administrar su cuenta de usuario.</p>

Tabla 10. Descripción del modelo general de casos de uso

4.1.2.7 Riesgos Críticos

En esta fase se deben identificar los diferentes factores que podrían retrasar o impedir la realización del proyecto. Un riesgo crítico es aquel que haría el proyecto inviable, deben ser superados para poder garantizar la realización del proyecto.

A continuación se presenta una lista de los riesgos críticos, la cual contiene una descripción, el posible impacto en el desarrollo del proyecto y una posible contingencia.

Descripción	Impacto	Contingencia
Problemas con el manejo de las herramientas de programación	Retrasos en la ejecución del proyecto debido a que se debe perfeccionar el manejo de la herramienta.	Estudio en profundidad del lenguaje de programación.
Dificultades para lograr un diseño de la interfase de usuario.	La interfase de usuario es un elemento esencial para todas las personas que van a utilizar el sistema, por lo tanto, debe estar bien diseñado y soportado conceptualmente.	Conseguir asesoría de diseñadores gráficos. Debido a que la interfase final no es totalmente necesaria para el desarrollo de los módulos, se puede comenzar con una provisional.
Para el desarrollo de las páginas del tutorial, no se cuenta con los conocimientos necesarios en el manejo de subestaciones.	Los documentos del tutorial, podrían no ser lo suficientemente claros para el aprendizaje	Recurrir a expertos en el manejo de subestaciones para lograr un buen diseño curricular del tutorial.

Tabla 11 Riesgos Críticos del Sistema

4.1.3 Análisis

Los objetivos generales de esta etapa son analizar los requisitos, refinarlos y estructurarlos en un modelo de objetos que sirva como primera impresión del modelo de diseño. Aquí se utilizó este modelo de análisis para definir con precisión los casos de uso y como ayuda para establecer la arquitectura candidata.

4.1.3.1 Descripción de Casos de Uso

La descripción de un caso de uso depende de su complejidad. Si el caso de uso es sencillo, una breve descripción es suficiente. En caso contrario, es necesaria una explicación más detallada.

A continuación se presentan los casos de uso principales para el desarrollo del sistema:

* Administración de Usuarios y Base de Conocimiento.

La Figura 18 presenta un detalle de los casos de uso “administrar usuarios” y “administrar base de conocimiento”.

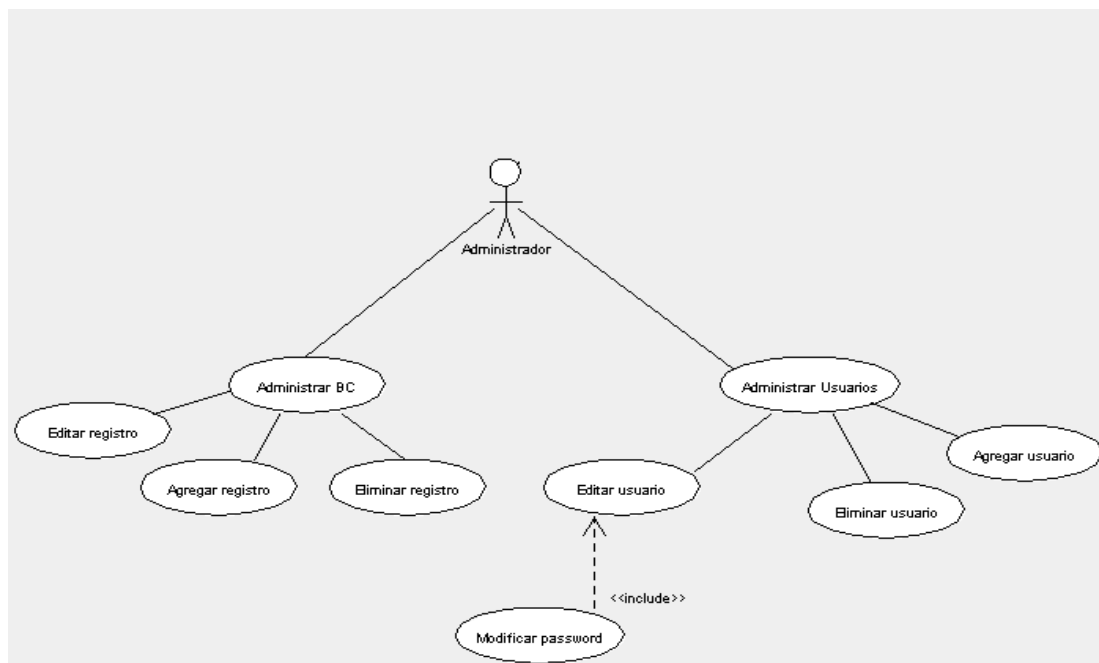


Figura 18 Casos de Uso para la Administración de Usuarios y Base de Conocimiento.

Descripción del módulo de administración de usuarios y base de conocimiento.
<p>El sistema ofrece al administrador la posibilidad de crear, modificar y eliminar usuarios y registros en la base de conocimiento.</p> <p>Para la edición de la base de conocimiento, el administrador está en la capacidad de asignar equipos, operaciones, fallas y competencias, relacionadas con una consigna.</p> <p>Para la edición de usuarios, el administrador estará en capacidad de reestablecer contraseñas, con el fin de que aquellos que no la recuerden puedan ingresar al sistema.</p>

Tabla 12 Descripción de los casos de uso “administración de usuarios y base de conocimiento”.

Casos de uso identificados	Breve descripción
Adicionar registros	Permite crear registros en la base de conocimiento
Editar registro	Permite editar un registro en la base de conocimiento
Eliminar registro	Permite eliminar un registro de la base de conocimiento
Agregar usuario	Permite crear usuarios en el sistema
Editar usuario	Permite modificar los datos de un usuario en el sistema
Eliminar usuario	Permite eliminar un usuario
Modificar password	Permite modificar la clave de un usuario sin modificar sus datos

Tabla 13 Casos de uso identificados en la administración de usuarios y base de conocimiento

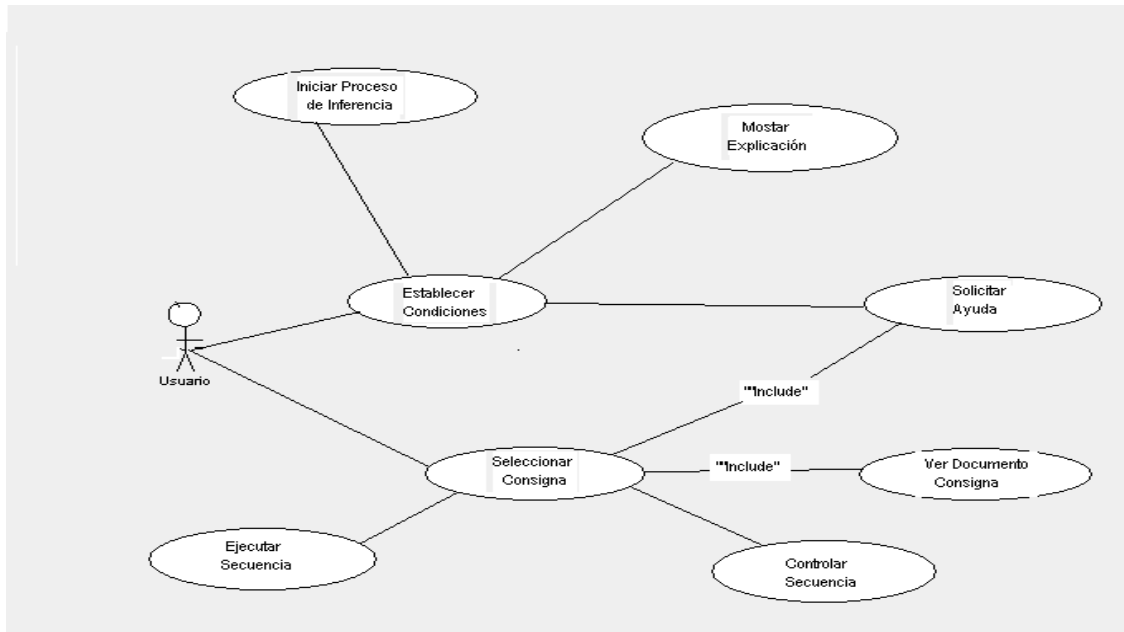


Figura 19 Modelo de Caso de Uso “Consultar Consigna”

4.1.3.2 Casos de uso en detalle

El objetivo principal de detallar cada caso de uso es describir su flujo de sucesos en detalle, incluyendo como comienza, como termina y como interactúa con los actores.

Un caso de uso define los estados y las transiciones que puede tener una instancia. Una transición es un cambio de un estado inicial a un estado final.

En esta fase sólo se definen en detalle los casos de uso que son críticos para el desarrollo del proyecto o para la definición de la arquitectura.

Caso de uso	Agregar registro (Nueva Consigna)
Precondición	El administrador debe tener una clave de acceso a la base de conocimiento.
Descripción o flujo de sucesos	El Administrador decide crear una nueva consigna con sus respectivas acciones, introduce el nombre de la consigna y sus acciones, y procede a relacionar las fallas, equipos y competencias. El sistema verifica que no exista otro registro en la base de conocimiento definido por el administrador. Una vez verificado, el sistema almacena la información.
Caminos alternativos	El Administrador puede agregar acciones de una consigna sin necesidad de relacionar o agregar equipos, fallas o competencias.
Poscondiciones	El caso de uso termina cuando el administrador envía la información al sistema.
Requisitos especiales	El formato de la base de conocimiento.

Tabla 14 Descripción detallada del caso de uso agregar registro

Caso de uso	Establecer Condiciones
Precondición	Ingresar al sistema y haber seleccionado esta opción de consulta de consignas.
Descripción o flujo de sucesos	El Usuario, establece condiciones iniciales para seleccionar una consigna, dichas condiciones serán las más relevantes para establecer el tipo de consigna que se va ejecutar. El Usuario inicia el proceso de inferencia, en dicho proceso, el sistema continúa preguntando al usuario por algunas condiciones específicas que le permitirán establecer las acciones a seguir.
Caminos alternativos	El usuario puede solicitar explicación sobre el proceso de inferencia en caso de ser necesario, además de solicitar ayuda sobre el seguimiento que está realizando.
Poscondiciones	El caso de uso termina cuando el sistema y el usuario terminan de ejecutar la consigna.
Requisitos especiales	Ninguno

Tabla 15. Descripción detallada del caso de uso “establecer condiciones”

4.1.3.3 Requisitos Adicionales

Los requisitos adicionales son aquellos que no se pueden asociar con ninguno de los casos de uso, pero que tienen impacto sobre ellos. Los requisitos adicionales se presentan en la tabla 16.

Requisito	Descripción
Requisitos de Interfase de usuario	Se deberá realizar una interfase que permita acceder rápidamente al sistema. El sistema deberá funcionar de manera similar en la mayoría de navegadores Web disponibles en el mercado
Requisitos de “Hardware”	Clientes: PC Intel mínimo 586.

Requisitos de Red	Permitir Visibilidad desde Internet, o en su defecto, desde la Intranet de la universidad.
Restricciones de Diseño	Se deberá separar la capa presentación de los datos de la parte lógica del sistema.
Restricciones de Implementación	Se deberá trabajar con un lenguaje que facilite el manejo de ambientes Web.

Tabla 16. Requisitos Adicionales Identificados en la Fase de Inicio.

4.1.3.4 Análisis de la Arquitectura

Se analizan los casos de uso o escenarios necesarios para construir una primera visión de la arquitectura, con el fin de desarrollar un modelo inicial del sistema. Para ello, se definen los paquetes de análisis y las entidades obtenidas a partir del modelo de negocio.

4.1.3.5 Modelo de Análisis

El modelo de análisis ayuda a refinar los requisitos y permite razonar sobre los aspectos internos del sistema, el modelo de análisis puede considerarse como una primera aproximación al modelo de diseño.

4.1.3.6 Paquetes de Análisis General

Los paquetes de análisis permiten organizar los elementos del modelo de análisis, de manera que sean piezas manejables. Estos paquetes se crean a partir del análisis de los requisitos y del modelo de negocio. Para este fin, se asignan casos de uso a cada paquete, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Agrupar los casos de uso que dan soporte a un determinado proceso de negocio.
- Agrupar los casos de uso que dan soporte a un determinado actor del sistema.
- Agrupar los casos de uso que tengan relaciones de generalización o extensión.

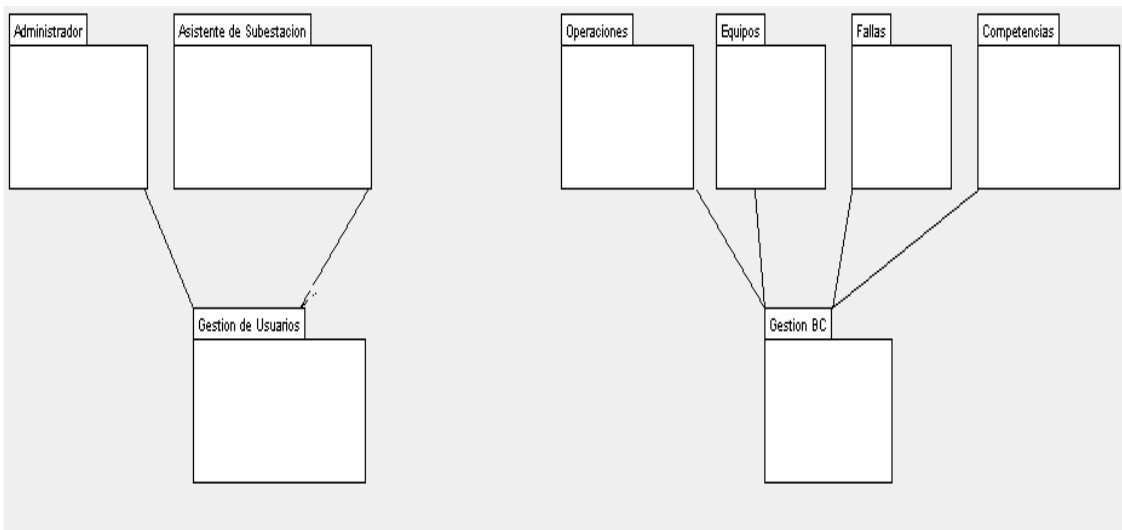


Figura 20 Identificación de Paquetes de Análisis a Partir de las Clases del Dominio

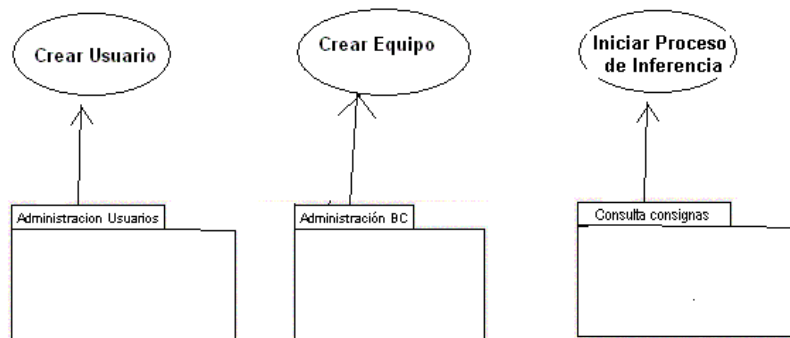


Figura 21 Identificación de Paquetes de Análisis a Partir de los Casos de Uso

Estos paquetes evolucionan y se reestructuran a medida que se analicen más casos de uso y se determinen las clases de análisis que probablemente se convertirán en subsistemas en el modelo de diseño.

4.1.3.7 Clases de Entidad Derivadas del Modelo de Dominio

Las clases descritas en la figura 22 se derivaron del modelo de análisis, éstas se convierten en entidades en el modelo “entidad-relación” del modelo de diseño y luego se convierten en tablas de la base de datos en la fase de implementación.

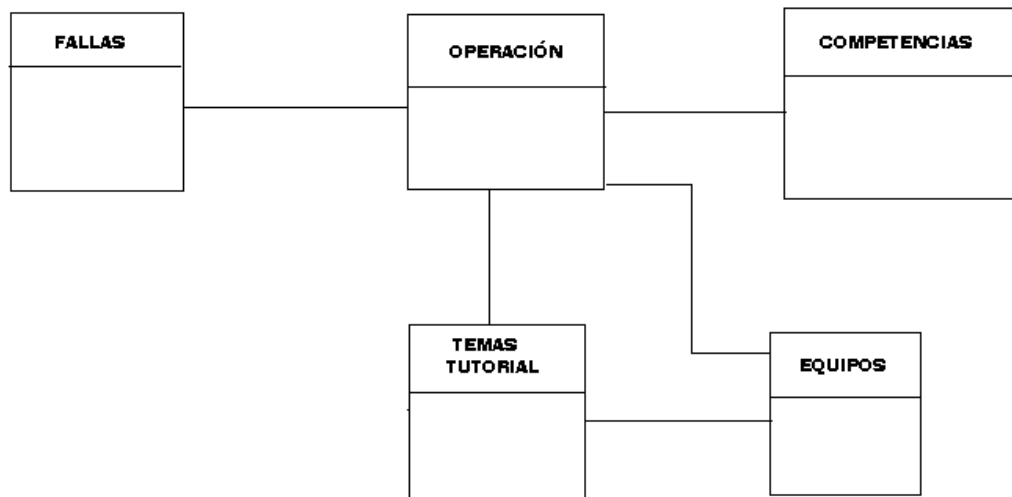


Figura 22 Clases Derivadas a Partir del Modelo de Dominio

4.1.4 Diseño de la Arquitectura

El objetivo principal de este flujo de trabajo es esbozar un modelo de diseño de la arquitectura candidata, con el fin de incluirlo en la descripción de la arquitectura preliminar. El diseño de clases e interfaces se realiza posteriormente en las fases de elaboración y construcción.

A continuación se describe un esbozo de la arquitectura candidata siguiendo el esquema general de tres capas, base para el desarrollo de un sistema basado en el conocimiento¹⁰.

¹⁰ Capítulo 3. Esquema general de un sistema basado en el conocimiento. Pág. 55.

4.1.4.1 Configuración de Tres Capas

El sistema funcionará utilizando una arquitectura de tres capas, la cual permite separar la lógica de negocio de la base de datos y de la lógica de presentación.

La funcionalidad de la base de datos se ejecutará en la capa inferior, la capa de lógica de negocios se ejecutará en la capa intermedia y la presentación de la interfase se ejecutará en la capa superior o de presentación.

4.1.4.2 Identificación de Subsistemas

Los subsistemas constituyen una forma de organizar el modelo de diseño en piezas manejables y de dividir el trabajo de diseño. La Figura 23 muestra los subsistemas identificados.

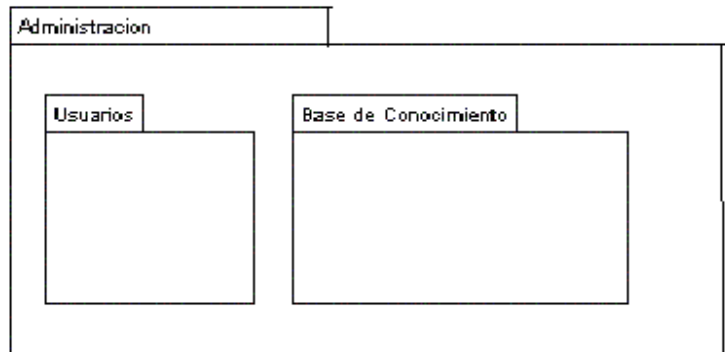


Figura 23 Subsistemas Identificados a Partir de los Requisitos

4.1.5 Evaluación

Al terminar cada fase, es necesario realizar una evaluación, para verificar si se han alcanzado los hitos propuestos, y si es posible proseguir. En la fase de inicio, la evaluación está orientada a decidir si se continúa con el proyecto o no.

4.1.5.1 Resultado de la Fase de Inicio

La fase de inicio produce los siguientes resultados:

La lista de requisitos.

Una primera versión del modelo del negocio, que describe el contexto del

Sistema.

Un primer esquema de la descripción de la arquitectura.

Una lista inicial de riesgos y una clasificación de casos de uso.

4.1.5.2 Desarrollo de los Modelos de Casos de Uso

Debido a que los casos de uso son cruciales para el desarrollo del proyecto, a continuación en la tabla 13 se presentan los casos de uso, identificados en esta fase.

La tabla de casos de uso presenta el nombre del caso de uso y el grado de conocimiento que se tiene de cada uno.

El grado de conocimiento se define teniendo los siguientes parámetros:

- *Identificado*: Si se ha determinado la conveniencia de crear este caso de uso según los criterios presentados para encontrar casos de uso relevantes.
- *Descrito*: Si se ha realizado una descripción breve del caso de uso.
- *Analizado*: Si se ha realizado una descripción pasó a paso del funcionamiento del caso de uso. Este análisis también puede involucrar creación de diagramas de análisis, según la complejidad del caso de uso.

- *Diseñado e Implementado*: Estos dos estados han sido agrupados dado que en algunas situaciones, antes de llevarse a cabo la implementación de un caso de uso se realiza su diseño a través de diagramas de secuencia. En los demás casos con el análisis de los casos de uso es suficiente para realizar su implementación.

4.1.5.3. Vista de la Arquitectura

Al describir la arquitectura se obtiene una mayor comprensión del sistema, se organiza el desarrollo y se fomenta la reutilización [JACOBSON, 2000]. Por lo tanto, se construirá una arquitectura que permita implementar los casos de uso del sistema de una forma económica. Además se deben tener en cuenta otros factores como el sistema operativo y de bases de datos a escoger, los productos para el desarrollo del sistema y los requisitos no funcionales, en general.

Sin embargo, en la fase de inicio sólo se busca una arquitectura candidata, la cual está soportada en los casos de uso más relevantes para la viabilidad del proyecto.

En la tabla 17 se presentan los flujos desarrollados en la fase de inicio.

Flujo	Sección	Vista	Comentario
Captura de Requisitos	Casos de uso	Modelo de casos de uso general. Descripción del modelo general de casos de uso.	Presenta los actores y casos de uso más importantes del sistema
	Casos de Uso en Detalle	Descripción detallada del caso de uso Agregar registro (Nueva Consigna).	Vista de la arquitectura a través de los casos de uso relevantes para la creación de la arquitectura candidata.

Análisis	Paquetes de Análisis Generales	Identificación de paquetes de análisis a partir de las clases de dominio. Identificación de paquetes de análisis a partir de los casos de uso.	Principales paquetes del análisis encontrado.
Diseño	Diseño de la Arquitectura	Subsistemas a partir de los paquetes de análisis.	Subsistemas más importantes para la arquitectura, pertenecientes al modelo de diseño.

Tabla 17 flujos de trabajo realizados fase de inicio

4.1.5.4 Cumplimiento de los Criterios

El desarrollo de la fase de inicio estuvo orientado a determinar el alcance y la viabilidad del proyecto. Se realizó un estudio preliminar del negocio, a través de los casos de uso y de objetos.

Teniendo en cuenta este estudio, se determinó que el alcance del sistema es brindar un espacio a los asistentes de subestaciones para resolver problemas que se presentan en la operación de subestaciones eléctricas de transmisión que están incluidos en el sistema de consignas, utilizando herramientas como la representación del conocimiento incluido en las consignas para realizar su seguimiento.

El sistema incluye un módulo de administración que permite manejar usuarios y registros de la base de conocimiento. Dichos registros son las acciones, los equipos, las fallas y las competencias laborales relacionadas con las consignas operativas en condiciones normales y bajo falla.

Aunque en esta fase no se definió totalmente la arquitectura del sistema, se cuenta con un boceto sobre el cual se puede seguir edificando y analizando, para agregar o reorganizar otras funciones o módulos, en ciclos posteriores del proceso unificado.

Se definieron dificultades que puedan surgir en la realización del proyecto, así como estrategias para superarlas (Ver tabla 2 de riesgos críticos).

4.2 FASE DE ELABORACIÓN

Los objetivos de esta fase son: satisfacer la mayor cantidad de requisitos que aun queden pendientes, establecer una base sólida de la arquitectura, continuar la observación y el control de los riesgos críticos que queden e identificar los riesgos significativos hasta el punto de poder estimar su impacto en el proyecto. También se estudia el sistema propuesto al punto de planificar la fase de construcción con gran precisión.

4.2.1 Planeación

Al iniciar la fase de elaboración, se cuenta con un modelo de casos de uso parcialmente completo y una descripción de la arquitectura candidata. También se cuenta con unos bocetos de un modelo de análisis y un modelo de diseño. Estos bocetos sirven de punto de partida para la búsqueda de una arquitectura estable que sea consistente durante la construcción del sistema.

4.2.1.1 Hitos

El punto de referencia para medir el progreso en esta fase está dado por el cumplimiento de los objetivos planteados anteriormente:

- Extender los requisitos mediante la respuesta a preguntas como: ¿Se han identificado los requisitos, actores y casos de uso necesarios para diseñar la línea base de la arquitectura? ¿Se han detallado lo suficiente como para lograr los objetivos de esta fase?
- Definir la línea base de la arquitectura mediante el análisis y la búsqueda de respuestas a: ¿Satisface la línea base de la arquitectura; no solo los requisitos recopilados formalmente hasta ahora, sino también las necesidades de todos los usuarios? ¿Parece la línea base de la arquitectura lo suficientemente robusta como para resistir la fase de construcción y la adición de características que puedan ser necesarias en posteriores versiones del sistema?
- Mitigar los riesgos significativos, lo que se hará encontrando respuestas a las preguntas: ¿Se han mitigado de forma adecuada los riesgos críticos, ya sea eliminándolos o preparando un plan de emergencia? ¿Se han identificado todos los riesgos significativos?

4.2.1.2 Flujos, Actividades y Productos a Entregar en la Fase de Elaboración

Dado que el fin de la fase de elaboración es determinar una arquitectura estable que permita el desarrollo posterior, se deben obtener nuevos casos de uso y detallar los necesarios para comprender la arquitectura del sistema. Además, se debe realizar un análisis de los paquetes que

lo componen para realizar el diseño de los subsistemas. Al final de esta fase se debe definir el diseño de la base de datos y la interfase.

4.2.1.3 Iteración Única. Determinación de una Arquitectura Estable

Debido a que en la fase de inicio se describió el procedimiento para realizar cada una de las actividades de este apartado, sólo se describirán brevemente aquellas que no hayan sido descritas anteriormente. Para el desarrollo de cada actividad y los productos generados, sólo se presentará lo necesario para la comprensión del desarrollo del producto.

4.2.1.4 Captura de Requisitos

En este flujo de trabajo se establecen la prioridad y estructura de los casos de uso, en especial aquellos de vital importancia para la definición de la arquitectura del sistema. Para ello, se determinará la mayoría de los casos de uso del sistema (alrededor del 80 por ciento), con el fin de garantizar que la arquitectura definida cumpla con todos los requisitos exigidos.

4.2.2 Actores y Casos de Uso

Para esta actividad, se deben identificar los casos de uso adicionales a los presentados en la fase de inicio.

Casos de Uso

En la fase de inicio se definió un modelo de casos de uso general. Este modelo fue de utilidad para trazar la arquitectura inicial del sistema. En esta fase, se amplía el modelo general y se analiza de manera detallada, para ajustarlo a los requerimientos presentados en la fase de inicio. Para cada modelo de casos de uso, se identifican los casos de uso que no hayan sido identificados anteriormente. La figura 24 presenta el modelo de casos de uso para la acción “consultar tutorial”

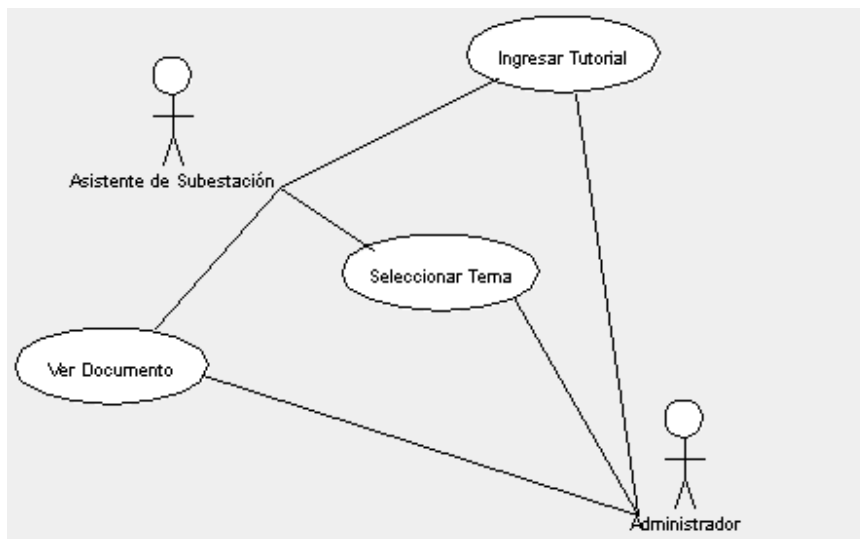


Figura 24 Modelo de Casos de Uso Consultar Tutorial

Descripción del modelo de Casos de Uso Consultar Tutorial

Todos los Usuarios del sistema contarán con la opción de consultar un tutorial, dicho tutorial contendrá información relacionada con los equipos, los sistemas y la operación de Subestaciones. Los Usuarios podrán ver el documento a través de una página Web dentro del sistema.

Tabla 18 Descripción casos de uso seguir tutorial

Casos de uso identificados	Breve descripción
Ver contenidos	Permite acceder a los contenidos del tutorial.
Seleccionar Tema	El usuario decide que tema desea consultar en el tutorial.
Ingresar Tutorial	El usuario contará en la interfase del sistema con una opción para consultar el tutorial.

Tabla 19. Casos de uso identificados en seguir tutorial.

4.2.3 Análisis

En la fase de elaboración se refinará el modelo de análisis realizado en la fase de inicio, utilizando los casos de uso significativos desde el punto de vista de la arquitectura y aquellos que requieran más refinamiento, para entender mejor el funcionamiento del sistema.

4.2.3.1 Análisis de la Arquitectura

En esta fase se agregarán los nuevos casos de uso a cada uno de los paquetes existentes y se rediseñarán o crearán nuevos. Éstos se muestran a continuación.

4.2.3.2 Paquetes de Análisis de Gestión

En la Figura 25 se muestran los paquetes de análisis.

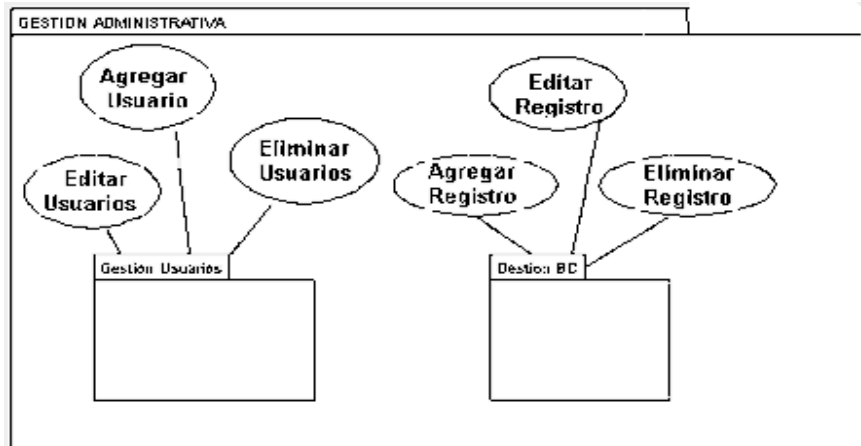


Figura 25 Paquetes de Análisis de Gestión Administrativa, Conteniendo los Paquetes de Gestión de Usuarios y Base de Conocimiento.

4.2.3.3 Análisis de los Casos de Uso

En esta fase, todavía hay casos de uso que no son fácilmente entendibles, tal como están descritos en el modelo de casos de uso. Por lo tanto, deben ser refinados en función de las clases del análisis que existen en el ámbito de los requisitos, pero que no se implementan necesariamente de forma directa en el sistema.

Para realizar este análisis, primero se deben identificar las clases del análisis (entidad, control e interfase) y la forma como se relacionan entre sí para llevar a cabo el flujo de sucesos del caso de uso. Para este fin se han utilizado diagramas de colaboración, con el objetivo de identificar requisitos y responsabilidades sobre las clases.

4.2.3.3.1 Gestión Administrativa

En el paquete de gestión administrativa, se han escogido los casos de uso de adicionar usuario y Gestión de Base de Conocimiento, por ser los casos de uso en los que interactúan más clases.

En la figura 26 se observa el diagrama de colaboración para adicionar usuarios. Allí se utiliza la entidad denominada “usuario”, donde se almacena la información de los usuarios en el sistema (asistentes de Subestación o administradores). La clase de control “gestor de usuarios” es la encargada de incluir al nuevo usuario en el sistema. La clase de interfase denominada “interfase de usuarios”, se encarga de permitir al usuario ingresar la información adecuada para la adición de usuarios.

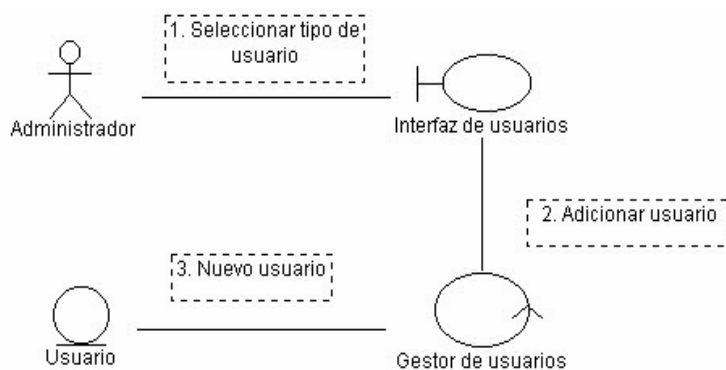


Figura 26 Diagrama de Colaboración para el Caso de Uso “Adicionar Usuario”

En la figura 27 se puede observar que existen tres clases de entidades: equipos, consignas y operación. La primera recopila la información para los equipos, la segunda para las consignas y la tercera contiene información acerca de las acciones de una operación determinada.

La clase de control “gestor de consignas” se encarga de seleccionar las acciones y los equipos que pertenecen a la consigna actual, incluir y/o remover un equipo en la lista de integrantes de la consigna, y asignar acciones al mismo. Si se especifican los datos de los equipos, el gestor de consignas se encargará de validar si éstos existen y de crearlos si se requiere.

La clase “interfase de consignas” le permite al usuario seleccionar el procedimiento deseado y presenta los formularios adecuados para cada acción que éste decida ejecutar.

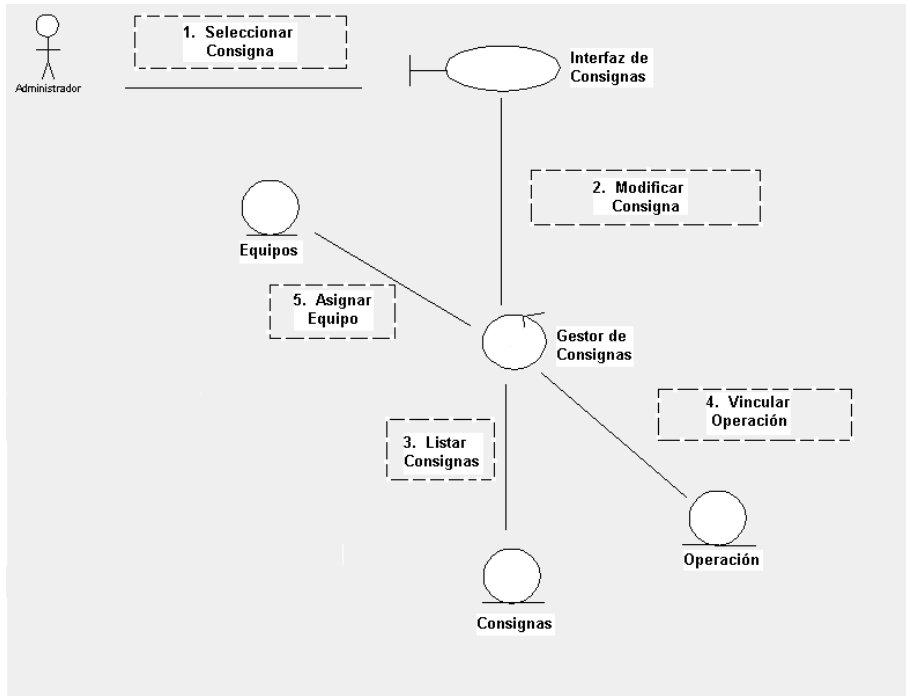


Figura 27 Diagrama de Colaboración para el Caso de Uso “Seleccionar Consigna”.

4.2.3.3.2 Seguimiento de Consigna

Para el análisis de este caso de uso se realizó el diagrama de estados donde se aprecia la evolución para la clase “consignas”.

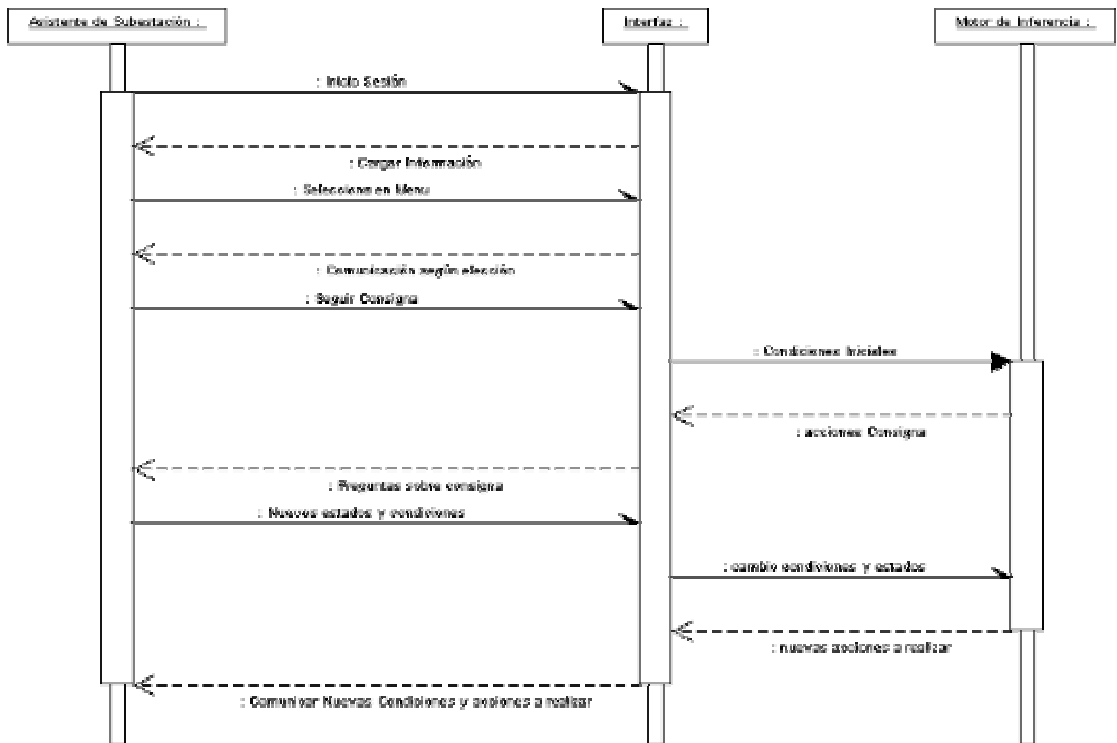


Figura 28 Diagrama de Secuencia para el Seguimiento de la Consigna

4.2.4 Diseño

El objetivo del diseño es crear una arquitectura estable y sólida, además de establecer un plano del modelo de implementación. Para ello, se deben comprender en profundidad aspectos relacionados con los requisitos no funcionales y con las restricciones relacionadas con los lenguajes de programación, los componentes y los sistemas operativos, entre otros.

4.2.4.1 Diseño de la Arquitectura

Con el diseño de la arquitectura se pretenden definir los modelos de diseño y despliegue, y su arquitectura. Para ello, se hace la identificación de subsistemas, interfases, software del sistema y capas intermedias.

4.2.4.2 Subsistemas

Los subsistemas permiten dividir el trabajo de diseño y, posteriormente, el de implementación. Para obtener los subsistemas de diseño se deben tomar como base los paquetes de análisis definidos anteriormente. A continuación se pueden observar en la figura 29, los subsistemas realizados en la fase de elaboración.

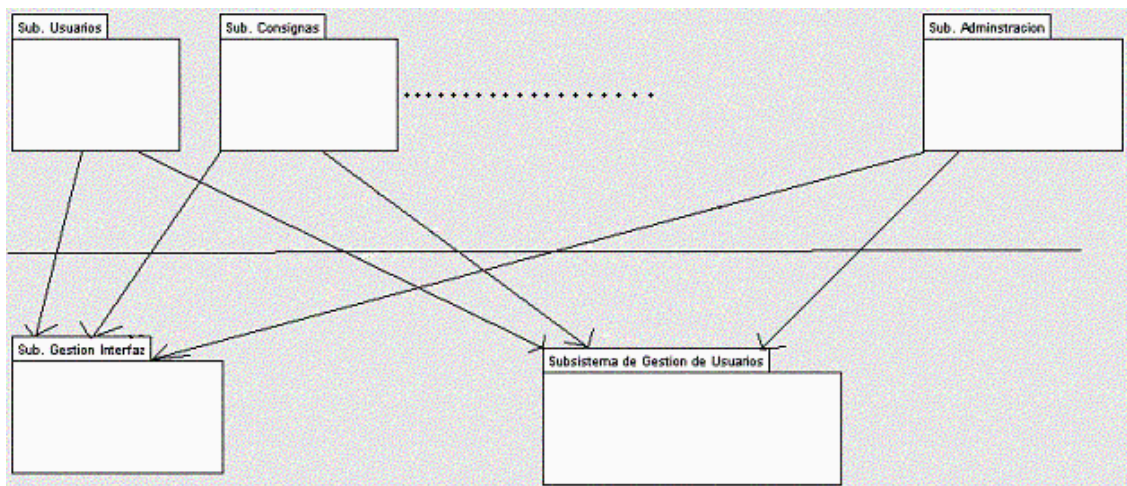


Figura 29 Subsistemas de Diseño.

4.2.4.3 Diseño Basado en el Modelo de Tres Capas

El desarrollo del sistema se realiza a partir del concepto de la arquitectura de tres capas, el cual consiste en dividir el sistema en capas lógicas, capaces de interactuar entre sí. La primera capa es la de datos, que encapsula el manejo de la base de datos y procesos relacionados. La segunda es la capa lógica o de negocio, la cual lleva a cabo la lógica del negocio, y la tercera es la capa de presentación, la cual encapsula las funciones de interfase de usuario. Esta arquitectura es la más utilizada en la elaboración de sistemas **Basados en el Conocimiento**.



Figura 30 Modelo de Tres Capas

4.2.4.3.1 Capa de Datos

La capa de datos está determinada por la base de datos y las funciones para su manejo. Las funciones más importantes de esta capa son: manejar la integridad referencial de las tablas y manejar las interfases de inserción, modificación y eliminación de registros. Las funciones de esta capa están desarrolladas en Access 2000.

4.2.4.3.2 Capa Lógica

La capa lógica o de negocio contiene las funciones que llevan a cabo la lógica del sistema basándose en los casos de uso. En ella se encuentra el conjunto de reglas presentes en la ejecución de las consignas, base de este proyecto.

4.2.4.3.3 Capa de Presentación

Esta capa es la encargada de la interacción con el usuario final, y se implementa de manera que su mantenimiento no interfiera con la capa lógica para que sea de fácil comprensión por parte del asistente de subestación.

4.2.4.4 Diseño de la Interfase

Para el diseño de la interfase, se deben tener en cuenta los tipos de usuario que van a utilizar el sistema. Estos tipos ya están plenamente identificados y son: administrador y Asistente de Subestación.

Se puede observar que los usuarios (Administrador y Asistente de subestación) cuentan con opciones no muy diferentes; por lo tanto, la interfase sólo cambia en algunas opciones que tiene el administrador para el manejo del sistema.



Figura 31 Interfase del Sistema

El menú del sistema permite seleccionar una tarea específica, tal como administrar usuarios o administrar la base de conocimiento. La sección de contenido principal cambia de acuerdo con la opción seleccionada.



Figura 32 Menú del Sistema

El menú presentado al usuario presenta opciones de administración y de seguimiento de las consignas; administración de usuarios y opciones para consulta del tutorial y ayuda.

El subsistema de gestión de interfase se encarga de presentar, activar o desactivar las opciones, dependiendo del tipo de usuario que ingrese al sistema. Por ejemplo, al administrador se le presenta la opción de ingresar su clave de usuario para poder realizar labores en la base de conocimiento y de usuarios.

En esta fase, la implementación se enfoca sólo a instalar y configurar el “software” del sistema, y a asignar los componentes necesarios a cada uno de los módulos.

El desarrollo de este proyecto se realizó en el ambiente de desarrollo Java Standard Edition (JSE v 1.4), el cual es un plataforma estable y segura y permite ejecutarse desde cualquier sistema operativo si se dispone de la máquina virtual.

4.2.6 EVALUACIÓN

En la fase de elaboración, la evaluación está orientada a verificar si la arquitectura del sistema es estable y puede adaptarse a cambios que puedan ocurrir en el proceso de construcción y en la vida útil del sistema.

Para definir de manera adecuada la estructura, se deben analizar los casos de uso que puedan afectarla de manera directa. Además, se deben identificar y mitigar los posibles riesgos críticos que puedan surgir, o que ya estén identificados.

4.2.6.1 Desarrollo del Modelo de Casos de Uso

En esta fase, un mínimo del 80 por ciento de los casos de uso deben ser analizados exhaustivamente. Cabe aclarar que algunos casos de uso son tan sencillos, que no requieren profundización. Para tales casos de uso, una descripción breve es suficiente.

4.2.6.2 Vista de la Arquitectura

En esta fase se identificaron la mayoría de los casos de uso del sistema. De éstos, se analizaron los más adecuados, para obtener las clases de entidad, control de interfase y gestión. Las clases de entidad se utilizaron en el diseño del modelo “entidad – relación”. Las clases de control de interfase y control de sesión se convierten en funciones, en la siguiente fase.

4.2.6.3 Cumplimiento de Criterios

Al identificar la mayoría de casos de uso del sistema, fue posible crear una arquitectura base para la fase de construcción. La mayoría de casos de uso encontrados no requieren de una explicación exhaustiva, por lo tanto sólo se analizaron en detalle los casos de uso más significativos para el sistema. Para ello, se eligió un caso de uso representativo por cada paquete de análisis, que agrupa la mayor cantidad de detalles de cada uno de los paquetes.

Al utilizar un diseño de tres capas, se obtiene una mayor flexibilidad del sistema, debido a que se puede modificar una de ellas sin mayor repercusión sobre las otras.

4.3 FASE DE CONSTRUCCIÓN

En esta fase se desarrolla una versión funcional del sistema para ser objeto de pruebas y ajustes que lo lleven a ser un producto terminado. Los objetivos específicos de esta fase son identificar, describir y

analizar todos los casos de uso del sistema, realizar ajustes a la arquitectura cuando sea necesario, y crear los manuales de usuario y de administración del sistema.

4.3.1 Planeación de la Fase de Construcción

La planeación en esta fase consiste en determinar el tiempo, las iteraciones a realizar y los productos a entregar en cada iteración de desarrollo del sistema.

4.3.1.1 Hitos y Asignaciones de Tiempo

Para lograr que el desarrollo del sistema se lleve a cabo en los plazos propuestos, es necesario dividirlo por módulos. Estos módulos corresponden a los subsistemas identificados en la fase de elaboración. Los subsistemas se han dividido en dos categorías, las cuales son:

- Subsistemas generales: Son la base operativa para los demás subsistemas, aunque no son visibles al usuario del sistema. Los subsistemas generales son el subsistema de gestión de usuarios y el subsistema de interfase.
- Subsistemas específicos: Son aquellos que realizan una tarea específica y son visibles al usuario del sistema. Estos son los subsistemas de administración, de usuarios y de consignas.
- El proceso de desarrollo se divide en cinco iteraciones, donde cada una de ellas corresponde a un subsistema. La tabla 20 ilustra el planteamiento en la fase de planeación de la construcción de las diferentes iteraciones y el tiempo requerido para su desarrollo.

Subsistema	Tiempo requerido (Semanas)
Gestión de Usuarios	1
Gestión de Interfase	2
Administración	2
Usuarios	1
Consignas	3
Tiempo total de desarrollo	9

Tabla 20 Tabla de asignación de tiempo a cada una de las iteraciones (subsistemas a desarrollar).

El criterio para decidir si la fase de construcción está completa se obtiene mediante la respuesta a preguntas como: ¿Se logró identificar y describir todos los casos de uso de cada subsistema? ¿Se construyó una versión funcional de cada subsistema? ¿El sistema posee toda su funcionalidad? ¿Se han elaborado los manuales de usuario y de administración?

4.3.1.2 Flujos, Actividades y Productos a Entregar en la Fase de Construcción

Además de entregar una versión funcional del sistema, se deben entregar las versiones finales de los casos de uso y de la arquitectura del sistema. Con el análisis de los casos de uso desarrollado en la fase de elaboración, los diagramas de casos de uso y la arquitectura pasan

a sus versiones finales. El objetivo de esta fase es presentar la implementación de cada uno de los subsistemas desarrollados.

4.3.2 Implementación de Subsistemas Generales

Los subsistemas generales son requeridos por los demás subsistemas para su funcionamiento, tal como aprecia en el diagrama de diseño (subsistemas de diseño).

4.3.2.1 Subsistema de Gestión de Usuarios

En general, un sistema de gestión de usuarios permite preservar datos mientras el usuario se encuentre en el sistema. Esto permite construir aplicaciones personalizadas, debido a que el sistema puede “conocer” al usuario que lo está accediendo, y presentarle las opciones adecuadas. De esta forma el sistema presenta a cada uno de sus usuarios las opciones a las que tiene acceso y de una u otra forma, ayuda a preservar la seguridad del sistema.

Cabe anotar que el sistema almacena las contraseñas de usuario en la base de datos, el administrador será quien ingrese la contraseña al crear al usuario, el administrador podrá cambiar la contraseña inicial, para que el usuario pueda ingresar al sistema, si olvido su clave. Esto aumenta la seguridad del sistema, pues garantiza que ningún usuario puede cambiar su contraseña o la de otro usuario.

Implementación

Cuando un usuario ingresa al sistema, éste valida la información registrada. Si los datos son correctos, se inicia la sesión, se crean las variables necesarias para la lógica del negocio y rastrea al usuario durante su permanencia en el sistema. Esta sesión se destruye cuando el usuario seleccione la opción “salir del sistema”.

El objetivo principal del subsistema de gestión de usuarios es suministrar el primer nivel de seguridad en el sistema. Además, es el encargado de mantener las variables de gestión necesarias para la lógica del negocio.

4.3.2.2 Subsistema de Gestión de Interfase

El objetivo principal de este subsistema es suministrar las opciones en la interfase de usuario, dependiendo del tipo de éste.

Este subsistema funciona de manera coordinada con el subsistema de gestión de usuarios, pues utiliza las variables de sesión creadas por éste para determinar aspectos del ambiente, relevantes de la lógica del negocio.

Implementación

Debido a que la interfase es la misma para los diferentes tipos de usuario (Administrador y Asistente de subestación), y que la lógica del negocio depende también de éstos, el subsistema de gestión de interfase no se puede agrupar en un conjunto de funciones

independientes a la lógica de negocio y se maneja como fracciones de código en cada uno de los subsistemas específicos para ocultar o mostrar opciones dependiendo del tipo de usuario que haya iniciado sesión. Los pasos realizados por el subsistema son los siguientes:

- Abrir la interfase del sistema
- Definir las opciones según el tipo de usuario
- Dependiendo de las variables de usuario, designar valor a los códigos de campo

A continuación, se presentan algunos ejemplos que ilustran el funcionamiento de este subsistema.

Acceso a la Consulta de una Consigna

La Figura 34 ilustra el funcionamiento del subsistema de gestión de interfaces en el momento de ingresar al sistema.



The image shows a screenshot of a web application window titled "INICIO DE SESION". The window has a blue border and standard Windows-style window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner. The background of the window is a faded image of an industrial facility. In the center, there are two input fields: "NOMBRE USUARIO" with the text "ADMINISTRADOR" entered, and "CONTRASEÑA USUARIO" with "*****" entered. Below these fields is a button labeled "SALIR".

Figura 34 Inicio de Sesión en el Sistema.

El sistema solicita el nombre y la contraseña del usuario y según la identificación del usuario, presenta las opciones a las que tiene acceso.

Es necesario recordar que el sistema de gestión de usuarios maneja automáticamente la seguridad del sistema. Si en algún momento el asistente de subestación trata de ingresar al módulo de administración, el subsistema de gestión de usuarios no le permite el acceso. Para facilidad de lectura, esta característica no se menciona de nuevo y sólo se hacen pequeñas referencias.

Adición de Registros (nuevas acciones de las consignas)

Si el usuario es administrador, el subsistema de gestión de interfase presenta el formulario para el ingreso de un nuevo registro. Si por el contrario, el usuario es un asistente de subestación, el subsistema no presenta dicha opción.

La figura 35 ilustra el estado del sistema ante el acceso del administrador. A su vez, la figura 36 ilustra el estado del sistema ante el acceso de un asistente de subestación.



Figura 35 Acceso a la Base de Conocimiento por Parte del Administrador

La figura 36, presenta el formulario de acceso a la base de conocimiento por parte del administrador del sistema. Si desea continuar presentará las opciones de edición, eliminación o inclusión de nuevos registros en el sistema de consignas. Por el contrario, si el usuario no es administrador, no le permitirá el acceso a la base de conocimiento.



Figura 36 Acceso a la Base de Conocimiento por Parte del Asistente de Subestación

Para el ingreso de nuevas consignas, se presentaran opciones de ingreso de equipos, fallas, causas y soluciones, como se muestra en la figura 37.

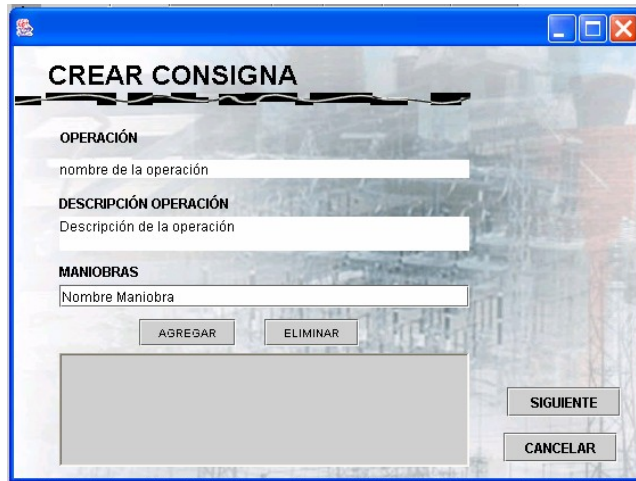


Figura 37 Creación de Nuevas Consignas.

Para la creación de una consigna, el administrador ingresa el nombre de la operación y su respectiva descripción. Asimismo, debe ingresar las maniobras relacionadas con dicha operación, al escribir el nombre de la maniobra el administrador da "clic" en el botón agregar y se introduce la maniobra relacionada con la operación. Las maniobras se asocian con las acciones y los equipos.

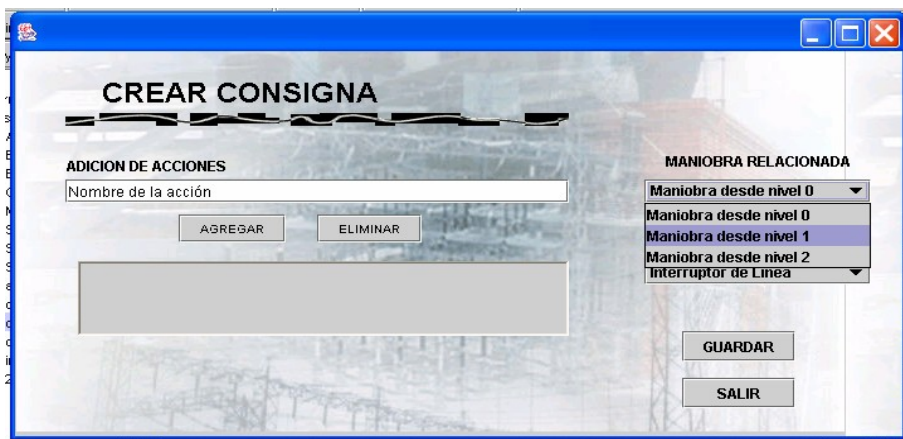


Figura 38 Creación de Acciones en una Consigna.

Para el seguimiento o consulta de una consigna, el sistema ofrece las opciones que se presentan en la figura 39.

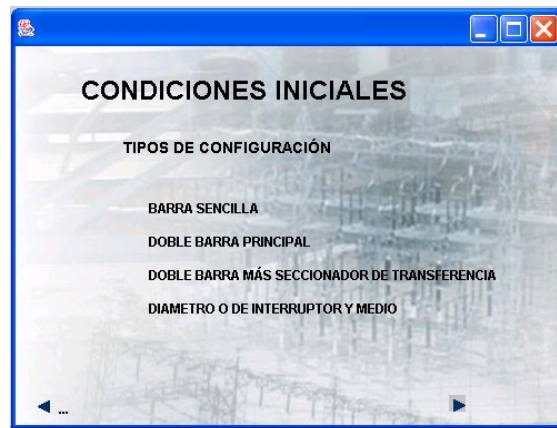


Figura 39 Formulario Para la Consulta de Consignas.

Pruebas

• Casos de Prueba

Para este subsistema se utilizan pruebas negativas, es decir, pruebas que intenten provocar que el sistema falle.

- Validar que los datos ingresados correspondan en la base de datos.
- Verificar la no existencia de campos nulos donde es necesaria la información.
- Verificación de opciones para cada usuario.

• Procedimiento de Prueba

Aquí se va a mostrar el caso de prueba: Validar que los datos ingresados correspondan con el formato asignado. Este proceso se puede observar en la figura 38. El procedimiento para realizar esta

prueba consiste en ingresar datos que no correspondan al formato de los campos, por ejemplo, ingresar letras en campos numéricos.

Las pruebas para este subsistema estuvieron enfocadas en acceder a cada una de las opciones del sistema, utilizando los dos tipos de usuario (Administrador y asistente de subestación), con el fin de verificar que se presentan sólo las opciones permitidas para el tipo de usuario indicado y obedeciendo a la configuración que éste haya realizado en el sistema.

4.3.3 Subsistemas Específicos

Estos subsistemas son los que conforman los módulos del sistema desde el punto de vista del usuario, y tienen su sustento en los casos de uso identificados. Debido a que los casos de uso ya han sido descritos, en este apartado sólo se presentarán los aspectos generales más importantes de cada uno de ellos.

Los subsistemas específicos interactúan con los subsistemas generales para presentar las opciones permitidas para cada tipo de usuario.

4.3.3.1 Subsistema de Administración

Este subsistema es el encargado de manejar usuarios y base de conocimiento. Además, utilizando este subsistema, se pueden asignar acciones a los equipos, competencias o fallas, e incluir y/o retirar registros a/de éstos.

Implementación

Es importante señalar que el manejo de usuarios consiste en la posibilidad de cambiar las contraseñas de usuario sin que esto signifique el cambio de los datos o la edición de un usuario. Este cambio se permitirá para devolver el ingreso a usuarios que hayan olvidado sus claves de ingreso.



The image shows a web browser window with a blue title bar. The title bar contains a small icon on the left and three window control buttons (minimize, maximize, close) on the right. The main content area has a light blue background with a faint grid pattern. At the top center, the text 'CAMBIO DE PASSWORD' is displayed in bold black font. Below this, there are three input fields arranged vertically. The first field is labeled 'USUARIO' and contains the text 'ADMINISTRADOR'. The second field is labeled 'ANTIGUA CONTRASEÑA' and contains five asterisks. The third field is labeled 'NUEVA CONTRASEÑA' and contains six asterisks.

Figura 40 Formulario Para el Cambio de Password Usuario.

Pruebas

▪ Casos de Prueba

Para este subsistema se realizaron pruebas que provoquen fallos en el sistema:

- Verificar el ingreso al sistema por parte de diferentes usuarios.
- Verificar que el proceso de manejo de usuarios y la base de conocimiento. (incluyendo la creación, modificación y eliminación de registros), se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

- **Procedimiento de prueba**

Las pruebas para este subsistema se realizaron ingresando diferentes usuarios con diversas contraseñas, para verificar la seguridad del sistema, como se ve en la figura 40.

En la creación de las nuevas consignas se tuvo en cuenta que el proceso se cumpliera dentro de los parámetros dados por las consignas y la información que se encuentra en la base de datos, como se vio en la figura 38.

4.3.3.2 Subsistema de Consignas

El sistema está basado en las consignas. Para un usuario normal (Administrador o asistente de subestación), la información presentada estará siempre ligada al seguimiento de las consignas.

Implementación

El subsistema de consignas permite a los usuarios acceder al seguimiento de las consignas. En el seguimiento o en la consulta de una consigna, los usuarios administrador y asistente de subestación tienen la posibilidad de acceder a todas las herramientas disponibles para dicho seguimiento, tales como: selección de la consigna, documentos de la consigna, control de la ejecución y ayuda. Dichos usuarios pueden participar activamente en el seguimiento de la consigna por medio del establecimiento de las condiciones a evaluar por el sistema.

Pruebas

▪ Caso de Prueba

En este subsistema, las pruebas estuvieron enfocadas a verificar el acceso a cada una de las opciones del sistema

- Verificar los resultados obtenidos en cada uno de los pasos.

```
public static void main(String args[]) {
    // new SelecConsigna().show();
}
void BuscarPrimeraAccion(){
    try {
        conn1= DriverManager.getConnection("jdbc:odbc:base".prop);
        if (conn1!=null) {
//            System.out.println("Connection successful!");
        }
        else {
            System.out.println("Connection no successful!");
        }
        stmt = conn1.createStatement();
        SQL = "SELECT min(idaccion1) FROM accion1pormaniobra WHERE idmaniobra="+
idmaniobra;// + " order by idaccion1";
        executeResult = stmt.execute(SQL);
        rs = stmt.getResultSet();
        while(rs.next()){
            idtemp = rs.getInt(1);
        }
        idaccion1 = idtemp;
        System.out.println("Numero Menor:"+ idaccion1);
        stmt = conn1.createStatement();
        SQL = "SELECT max(idaccion1) FROM accion1pormaniobra WHERE idmaniobra="+
```

Figura 41 Sección de Código del Motor de Inferencia “Evaluación de Condiciones Iniciales”.

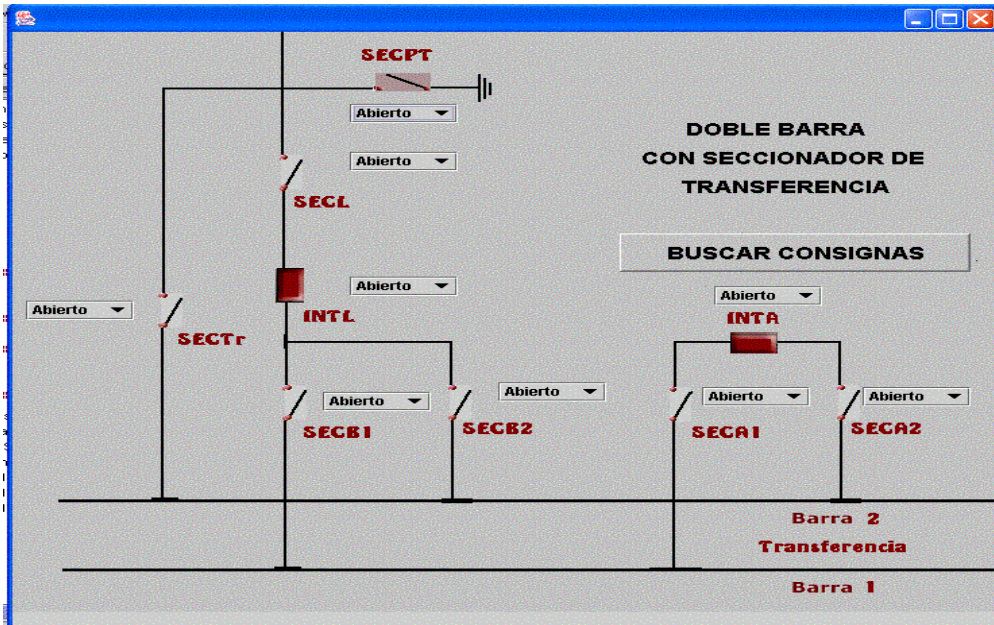


Figura 42 Selección de Condiciones Iniciales de los Equipos para seguir una consigna

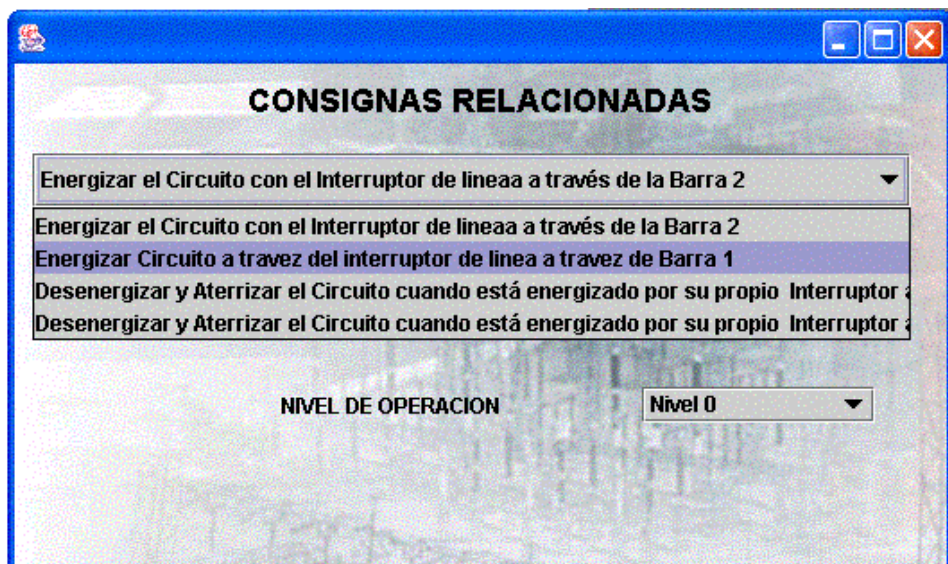


Figura 43 Selección de Consigna a seguir

▪ Procedimiento de Prueba

Para observar este proceso se muestra la figura 41, aquí se encuentra el código utilizado en los formularios de las figuras 42, 43 y 44, donde se ve el desarrollo de una consulta a una consigna, en estas figuras podemos observar la operación, la maniobra y las acciones a realizarse en dicha consigna, así como también, las fallas relacionadas con cada una de ellas.

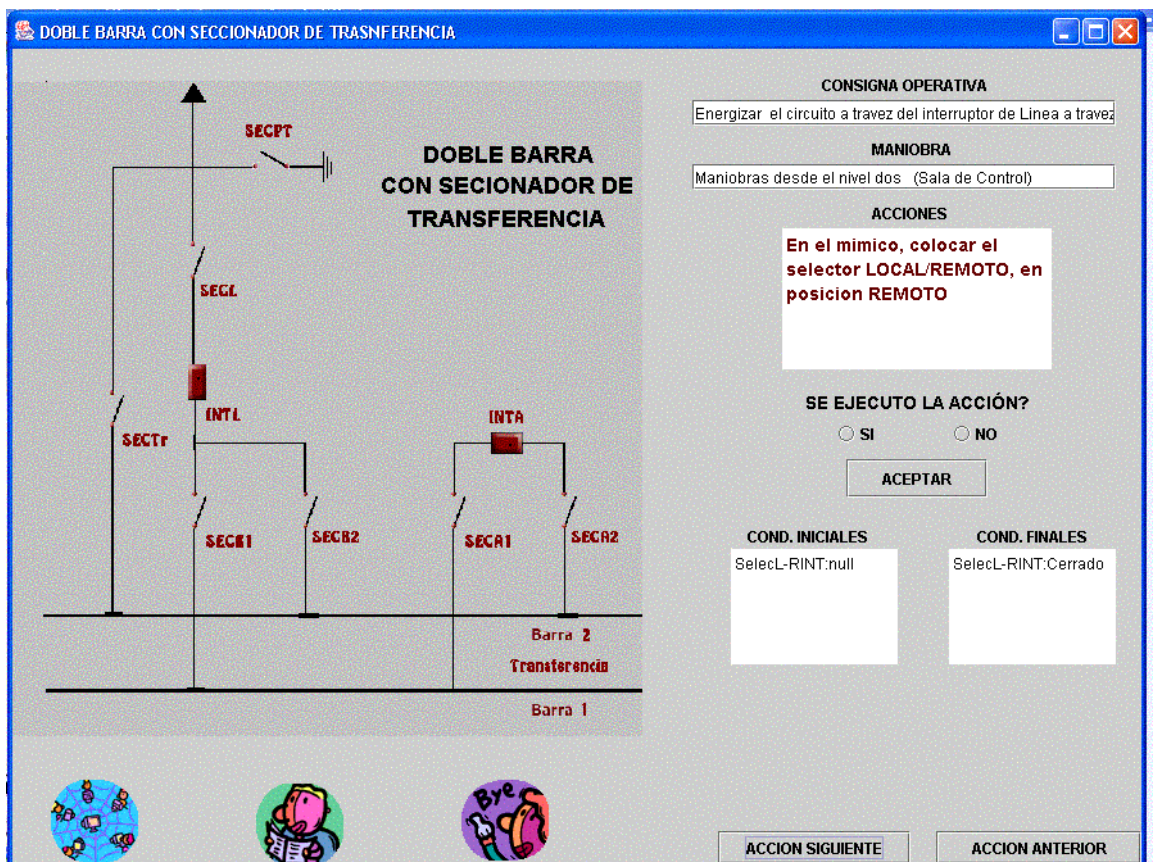


Figura 44 Seguimiento de acciones en una consigna

4.3.3.3 Subsistema de Tutorial

El subsistema de tutorial permite la consulta de temas relacionados con la operación de subestaciones, los equipos de patio, los sistemas auxiliares, los manuales de operación y las competencias laborales. Dichos temas deben ser de obligado conocimiento por parte del asistente de subestaciones.

Implementación

El subsistema tutorial fue implementado como una página Web, para de esta forma facilitar al usuario las consultas y la comprensión de temas específicos.

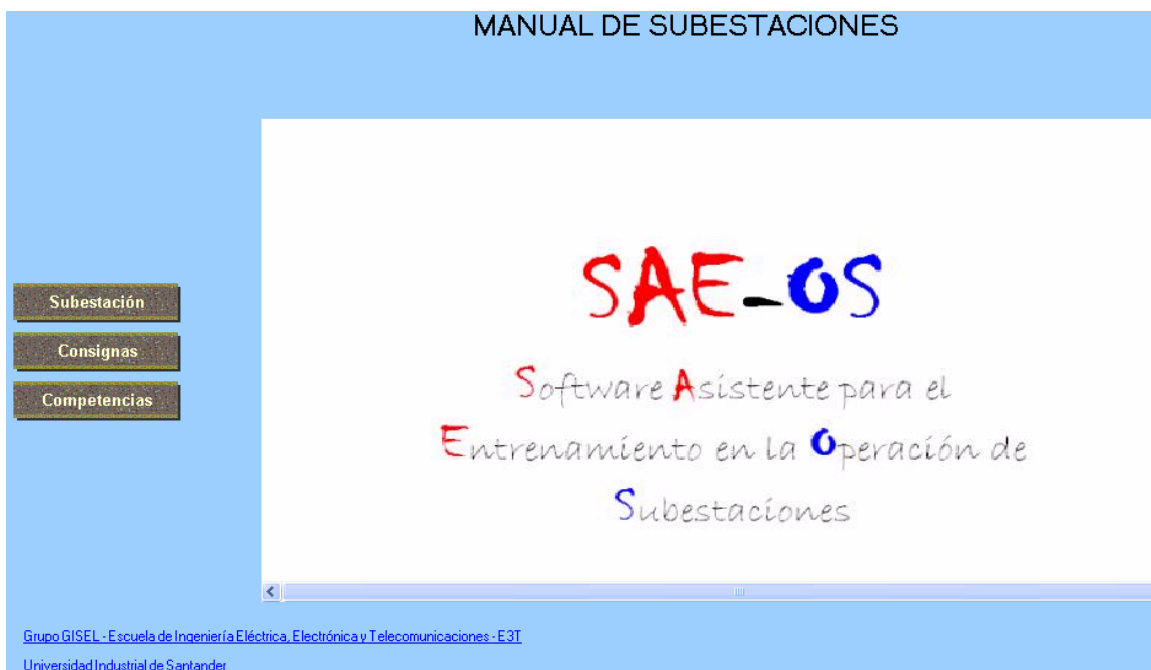


Figura 45 Pagina Inicial Tutorial

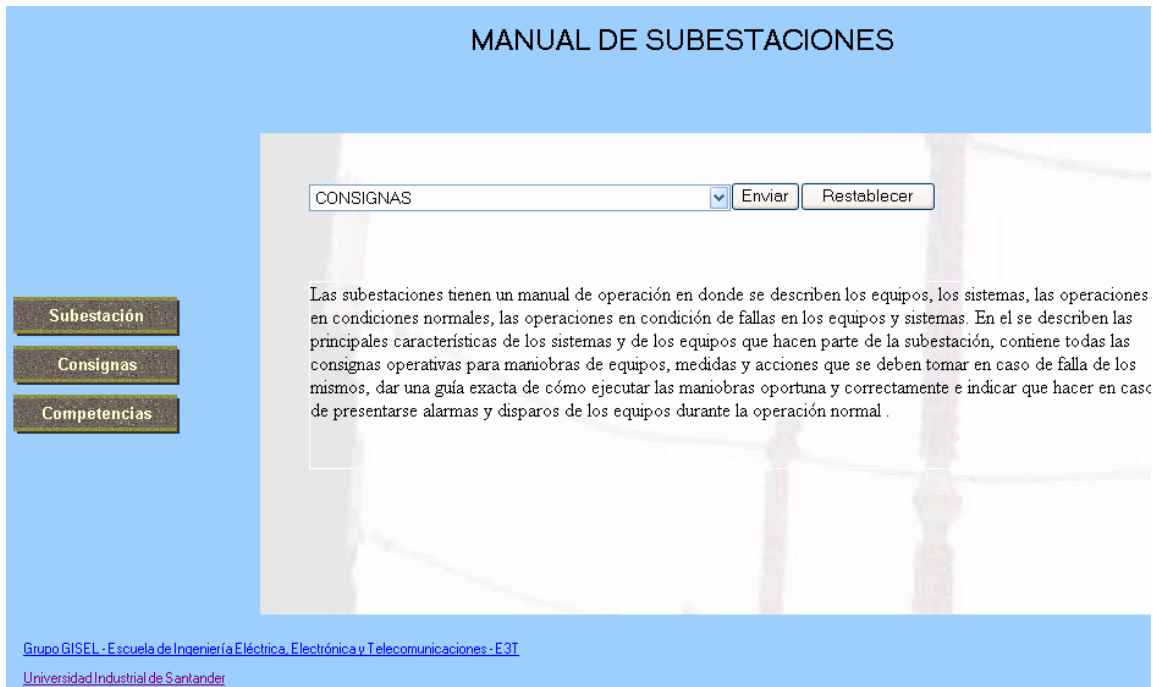


Figura 46 Pagina Consignas Tutorial.

Pruebas

▪ Casos de Prueba

- Las pruebas de este subsistema estuvieron orientadas hacia la correcta presentación y seguimiento de hipervínculos.

▪ Procedimiento de prueba

Se realizaron pruebas a los hipervínculos de la página del tutorial, para verificar que la información estuviera bien relacionada en cuanto a texto y figuras, de cada uno de los temas de los tratados en el manual, como se observa en la figura 45 y 46.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El uso del “Proceso Unificado” como metodología de desarrollo del proyecto, permitió obtener un sistema que cumpliera con los requerimientos del usuario, dentro de los plazos planteados. Sin embargo, el uso de tal proceso no fue suficiente para asegurar que el proyecto se llevara a cabo sin contratiempos, ya que ésta es sólo una metodología, que como cualquier otra, depende de la aplicación específica a realizar.
- El desarrollo del sistema con base en casos de uso, permite obtener una visión general del producto que se desea elaborar, a la vez que se obtienen los requisitos de una manera intuitiva, y se facilita el proceso de análisis de la posible arquitectura y los posibles tipos de usuario del sistema.
- El enfoque de formación que se trata en este proyecto, conlleva a un cambio de mentalidad en el Asistente de Subestación, debido a que se convierte en protagonista de su propio proceso de aprendizaje. Lo anterior no implica que este proyecto pretenda eliminar el sistema de educación tradicional, por el contrario, el objetivo de éste es proporcionar una herramienta que apoye los procesos de enseñanza y aprendizaje.
- La identificación de las formas de representación del conocimiento es una tarea ardua que requiere de la adecuada asesoría de expertos en cuanto al manejo del conocimiento y del tema que se va a representar, por lo tanto debe ser tomada de una manera responsable para que los datos representados sean los reales (se describe en el proceso realizado en capítulo 3).
- La estructuración del motor de inferencia implica manejar todos los elementos relacionados con las reglas dentro de una estructura que permita las consultas en un término de tiempo relativamente corto, para que el asistente de subestación recree las acciones como si estuviera en su entorno de trabajo real, (se ve en el capítulo 4).

- Las consignas que se representaron fueron las de energización, desenergización y transferencia para las configuraciones de barra sencilla y barra doble, ya que son las configuraciones con mayor cantidad de consignas operativas y contienen la mayor cantidad de equipos. Esto da la posibilidad de aumentar la base del conocimiento con acciones específicas a otro tipo de configuraciones, (se ve en el capítulo 4).
- El apoyo a la ejercitación y aplicación de conceptos sobre operación de subestaciones se realiza a través de un tutorial que contiene conceptos fundamentales sobre equipos, sistemas y manuales de operación de las subestaciones, (se ve en el capítulo 4.)
- La interfase diseñada en este proyecto permite a los asistentes de subestaciones interactuar fácilmente con el sistema, ya que presenta los diagramas de las subestaciones tal y como ellos las conocen, (se ve en el capítulo 4).
- Durante la elaboración de este sistema se ha venido trabajando, paralelamente en la elaboración del proyecto macro dentro del cual se encuentra enmarcado, es por esto que se da como recomendación el estudio de la metodología a seguir para el acoplamiento de los sistemas de consignas, motor de simulación y formación basada en competencias. No sólo para conocer el resultado de la investigación en general, sino para observar el funcionamiento de los tres subsistemas en la interacción con los demás (Tal como se describe en el capítulo 1).
- El sistema que se está desarrollando encargado de la simulación de la operación de las subestaciones, será el usuario más directo del sistema, ya que está planteado que dicho motor realice las acciones que el sistema objeto de este proyecto le plantea a través de la observación continua de las condiciones fruto de las acciones de la simulación.
- Se plantea la posibilidad de seguir desarrollando este tipo de herramientas, no sólo para el entrenamiento de asistentes de subestación, sino también a otro tipo de roles como lo es el mantenimiento, ya que puede aplicarse a cualquier tipo de entrenamiento.

- Se recomienda para un futuro inmediato la inclusión de un módulo de evaluación, que sirva como soporte al administrador del sistema y al gerente de operaciones de la empresa para la toma de decisiones relativas a la parte operacional y poder obtener mejor información sobre los conocimientos de los asistentes de subestación.
- El conocimiento adquirido sobre Software Libre¹¹, y la experiencia obtenida gracias al desarrollo de este proyecto con herramientas creadas bajo este criterio, permite asumir a las autoras un compromiso frente a la utilización de software libre como elemento fundamental en la modernización de las entidades públicas y privadas, en especial en la pequeña y mediana empresa, ya que les representa una opción viable, tanto económica como tecnológicamente, permitiendo el desarrollo de nuevos proyectos sin la inversión de grandes sumas de dinero, sin quedar atados a las restricciones de las licencias o contratos impuestos por los creadores de software propietario y por supuesto, sin comprometer la seguridad, estabilidad, escalabilidad y el desempeño de estas aplicaciones.
- Para el éxito del sistema se requiere que los asistentes de subestación, quienes son los usuarios finales de este software, tengan acceso constante al Sistema, preferiblemente en el puesto de trabajo, ya que uno de los fines del sistema es servir de ayuda y soporte para la toma de decisiones en el mismo momento de operación de las subestaciones, además de ayudar en el monitoreo de la misma.

¹¹ "Software Libre" se refiere a la libertad de los usuarios de correr, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el software. El término no se refiere a que sea gratis o que no se pueda comercializar. Para más información, consulte la página www.gnu.org/home.es.html.

6. BIBLIOGRAFÍA

ARIZA CASTILLO, Jorge. SANTAMARIA CEPEDA, Lindon Antonio. [Ariza, Santamaría, 2000] Desarrollo Del plan de contingencia para equipos de subestaciones Guatiguara propiedad de interconexión eléctrica S.A. E.S.P. Bucaramanga. UIS. 2000. Proyecto de grado de ingeniería eléctrica, dirigido por Gilberto Carrillo Caicedo, codirigido por Juan José Mora Flores.

CAVALLOTTI, Jorge A. Subestaciones. Editorial CADAFE 1956.

CORREDOR MONTAGUTT, Martha Vitalia. [Corredor, 1992] Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. Primera edición. Bucaramanga UIS. 1992.

CROSSON, Frederick J. Inteligencia Humana e Inteligencia Artificial Primera Edición. México. Fondo de Cultura Económica. 1975.

GELVIS, Javier Eduardo. GAFARO, Fredy Alexander [Gelvis, Gáfaró, 2004] Propuesta de un sistema de simulación para el entrenamiento del personal que atiende la operación de subestaciones eléctricas de transmisión. Proyecto de grado en desarrollo de las subestaciones, dirigido por Gilberto Carrillo y codirigido por Luis Carlos Gómez. Bucaramanga. UIS. 2002.

GIRALDO, Wilson. [Giraldo, 2002] Normas de competencia laboral: Desarrollo metodológico de las titulaciones elaboradas para el personal técnico de interconexión eléctrica S.A. E.S.P. y adaptación del modelo de evaluación por competencia laboral, propuesto por el sistema nacional de formación para el trabajo –SNFT-. Proyecto de grado de maestría en potencia eléctrica, dirigido por Gilberto Carrillo Caicedo.

GONZALEZ, Jorge. REMOLINA, Cristian. Modulo Digital para entrenamiento de operadores de subestaciones MSD. Bucaramanga. UIS. 2001. Proyecto de grado de ingeniería eléctrica, dirigido por Gilberto Carrillo Caicedo.

GRUPO GISEL. Propuesta de Investigación “Sistema de Simulación para la operación y la atención de fallas de Subestaciones de Transmisión. Mayo. 2002.

GRUPO GISEL. [Gisel, Isa, 2003] Sistema de Simulación para la operación y la atención de fallas en subestaciones. (Segundo Informe de Avance). Bucaramanga. 2003.

JACOBSON, Ivar. BOOCH, Grady, RUMBAUGH, James. El proceso unificado de desarrollo de software. Primera edición. Addison Wesley. 2000.

MORA FLOREZ, Juan José. [Mora, 2000] Desarrollo del plan de contingencias para fallas de equipos críticos principales y sistemas de control y protección de subestaciones de interconexión eléctrica S.A. correspondiente al CTE Oriente. Bucaramanga. UIS. 2000. Proyecto de grado de maestría en potencia eléctrica, dirigido por Gilberto Carrillo Caicedo.

MOYANO, Edwin. MUÑOZ Enrique. [Moyano, Muñoz, 2001] ESBAC 2.0 o Entorno para sistemas basados para el conocimiento versión 2.0. Bucaramanga. UIS. 2001. Proyecto de grado de ingeniería de sistemas, dirigido por Martha Vitalia Corredor

RICH, Elaine, KNIGHT, Kevin. Inteligencia Artificial. Madrid. Mc. Graw. Hill. 2001.

ROLSTON, David W. [Rolston, 1990] Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos. Bogotá. MC Graw Hill. 1990.

RUSSELL, Stuart J. NORVING, Peter. [Russel, Norving, 1996] Inteligencia Artificial: Un Enfoque Moderno. México. Prentice Hall. 1996.

VILLABONA, Fernando. Nociones Básicas de operación de Subestaciones. Documento de trabajo en ISA – CTE Oriente. Bucaramanga. 2000.

VILLABONA, Fernando. Equipos de Patio de Subestaciones. Documento de trabajo en ISA – CTE Oriente. Bucaramanga. 2000.

www.creg.gov.co. Página Comisión Regulación De Energía y Gas.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.