

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN PARA EL ENTRENAMIENTO  
DEL PERSONAL QUE ATIENDE LA OPERACIÓN DE SUBESTACIONES  
ELÉCTRICAS DE TRANSMISIÓN – SEOS 1.0**

**FREDY ALEXANDER GÁFARO EUGENIO  
JAVIER EDUARDO GELVIS VEGA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN PARA EL ENTRENAMIENTO  
DEL PERSONAL QUE ATIENDE LA OPERACIÓN DE SUBESTACIONES  
ELÉCTRICAS DE TRANSMISIÓN – SEOS 1.0**

**FREDY ALEXANDER GÁFARO EUGENIO  
JAVIER EDUARDO GELVIS VEGA**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero de Sistemas.**

**Director:**

**Dr. GILBERTO CARRILLO CAICEDO**

**Codirectores:**

**Ing. MSc. LUIS CARLOS GOMEZ FLOREZ**

**Ing. MPE. JORGE ANTONIO JAIMES BÁEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA,  
2004**

**DEDICATORIA**

*A mi madre Constanza, amiga y consejera, que con su amor, esfuerzo y dedicación, fue mi gran apoyo para lograr esta meta.*

*A Yubisay, por su gran amor, apoyo y paciencia.*

*A mi hijo Santiago, fuente de inspiración y motivo para cosechar nuevos triunfos.*

*A mis hermanos Mauricio y Omar Alonso, por su confianza y por estar a mi lado en todo momento.*

*Fredy Alexander*

**DEDICATORIA**

*A mis padres y hermanos, por su apoyo, esfuerzo y dedicación*

*A Paolita, por su amor, apoyo y comprensión*

*A Doña Griselda, por su confianza y apoyo*

*A mis compañeros de carrera y de colegio*

*A las personas que durante la carrera fueron fuente de  
inspiración*

*Javier Eduardo*

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos dar las gracias a todos aquellos que nos ayudaron y apoyaron para hacer posible la culminación con éxito de este trabajo de grado.

En primer lugar al Dr. Gilberto Carrillo Caicedo, por sus valiosas orientaciones y su disponibilidad para guiarnos durante el transcurso de este proyecto.

A los ingenieros Jorge Ariza, Edwin Vera, Jaime Corredor y Wilson Giraldo, por su constante colaboración y disposición para ayudarnos cuando lo necesitamos.

Al Ing. Jorge Antonio Jaimes Báez y su grupo de trabajo, por su importante aporte, ya que sin ustedes este proyecto no se hubiera cristalizado.

Al Ing. Luis Carlos Gómez Flórez, por animarnos a realizar este proyecto y su disposición para colaborarnos.

A Liliana Díaz y Betty Gualdron, por su gran amistad y por acompañarnos durante el proyecto.

A nuestros compañeros de Universidad, por el conocimiento compartido y amistad brindada en todo momento.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION .....	1
PARTE I. FUNDAMENTOS .....	4
1 ASPECTOS GENERALES .....	5
1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.2 OBJETIVOS .....	10
1.2.1 Objetivo General .....	10
1.2.2 Objetivos Específicos.....	10
1.3 DESCRIPCION DE OBJETIVOS.....	11
1.4 IMPACTO .....	12
2 MARCO TEÓRICO .....	13
2.1 GENERALIDADES.....	13
2.2 SISTEMA .....	16
2.2.1 Componentes de un Sistema.....	17
2.2.2 Tipos de Sistemas.....	18
2.3 MODELOS.....	20
2.4 SIMULACIÓN .....	22
2.4.1 Etapas de un Proceso de Simulación.....	28
2.4.2 Clasificación de los Modelos de Simulación.....	29
2.4.3 Simulación por Computador .....	30
2.4.4 Avances de la simulación por computadora – Las APIs .....	31
2.4.5 Clasificación de la Simulación .....	32
2.4.6 Terminología utilizada en el ámbito de la simulación.....	35
2.4.7 Disciplinas útiles a la Simulación.....	36
2.4.8 Análisis, verificación y validación de los simuladores .....	40
2.5 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	42

2.5.1	Descripción de la Subestación.....	43
2.5.2	Sistema de Potencia .....	47
2.5.3	Sistemas Funcionales .....	58
2.5.4	Sistemas Esenciales .....	71
2.5.5	Operación Normal .....	76
2.5.6	Fallas en las Subestaciones .....	88
3	MODELO DE SIMULACIÓN DE SUBESTACIÓN.....	92
3.1	INTRODUCCIÓN .....	92
3.2	MODELO DEL COMPORTAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS .....	93
3.2.1	Sistema de Potencia .....	95
3.2.2	Sistemas Funcionales .....	101
3.2.3	Servicios Auxiliares .....	118
	PARTE II. DESARROLLO DEL SISTEMA .....	125
4	FASE DE INICIO .....	126
4.1	REQUISITOS CANDIDATOS DEL SISTEMA.....	126
4.2	ALCANCE DEL PROYECTO.....	130
4.3	MODELO DEL DOMINIO .....	130
4.4	ACTORES.....	131
4.5	MODELO DE CASOS DE USO.....	132
4.5.1	Modelo General de Casos de Uso del Negocio .....	132
4.5.2	Modelo de Casos de Uso Actor Administrador .....	133
4.5.3	Modelo de Casos de Uso Actor Asistente .....	134
4.5.4	Modelo de Casos de Uso Actor Base de Conocimiento .....	135
4.6	RIESGOS .....	136
4.7	ANÁLISIS .....	137
4.7.1	Modelo de Análisis .....	138
4.8	ARQUITECTURA CANDIDATA.....	140
4.8.1	Identificación Paquetes de Análisis .....	141
4.8.2	Requisitos Adicionales .....	144
4.9	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	145

4.10 RESULTADO DE LA FASE DE INICIO .....	145
5 FASE DE ELABORACIÓN.....	149
5.1 LISTADO DE REQUISITOS FALTANTES .....	150
5.1.1 Modelo del Dominio .....	152
5.1.2 Nuevos Casos de Uso Encontrados.....	155
5.2 ANÁLISIS .....	160
5.2.1 Modelo de Análisis .....	160
5.2.2 Análisis de Casos de Uso.....	163
5.3 DISEÑO.....	167
5.3.1 Modelo de Diseño .....	167
5.3.2 Diseño de Subsistemas .....	170
5.4 RESULTADO DE LA FASE DE ELABORACIÓN.....	178
6. FASE DE CONSTRUCCION.....	184
6.1 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	185
6.1.1 Subsistema de Inicio de Sesión.....	185
6.1.2 Subsistema de Información de la Subestación .....	187
6.1.3 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física.....	188
6.1.4 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa .....	190
6.1.5 Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación.....	192
6.1.6 Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física.....	193
6.1.7 Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – SSAA .....	195
6.1.8 Subsistema de Operación de la Subestación .....	196
6.1.9 Subsistema de Seguimiento de Consignas.....	197
6.2 SUBSISTEMAS DE APLICACIÓN .....	199
6.2.1 Subsistema de Inicio de Sesión.....	200
6.2.2 Subsistema de Información de la Subestación .....	201
6.2.3 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física.....	205
6.2.4 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa .....	211
6.2.5 Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación.....	214
6.2.6 Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física.....	217
6.2.7 Subsistema de Operación de la Subestación .....	219

6.3	ELABORACIÓN DE MANUALES DEL SISTEMA.....	222
6.4	RESULTADO DE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN.....	222
	PARTE III. CONCLUYENDO EL TRABAJO DE GRADO.....	227
7	CONCLUSIONES.....	228
8	RECOMENDACIONES.....	230
9	BIBLIOGRAFÍA .....	231
	ANEXO A. PROCESO UNIFICADO Y UML .....	242
	ANEXO B. CONFIGURACION DE SUBESTACIONES.....	258
	ANEXO C. JAVA.....	266
	ANEXO D. NOMENCLATURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL .....	272

## Lista de Figuras

Figura 1 Variables de un sistema real .....	18
Figura 2 Modelo de Comportamiento y Estructural.....	21
Figura 3 Proceso de Modelado.....	22
Figura 4 Interacciones en una Simulación .....	24
Figura 5 Relaciones entre Modelado y Simulación .....	24
Figura 6 Esquema de desagregación funcional de una Subestación Eléctrica .....	44
Figura 7 Interrelación entre el sistema de potencia y las subestaciones .....	45
Figura 8 Esquema funcional característico de un campo en una subestación .....	47
Figura 9 Principales funciones de una Subestación para el sistema de Potencia. ...	48
Figura 10 Desagregación básica de los Sistemas Primarios de Potencia .....	49
Figura 11 Disposición típica de los equipos primarios de potencia en un área de circuito de línea. ....	53
Figura 12 Circuito de control de un interruptor .....	55
Figura 13 Esquema funcional del sistema de protecciones.....	59
Figura 14 Desagregación del control de una subestación desde el punto de vista operacional. ....	62
Figura 15 Jerarquización del sistema de control de la subestación. ....	63
Figura 16 Sistema de medida de un S/E de transmisión.....	68
Figura 17 Esquema funcional del sistema de señalización y alarmas .....	69
Figura 18 Sistema de registro, diagrama general .....	70
Figura 19 Desagregación de los sistemas esenciales.....	72
Figura 20 Configuración típica del sistema de servicios auxiliares. ....	73
Figura 21 Diagrama Unifilar de la bahía de línea de una subestación de doble barra con transferencia.....	83

Figura 22 Diagrama de flujo para la maniobra de energización de la línea Bucaramanga L-15 de la subestación Guatiguará. ....	85
Figura 23 Diagrama unifilar del sistema de servicios auxiliares para realizar la consigna. ....	86
Figura 24 Estructura general del modelo de la subestación. ....	95
Figura 25 Representación de los cables .....	96
Figura 26 Representación del Interruptor de Potencia .....	96
Figura 27 Representación del Selector .....	97
Figura 28 Representación de la Bobina .....	98
Figura 29 Representación del Interruptor .....	99
Figura 30 Representación del Seccionador .....	99
Figura 31 Representación de la Barra.....	100
Figura 32 Representación del Transformador.....	101
Figura 33 Protecciones Principales de Línea. ....	102
Figura 34 Estructura del Modelo de los Equipos de Medida .....	103
Figura 35 Esquema básico del Modelo de Alarmas.....	104
Figura 36 Modelo general del Sistema de Comunicaciones.....	105
Figura 37 Estructura del Modelo del Sistema de Registro de Fallas .....	106
Figura 38 Jerarquización y estructura del sistema de control.....	107
Figura 39 Modos de operación de sistema de control .....	108
Figura 40 Representación de las bobinas de apertura y cierre .....	109
Figura 41 Representación de los selectores de mando o de control.....	110
Figura 42 Representación de los Interruptores pulsadores .....	111
Figura 43 Representación de los interruptores pulsadores de control de los interruptores y seccionadores.....	111
Figura 44 Circuitos de control de un interruptor .....	112
Figura 45 Modelo del funcionamiento del motor del seccionador .....	113
Figura 46 Circuitos de control de un seccionador.....	114
Figura 47 Representación del sistema de control de los pulsadores del mímico de servicios auxiliares .....	115
Figura 48 Esquema funcional del modelo del Nivel de Control Uno. ....	116

Figura 49	Esquema de un mímico de nivel de control uno de un campo de línea.	117
Figura 50	Representación de un Alimentador asociado a la red de servicios públicos .....	119
Figura 51	Representación de un Alimentador asociado a una planta generadora	120
Figura 52	Representación de un Alimentador asociado los bancos de baterías. ..	121
Figura 53	Modelo de representación de las barras de distribución de corriente....	122
Figura 54	Modelo Rectificador de Tensión.....	123
Figura 55	Modelo Inversor de Tensión .....	123
Figura 56	Configuración de los Servicios Auxiliares .....	124
Figura 57	Modelo del Dominio .....	130
Figura 58	Modelo General de Casos de Uso del Negocio.....	132
Figura 59	Modelo de Casos de Uso – Actor Administrador .....	133
Figura 60	Modelo de Casos de Uso – Actor Asistente .....	134
Figura 61	Modelo de Casos de Uso – Actor Base de Conocimiento.....	135
Figura 62	Diagrama de Colaboración Caso de Uso Realizar Simulación .....	138
Figura 63	Diagrama de Actividades Caso de Uso Realizar Simulación.....	139
Figura 64	Diagrama de Colaboración Caso de Uso Recrear Sesión Anterior .....	139
Figura 65	Diagrama de Actividades Caso de Uso Recrear Sesión Anterior .....	140
Figura 66	Diagrama de despliegue del sistema.....	141
Figura 67	Paquete de Análisis: Administrar Usuarios.....	142
Figura 68	Paquete de Análisis: Construcción .....	143
Figura 69	Paquete de Análisis: Simulación.....	143
Figura 70	Modelo del Dominio .....	153
Figura 71	Modelo de Base de datos .....	154
Figura 72	Modelo de Casos de Uso <i>Administrar Condiciones de Simulación</i> .....	155
Figura 73	Modelo de Casos de Uso <i>Administrar Usuarios</i> .....	156
Figura 74	Modelo de Casos de Uso <i>Construir Subestación</i> .....	157
Figura 75	Modelo de Casos de Uso <i>Realizar Simulación</i> .....	158
Figura 76	Modelo de Casos de Uso <i>Seleccionar Forma de Entrenamiento</i> .....	159
Figura 77	Paquete de Análisis “Administrar Usuarios” .....	161
Figura 78	Paquete de Análisis “Construcción” .....	162

Figura 79 Paquete de Análisis “Simulación”.....	163
Figura 80 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Usuario”.....	164
Figura 81 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Subestación – Parte física”.....	165
Figura 82 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Subestación – Parte Lógica Operativa”.....	165
Figura 83 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Administrar Condiciones de Simulación”.....	166
Figura 84 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Realizar Simulación”.....	166
Figura 85 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Recrear Sesiones Anteriores”.....	167
Figura 86 Diagrama de despliegue del sistema.....	168
Figura 87 Diseño de la interfase para el subsistema “Inicio de Sesión”.....	170
Figura 88 Diseño de la interfase para el subsistema “Información de la Subestación”.....	171
Figura 89 Diseño de la Interfase para el subsistema “Creación de la Subestación – Parte física”.....	172
Figura 90 Diseño de la Interfase para el Subsistema de “Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa”.....	173
Figura 91 Diseño de la Interfase para el Subsistema de “Administración de Condiciones de Simulación – Subestación”.....	174
Figura 92 Diseño de Interfase Subsistema de “Creación de los Servicios Auxiliares – Parte física”.....	175
Figura 93 Diseño de la Interfase para el Subsistema de “Administración de Condiciones de Simulación – Servicios Auxiliares”.....	176
Figura 94 Diseño de Interfase para el Subsistema de “Operación de la Subestación”.....	177
Figura 95 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Inicio de Sesión...	185
Figura 96 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Información de la Subestación.....	187

Figura 97 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física.....	188
Figura 98 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa .....	190
Figura 99 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación.....	192
Figura 100 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física .....	193
Figura 101 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Servicios Auxiliares .....	195
Figura 102 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Operación de la Subestación.....	196
Figura 103 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Seguimiento de Consignas.....	197
Figura 104 Interfase que permite el inicio de sesión.....	201
Figura 105 Interfase que permite introducir la información de una nueva subestación .....	203
Figura 106 Interfase que permite la creación de una nueva subestación (elementos de patio y control).....	209
Figura 107 Interfase que permite introducir los esquemas de enclavamientos para una nueva subestación .....	214
Figura 108 Interfase que permite introducir la información los escenarios para una nueva subestación .....	216
Figura 109 Interfase que permite la creación de una nueva subestación (elementos de patio y control).....	218

## Listado de Tablas

Tabla 1 Simulación por computador .....	28
Tabla 2 Características generales del sistema. ....	129
Tabla 3 Actores que participarán en el proyecto.....	132
Tabla 4 Casos de Uso – Actor Administrador .....	133
Tabla 5 Casos de Uso – Actor Asistente.....	135
Tabla 6 Casos de Uso – Actor Base de Conocimiento .....	136
Tabla 7 Riesgos Críticos Identificados .....	137
Tabla 8 Casos de Uso identificados en la Fase de Inicio .....	147
Tabla 9 Vista de la arquitectura contenida en la Fase de Inicio .....	148
Tabla 10 Requisitos Faltantes del sistema.....	151
Tabla 11 Entidades del modelo del dominio. ....	152
Tabla 12 Casos de Uso <i>Administrar Condiciones de Simulación</i> .....	155
Tabla 13 Casos de Uso <i>Administrar Usuarios</i> .....	156
Tabla 14 Casos de Uso <i>Construir Subestación</i> .....	157
Tabla 15 Casos de Uso <i>Realizar Simulación</i> .....	159
Tabla 16 Casos de Uso <i>Seleccionar Forma de Entrenamiento</i> .....	160
Tabla 17 Casos de Uso identificados en la Fase de Elaboración .....	181
Tabla 18 Vista de la arquitectura contenida en la Fase de Elaboración .....	183
Tabla 19 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Inicio de Sesión .....	186
Tabla 20 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Información de la Subestación.....	187
Tabla 21 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física.....	189
Tabla 22 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa .....	191
Tabla 23 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación.....	193

Tabla 24 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física .....	194
Tabla 25 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Servicios Auxiliares .....	195
Tabla 26 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Operación de la Subestación.....	196
Tabla 27 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Seguimiento de Consignas.....	199
Tabla 28 Segmento de código Subsistema de Inicio de Sesión.....	201
Tabla 29 Segmento de código Subsistema de Información de la Subestación .....	202
Tabla 30 Prueba para Correcto almacenamiento de información en la base de datos .....	205
Tabla 31 Listado de Archivos usados en la implementación del subsistema Creación de la Subestación – Parte Física .....	206
Tabla 32 Segmento de código Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física.....	208
Tabla 33 Prueba para Correcta ubicación de los elementos y Correcta representación grafica de los elementos .....	211
Tabla 34 Segmento de código Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa .....	213
Tabla 35 Segmento de código Subsistema de Condiciones de simulación – Subestación.....	215
Tabla 36 Listado de Archivos usados en la implementación del subsistema Creación de Servicios Auxiliares – Parte Física.....	217
Tabla 37 Prueba para Correcta ubicación de los elementos y Correcta representación grafica de los elementos .....	219
Tabla 38 Listado de Archivos usados en la implementación del subsistema Operación de la Subestación.....	220
Tabla 39 Prueba para Correcta ubicación de los elementos y Correcta representación grafica de los elementos .....	221
Tabla 40 Resumen de Casos de Uso.....	224

Tabla 41 Equivalencia entre los subsistemas en las fases de elaboración y de construcción .....	226
<b>Tabla 42. Actividades de cada uno de los flujos de trabajo a través de las fases del Proceso Unificado. ....</b>	<b>246</b>

**TÍTULO:**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN PARA EL ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL QUE ATIENDE LA OPERACIÓN DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE TRANSMISIÓN.**

**AUTORES:**

Fredy Alexander Gáfaru Eugenio  
Javier Eduardo Gelvis Vega\*\*

**PALABRAS CLAVE:**

Subestación, simulación, consigna operativa, proceso unificado

**RESUMEN**

El entrenamiento y la formación del personal en las organizaciones son aspectos importantes para optimizar procesos y elevar los niveles de calidad de los productos y servicios que ofrecen. Dentro de este contexto, las empresas del sector eléctrico han revalorizado el papel de la formación y el entrenamiento enfocado a la adquisición y el desarrollo de habilidades y destrezas de sus empleados, teniendo que examinar los recursos con los que cuentan para apoyar la capacitación, de manera que ofrezcan herramientas eficientes y prácticas en este proceso evitando gastos innecesarios.

El presente trabajo de grado, plasma el desarrollo de un sistema de simulación de subestaciones eléctricas como una herramienta de apoyo para el entrenamiento del personal que las opera, aportando un mecanismo que estimula el autoaprendizaje y la adquisición de habilidades y destrezas en los usuarios. Esto permite optimizar los programas de entrenamiento continuo, y reducir los costos generados por el uso de recursos físicos relevantes en los procesos de producción.

La meta primordial del simulador es que sus usuarios aprendan a utilizar el sistema real sin tener que utilizar los propios equipos. De esta manera, la herramienta permite formular escenarios de operación, operar en una variedad de condiciones, repetir maniobras y ejercicios, exponer al operador a incidencias que son inviables utilizando los equipos reales, y supervisar el progreso del aprendizaje. Buscando instruir a los operarios de una manera eficiente, para que cuando se enfrenten a situaciones anormales o poco frecuentes sepan desenvolverse adecuadamente. Se destaca la facilidad que ofrece la herramienta para armar diferentes tipos de configuración de subestaciones.

---

\* Proyecto de grado en la modalidad de investigación.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, Director: Dr. Gilberto Carrillo Caicedo. Codirectores: Ing. Luis Carlos Gómez Flórez, Ing. Jorge Antonio Jaimes Báez

**TITLE:**

**PROPOSAL FOR A SIMULATION SYSTEM FOR PERSONNEL TRAINING FOR THE OPERATION OF ELECTRIC TRANSMISSION SUBSTATIONS.\***

**AUTHORS:**

Javier Eduardo Gelvis Vega  
Fredy Alexander Gáfaró Eugenio\*\*

**KEY WORDS :**

Substation, simulation, operative procedure, unified process.

**ABSTRACT**

The training and formation of the personnel in the organizations are important aspects to optimize processes and increase the quality levels of products and services that they offer. In this context, the companies of the electrical sector have reevaluated the role of the formation and training focused to the acquisition and development of abilities and craftiness of their employees, examining the resources they have to support the qualification, in order to offer efficient and practical tools in the process avoiding unnecessary expenses.

The present thesis exposes the development of a simulation system of electrical substations as a support tool for personnel training, providing a mechanism that stimulates self learning and the acquisition of abilities and craftiness of the users. This allows optimization of the continuous training programs, and reducing the costs generated by the use of physical resources relevant in the production processes.

The main goal of the simulation is that its users learn to use the real system without using the equipments themselves. This way, the tool allows to propose operation sceneries, operate in a variety of conditions, repeat maneuvers and exercises, expose the operator to problems that can not be avoided using the real devices, and supervise the learning progress. Looking for instructions the operators in an efficient manner, so when they face uncommon situations or few common, they know how to develop correctly. It is high lighted the easiness that this tool offers to construct different types of substations configurations.

---

\*Final Degree Project.

\*\*Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Computer Science and Informatics.  
Director: Dr. Dr. Gilberto Carrillo Caicedo. Co-directors: Ing. Luis Carlos Gómez Flórez, Ing. Jorge Antonio Jaimes Báez.

## INTRODUCCION

Hoy por hoy, el talento humano es el que marca las ventajas competitivas entre las organizaciones, es por esto que el entrenamiento y la formación del personal se convierten en un aspecto importante para optimizar procesos y elevar los niveles de calidad de los productos y servicios que ofrecen, permitiendo así, afrontar con mayor eficiencia los retos de una economía globalizada que plantea mayores exigencias y mejores índices de calidad.

Este entorno incluye a la industria eléctrica cuyo ambiente ha cambiado permitiendo la participación privada, generando una mayor competencia, obligando a las empresas a revalorizar el papel de la formación y el entrenamiento enfocado a la adquisición y el desarrollo de habilidades y destrezas de sus empleados. Adicionalmente, estas entidades deben examinar los recursos con los que cuentan para apoyar la capacitación, de manera que ofrezcan herramientas eficientes y prácticas en este proceso evitando gastos innecesarios.

Es evidente que los adelantos y las nuevas tendencias en sistemas de información (SI) y tecnologías de información (TI) brindan nuevas alternativas en los procesos de formación, posibilitando la creación de sistemas avanzados de capacitación, apoyados en técnicas de simulación e inteligencia artificial, aportando de esta manera mecanismos de entrenamiento que estimulan el autoaprendizaje y la adquisición de habilidades y destrezas en los usuarios. Asimismo, estos sistemas contribuyen a mejorar los niveles de calidad en la prestación de servicios optimizando los programas de entrenamiento continuo, y a reducir los costos generados por el uso de recursos físicos relevantes en los procesos de producción.

Dentro de este contexto surge el presente trabajo de grado, el cual plasma el desarrollo de un sistema de simulación de subestaciones eléctricas como una herramienta de apoyo para el entrenamiento del personal que las opera.

La meta primordial del simulador es que sus usuarios aprendan a utilizar el sistema real sin tener que utilizar los propios equipos. De esta manera, la herramienta permite proponer actividades a realizar, formular escenarios de fallas, operar en una variedad de condiciones, repetir maniobras y ejercicios, exponer al operador a incidencias que son inviables utilizando los equipos reales, y supervisar el progreso del aprendizaje. Buscando instruir a los operarios de una manera eficiente, para que cuando se enfrenten a situaciones anormales o poco frecuentes sepan desenvolverse adecuadamente.

El contenido de este trabajo se divide en tres partes:

La primera parte comprende tres capítulos, el capítulo 1 presenta los aspectos generales que se han tenido en cuenta para desarrollar este trabajo de grado. El capítulo 2 comprende un marco conceptual que proporciona los aspectos básicos necesarios para la comprensión del proyecto. El capítulo 3 expone el modelo que representa el funcionamiento y comportamiento de una subestación eléctrica, base para la construcción del simulador.

La segunda parte muestra el desarrollo gradual de la herramienta siguiendo la metodología del Proceso Unificado de desarrollo "Software". Comprende tres capítulos, el capítulo 4 describe la fase de inicio, donde se realizó el análisis para la puesta en marcha del proyecto y se definió el contexto global en el que se enmarca. El capítulo 5 muestra la fase de elaboración, en ella se completan los modelos iniciados en la fase de inicio, apreciando la obtención de una arquitectura estable que guía el posterior desarrollo del sistema. El capítulo 6 expone la fase de construcción, en ella, el énfasis se encuentra en la implementación y pruebas del "software", logrando el desarrollo de una versión funcional del sistema.

La tercera y última parte comprende tres capítulos, donde se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado, y se reserva un espacio para las fuentes, incluyendo la bibliografía y los anexos.

Antes de seguir con la lectura de este documento, se recomienda considerar las siguientes sugerencias:

La forma apropiada de comprender este trabajo de investigación es comenzar la lectura desde el primer capítulo, donde se ofrecen los diversos conceptos que sitúan al proyecto en su contexto de interés. Luego se recomienda ir progresando ordenadamente a través del documento donde se plasma el desarrollo del Sistema de Simulación.

El desarrollo del Sistema de Simulación se llevó a cabo siguiendo la metodología del Proceso Unificado de Desarrollo de “Software”, por tanto para entender la parte dos, donde se exponen los avances graduales que llevaron a obtener la herramienta, sería de gran ayuda estar familiarizado con dicha metodología. Si ese no es el caso, se recomienda que antes de empezar a leer dicha parte, se revise el anexo A que ofrece información sobre el Proceso Unificado y el Lenguaje Unificado de Modelado, respectivamente.

## **PARTE I. FUNDAMENTOS**

## 1 ASPECTOS GENERALES

### 1.1 ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a los adelantos tecnológicos, y los cambios que han ocasionado en el mundo, actualmente la energía eléctrica ha reafirmado su carácter de servicio de primera necesidad. Los diferentes procesos en la industria, el comercio, las comunicaciones y las actividades cotidianas, dependen en gran medida de ésta, y requieren para su funcionamiento eficiente de una calidad adecuada de la energía.

En su concepto más amplio, la calidad de la energía eléctrica se mide en dos aspectos principalmente: el servicio, es decir su continuidad y el producto, o sea, las formas de las señales de tensión y de corriente eléctrica [Ordóñez y otros, 2004].

La continuidad del servicio implica que las configuraciones de las subestaciones<sup>1</sup> sean: flexibles, es decir, se adapten a las diferentes condiciones que presente el sistema; confiables, lo que implica que sean capaces de continuar con el suministro de energía durante un periodo de tiempo a pesar de que uno de sus componentes esté fuera de servicio; y seguras, o sea, que la continuidad del servicio tenga lugar sin interrupción alguna en presencia de fallas en los equipos de potencia.

Los dispositivos que integran el sistema eléctrico no están exentos de fallas y no es posible garantizar en un cien por cien su confiabilidad; de tal manera que, si se requiere tener una adecuada continuidad del suministro de energía, es necesario

---

<sup>1</sup> Una subestación eléctrica es el conjunto de equipos utilizados para direccionar el flujo de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional, brindar seguridad al sistema mediante sistemas de control y protección, y redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas en caso de emergencias [Ramírez 1989].

reducir al mínimo el tiempo que los elementos del sistema estén fuera de servicio o indisponibles.

Con el ánimo de mejorar su eficiencia, calidad y viabilidad, el sector eléctrico en Colombia, a partir de la expedición de las leyes 142 y 143 de 1994, presenta un nuevo esquema de funcionamiento, que permite la participación del sector privado en la prestación de los servicios públicos y plantea una descomposición de la cadena de producción en segmentos: Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización.

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), ente gubernamental encargado de regular el sector energético, buscando garantizar la calidad del servicio, a través de la resolución 061 de 2000, estableció los tiempos mínimos de indisponibilidad<sup>2</sup> y los criterios para el cálculo de las penalizaciones para quien los incumpla.

Para mantener estos índices en los niveles adecuados, Interconexión Eléctrica S. A. decidió estructurar los llamados “Manuales de Subestación”, que contienen las consignas operativas en condiciones normales, y “Planes de 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 fallas no todas las que pueden presentarse en una subestación han sido consideradas.

Dentro de la estructura de las consignas aparece como prioridad la continuidad en el servicio de transmisión de energía.

Una “consigna operativa” es un documento donde se establece el procedimiento que deben seguir los operadores para realizar una operación, como por ejemplo,

---

<sup>2</sup> 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.

sacar de línea un circuito para su posterior mantenimiento, cumpliendo con los parámetros de seguridad y enclavamientos entre los equipos de potencia.

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 y/o protección de la subestación. Las “consignas bajo falla” contienen 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.

Con el fin de reducir el tiempo bajo condiciones de emergencia, las consignas operativas y bajo falla no destructiva están diseñadas para hacer una verificación rápida de las condiciones normales de funcionamiento de la subestación.

La compilación realizada por la UIS e ISA<sup>3</sup> [Carrillo, 2003] se encuentra en gruesos manuales debido a la cantidad de información. Allí el volumen de estos manuales dificulta su uso en caso de una emergencia, en donde los tiempos son fundamentales para el restablecimiento del servicio.

Por otro lado, gracias al nivel de automatización de las subestaciones, estas pueden operar en forma remota, por lo cual el operador estará menos habituado a realizar operaciones en emergencia. Esta situación podría generar, en los momentos que se necesite habilitar la operación local, errores por parte del operador debido a la falta de práctica. Además, las anomalías en una subestación no se presentan con frecuencia, pues las tasas de falla anuales son muy pequeñas. Por ello, los

---

<sup>3</sup> Trabajo desarrollado en proyectos de grado en el Convenio ISA-UIS. [Ariza y Santamaria, 2001] [Lara, 2001] [Ferreira, 2001] [Jaimes y Leiva, 2001] [Mora, 2001] [Alvarez y Quintero, 2001] [Gutierrez y Niño, 2001] [Anteliz, 2001] [Alvarez, 2001] [Duarte y Sandoval, 2002] [Beltran, Santos y Sequeda, 2002] [Oliveros y Payares, 2003]

operadores de las subestaciones no cuentan con la experiencia necesaria para garantizar la respuesta correcta cuando se presentan eventos de falla. A pesar de esto, en las empresas no se 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 teniendo en cuenta que los casos de fallas en los equipos son muy escasos y que en la mayoría de los eventos quienes actúan son los sistemas de control y de protecciones del sistema, nace la necesidad de diseñar estrategias para la adquisición y desarrollo de habilidades y destrezas en los operadores, independientemente de que la mayoría de las maniobras de operación de las subestaciones se vayan a ejecutar de forma remota.

Esto se dificulta por 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. En transmisión, errores o funcionamientos incorrectos, pueden ocasionar salidas del sistema, daño de equipos, pérdidas de materia prima, apagones, etc., y traer pérdidas para las industrias y molestias a los usuarios. Por otro lado, con la optimización de la operación de las subestaciones, en la cual, la operación se hace de forma remota y se reduce el personal en la subestación, se debe aprovechar al máximo el recurso humano y optimizar los gastos en mantenimiento y operación. Por tanto, se requiere que el personal esté altamente calificado y entrenado para el manejo de las subestaciones de transmisión, para lograr de esta manera, minimizar los desplazamientos de personal especializado a las subestaciones.

Por lo anterior, se propone un prototipo de sistema "software" que simule el funcionamiento de las subestaciones. De esta manera, el personal que las atiende se puede entrenar en la operación y en la respuesta ante fallas en los sistemas y equipos sin poner en riesgo el sistema. Con esto se pretende complementar las actividades enfocadas a disminuir el impacto que tienen las fallas en los índices de

disponibilidad, además de ofrecer una herramienta que apoye de manera eficiente las actividades de entrenamiento continuo del personal de operación.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Proponer un sistema de simulación basado en consignas de operación normal y bajo falla que represente el funcionamiento de las Subestaciones Eléctricas de Transmisión de energía para apoyar el entrenamiento del personal que las atiende.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar las diferentes técnicas de simulación y seleccionar la más adecuada para el desarrollo del sistema de simulación.
2. Validar e implementar los modelos que representan el funcionamiento de los diferentes elementos que conforman una subestación de transmisión de energía eléctrica usando la técnica de simulación seleccionada.
3. Realizar el desarrollo del sistema, de tal forma que permita simular:
  - Maniobras en una subestación desde los niveles de operación 0 (Equipos de Patio), 1 (Caseta de Control) y 2 (Sala de Control).
  - Escenarios, que tengan en cuenta las consignas operativas y los tipos de configuración de las subestaciones eléctricas de transmisión.
  - Acciones descritas en las consignas operativas en condiciones normales y bajo falla.
4. Desarrollar un componente de registro de las acciones que se ejecuten en los escenarios de simulación que permita:

- Recrear las acciones realizadas por el usuario en una sesión de simulación.
- Informar sobre el desempeño de los usuarios del sistema.

### **1.3 DESCRIPCION DE OBJETIVOS**

La solución propuesta plantea el desarrollo de un sistema de simulación que represente el funcionamiento de una subestación eléctrica de transmisión.

Para lograr este fin, se hizo necesario indagar las diferentes técnicas de simulación, determinando la más adecuada para representar una subestación, y obteniendo unos modelos estables y confiables para el desarrollo del sistema.

La construcción del sistema de simulación se basa en la idea de aportar una herramienta que apoye el entrenamiento continuo del personal que opera las subestaciones, de tal modo que el sistema permita realizar maniobras y operaciones similares a las que ocurren en una subestación real en los diferentes niveles de operación, y además enfrentarse a situaciones de falla que no se presentan con frecuencia en su labor.

Adicionalmente el sistema debe ofrecer opciones para que el usuario pueda escoger el entorno y las condiciones en las cuales se quiera entrenar, además de permitir realizar los procedimientos descritos en las consignas.

Por otro lado, es importante llevar el registro de las acciones que un usuario hace mientras está efectuando una sesión de entrenamiento en el sistema de simulación con el fin de obtener pautas que muestren como fue su desempeño durante la simulación.

El sistema debe contar con una interfase amigable, que permita al usuario interactuar de forma sencilla con él como si estuviera en su entorno natural.

## 1.4 IMPACTO

El desarrollo de este proyecto trae beneficios al interior del sector energético, ya que con él, se pretende que el personal que atiende las subestaciones participe de una actividad de entrenamiento permanente que les permita desarrollar las habilidades y destrezas necesarias para la atención de fallas en los equipos y para la operación de las subestaciones de transmisión, procurando así, aumentar la calidad del sistema eléctrico a través del mejoramiento de los indicadores de calidad definidos por la CREG.

De esta manera se pretende disminuir los riesgos existentes en presencia de eventualidades dentro de la continuidad del servicio, minimizando los costos que esto acarrea.

La realización de esta primera versión del “software”, pretende generar la apropiación del conocimiento para el desarrollo de nuevas tecnologías que sirvan de apoyo al mejoramiento de la actividad laboral, haciendo de la simulación una herramienta importante, no sólo en los programas de entrenamiento y capacitación, sino en un futuro, como ayuda en el diseño óptimo de nuevas subestaciones.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 GENERALIDADES

La naturaleza de los cambios que tienen lugar con la incorporación de los Sistemas de Información soportados en las Tecnologías de la Información<sup>4</sup> es tal que se extiende mucho más allá de los aspectos meramente técnicos; el uso de nuevas herramientas para realizar los trabajos ha cambiado profundamente las vidas de muchas personas en el mundo. Más allá de la tecnología debe entonces incluirse una dinámica de ideas-acción que involucre administración, teoría organizacional, sociología, pensamiento de sistemas, ciencia política, psicología social, etc. Las alternativas, que desde esta vasta gama de disciplinas se generen, traen consigo más necesidades, lo cual se convierte en un ciclo.

Un ejemplo claro es la situación que enfrenta Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P., la cual cuenta con alta tecnología que le permite satisfacer los índices de calidad impuestos por los organismos de control nacionales (Comisión de Regulación de Energía y Gas, y Superintendencia de servicios públicos domiciliarios). La implantación de tales tecnologías provoca cambios en el ámbito personal (de los miembros de la organización en la forma de realización de su trabajo), social (los individuos como miembros de grupos al interior de la organización) y organizacional (ISA). Gracias a los avances tecnológicos, ISA puede evitar contratar el personal que realiza las tareas que se vienen automatizando. El personal de la organización, por otra parte, debe satisfacer unos perfiles más exigentes en áreas que eran cubiertas por varios roles en la organización.

---

<sup>4</sup> La TI, sin ser agudamente definida, es usualmente estimada como una unión de dos prácticas, las técnicas y los dispositivos, relacionados con la compilación, almacenamiento, procesamiento y distribución de datos o información. [Checkland, 1998].

Lo anterior está enmarcado en la definición de Sistema, presentada por Checkland [Checkland, 1993]: "... un todo organizado jerárquicamente, que tiene propiedades emergentes y que en principio puede sobrevivir en un medio ambiente cambiante si tiene procesos de comunicación y de control (regulación), que le permitan adaptarse a dicho medio como respuesta a las perturbaciones que en el mismo se originen".

En este caso se hace referencia a los sistemas de actividad humana (SAH), que pueden describirse como un conjunto de subsistemas interactuantes o como un conjunto de actividades interactuantes. Sin embargo, al pretender limitar un sistema de actividad humana se presentan inconvenientes dado que las actividades humanas no son susceptibles a la determinación de grados de certidumbre o precisión en su descripción. Así, cada definición del sistema se basa en un punto de vista particular.

Un analista de sistemas, al desarrollar un modelo de SAH, intenta visualizar lo que existe más que describirlo. Los modelos de sistemas se extraen de la definición de las actividades mínimas necesarias del nivel particular y se denominan modelos conceptuales. La definición raíz precisa lo que el sistema es y el modelo conceptual describe el conjunto de actividades que el sistema debe realizar [Wilson, 1993].

De lo anterior, se tiene una definición raíz que define el sistema que apoya la resolución del problema de ISA: Sistema para el Entrenamiento de los Asistentes de Subestaciones<sup>5</sup> de Transmisión de Energía Eléctrica de ISA -CTE ORIENTE- soportado en Tecnologías de Información.

Empleando entonces el concepto de sistema, se puede concebir a una organización empresarial como un todo organizado jerárquicamente, conformado por personas inmersas en una cultura organizacional, y sometidas a unas políticas establecidas, las cuales valiéndose de sus capacidades intelectuales y de medios como la tecnología, llevan a cabo procesos de comunicación, convirtiendo datos en información y conocimiento que llegan a ser el flujo que da vida a las funciones del

---

<sup>5</sup> Asistente de Subestación: Cargo que desempeña la persona responsable de supervisar, administrar, operar, controlar, interpretar y diagnosticar en una subestación eléctrica.

negocio, y le permite controlarse y sobrevivir en el entorno cambiante al que pertenece. A esta entidad abstracta que se acaba de mencionar, es a la que se hace referencia con el nombre de sistema de información [Olave 2002].

Los conceptos de sistemas y sistemas de información han sido ampliamente usados en los sistemas sociales en los que una aproximación parcial o simple para su comprensión o manejo sería poco efectiva. Libros de gran acogida en el mercado como “La Quinta Disciplina” de Peter Senge han ayudado a la divulgación y aplicación del concepto de sistema en las organizaciones, soportado por desarrollos de herramientas informáticas que apoyan la realización de sus propósitos [Zamora, 2001].

La capacidad de aprender dinámicamente, tanto en el ámbito individual como en el organizacional, es importante para poder aplicar los cambios que les permitan a las organizaciones adaptarse al entorno en el que se encuentran inmersas. Se hace necesario, por lo tanto, contar con instrumentos capaces de reflejar sistemas complejos altamente interrelacionados de manera comprensible, y de facilitar la rápida integración de la información. La integración de conocimientos en grupos dentro de las organizaciones permitirá reacciones adaptativas rápidas.

Las herramientas de simulación tienen la capacidad de apoyar este aprendizaje a través de vivencias que faciliten la comprensión de la complejidad de los sistemas, a través del cambio de modelos mentales individuales y grupales.

El propósito del sistema es: Contribuir al “Programa de Capacitación y Entrenamiento” de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P., para que el desempeño del rol “asistente de operación de la subestación” alcance el nivel de madurez deseado.

Para comprender este propósito, se usa la “metáfora del deportista”, considerando que un deportista de alto rendimiento realiza tres actividades básicas: entrenamiento físico y estratégico, simulacros de competencias y actuación en competencias en las que usa la formación recibida. Estas tres actividades son análogas a las actividades

que un usuario del departamento de operación de subestaciones de transmisión realizaría.

La simulación reúne conocimientos de varias disciplinas científicas e intenta hacer comprensibles las realidades complejas, ayudando a entender los contextos dinámicos que éstas presentan, por esta razón, es ideal en la formación para adquirir competencias integrales. El aprendizaje experiencial que permite las herramientas de simulación, favorece el cambio de esquemas mentales necesario para el aprendizaje y la evolución de las organizaciones. Esto hace de los simuladores una herramienta única para entender la realidad dinámica y compleja a la que deben enfrentarse los miembros de una organización, en este caso los asistentes de subestación.

Para entender la dinámica del sistema que se va a simular es necesario tener en cuenta tres conceptos básicos, el propio concepto de sistema, el concepto de modelo y el concepto de simulación.

## **2.2 SISTEMA**

Un sistema es una combinación de elementos o componentes con determinados atributos, interrelacionados y relacionados con el entorno, que actúan juntos para lograr un cierto objetivo. Un sistema puede estar constituido por otros sistemas más simples que realizan funciones específicas y se pueden destacar los atributos que caracterizan su conducta y que proporcionan las interrelaciones. Para este caso, los sistemas con los que se trabajará serán las subestaciones pertenecientes al CTE Oriente (CTE – Centro de Transmisión de Energía).

Un sistema puede realizar una función que no es realizable por sus componentes individuales. Los objetos o componentes que forman parte del sistema se denominan entidades. Estas entidades poseen propiedades denominadas atributos y se relacionan entre sí a través de relaciones o funciones. Estas relaciones pueden ser estáticas o estructurales, o dinámicas o funcionales.

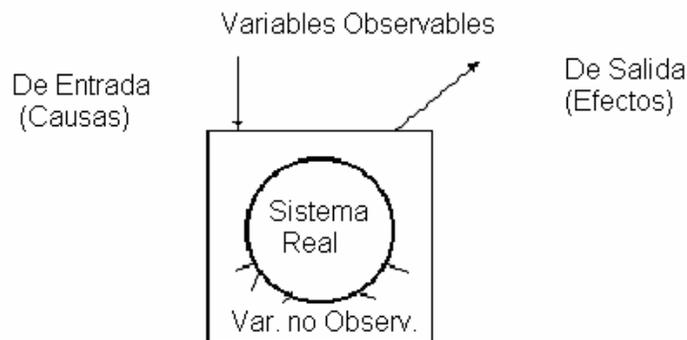
Los valores asumidos por los atributos de las entidades en un momento dado determinan el estado del sistema. El estado puede ser estático o estacionario, esto significa que se mantiene constante en el tiempo; o por el contrario, puede ser dinámico o transitorio si evoluciona con el tiempo. Un sistema puede presentar los dos tipos de conductas; generalmente, cuando inicia su funcionamiento pasa por un estado dinámico y luego alcanza un estado estacionario o de régimen.

Un estado estacionario es estable si el sistema retorna a él, luego de una perturbación. Por el contrario, un estado estacionario es inestable si el sistema se aleja de él, luego de una perturbación. Este alejamiento puede dar lugar a una respuesta acumulativa (crece o decrece continuamente, o alcanza otro estado estacionario) o a una respuesta oscilatoria (crece y decrece continuamente).

### 2.2.1 Componentes de un Sistema

- **Entidad:** Cualquier objeto o componente que requiere una representación explícita del modelo.
- **Atributo:** Denominado también variable o parámetro, es una propiedad de la entidad dada (ver Figura 1). Los parámetros son atributos que se fijan durante el diseño del sistema ya sea por el diseñador o por su naturaleza. Las variables pueden cambiar en el proceso y se clasifican en:
  - Variables de entrada o Exógenas: Fijadas por el medioambiente del sistema. Pueden ser manipulables (se fijan a voluntad)- o no.
  - Variables de salida: Junto con las variables de estado o una combinación de ellas, que son medidas o traspasan la frontera del sistema.
  - Variables internas: Variables del sistema que se utilizan para manejo del proceso pero que no son ni de entrada, ni de salida, ni parámetros.

- **Actividad:** Intervalo de tiempo específico con inicio y duración conocidos (aun cuando sea aleatoria).
- **Estado:** Valor de variables que contiene la información necesaria para describir al sistema en cualquier instante de tiempo.
- **Evento:** Ocurrencia instantánea que cambia el estado del sistema.
- **Endógeno:** Actividades y eventos que ocurren dentro del sistema.
- **Exógeno:** Actividades y eventos que ocurren en el ambiente y que afectan al sistema.



**Figura 1 Variables de un sistema real**

### 2.2.2 Tipos de Sistemas

De acuerdo con su naturaleza, un sistema puede ser clasificado como [Law y Kelton, 1991]:

- **Determinístico:** Si el sistema no contiene ningún elemento aleatorio. En este tipo de sistema, las variables de salida e internas quedan perfectamente determinadas al especificar las variables de entrada, los parámetros y las

variables de estado. Es decir, las relaciones funcionales entre las variables del sistema están perfectamente definidas.

- **Estocástico:** En este caso algún elemento del sistema tiene una conducta aleatoria. Entonces, para entradas conocidas no es posible asegurar los valores de salida. Cuando un sistema determinístico es alimentado con entradas estocásticas, la respuesta del sistema es también estocástica. Por ejemplo, la temperatura ambiente es una variable estocástica que afecta la respuesta del calentador eléctrico. En el mundo real, los sistemas siempre tienen elementos estocásticos ya sea por su propia naturaleza o porque son fenómenos no comprendidos actualmente; por ejemplo, a un cavernícola le podía parecer que los eclipses eran fenómenos aleatorios, hoy ellos se pueden predecir. Sin embargo, se puede considerar a un sistema real como un sistema determinístico si su incertidumbre es menor que un valor aceptado.
- **Continuo:** Se tiene un sistema continuo cuando las relaciones funcionales entre las variables del sistema sólo permiten que el estado evolucione en el tiempo de forma continua (basta que una variable evolucione continuamente). Matemáticamente, el estado cambia en infinitos puntos de tiempo.
- **Discreto:** Se tiene un sistema discreto cuando las relaciones funcionales del sistema sólo permiten que el estado varíe en un conjunto finito de puntos temporales. Las causas instantáneas de los cambios de estados se denominan eventos. El interruptor del calentador es un subsistema discreto porque la intensidad sólo puede variar en los instantes que se abre o se cierra el interruptor. La apertura y el cierre del interruptor son eventos. Un sistema continuo puede comportarse en forma discreta si las entradas son discretas. Los sistemas reales son combinaciones de sistemas continuos y discretos. La forma de tratarlos se adopta de acuerdo con la característica dominante.

## 2.3 MODELOS

Los modelos son un mecanismo potente para explicar la realidad, es por ello que los científicos en las distintas áreas los utilizan para entender los hechos que estudian.

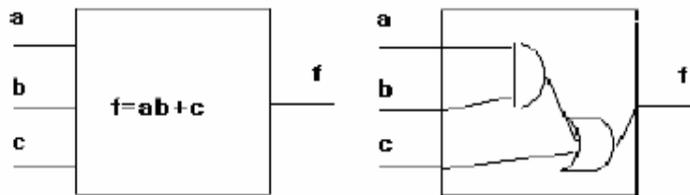
Un modelo es una representación de un objeto, sistema, o idea. Usualmente, su propósito es ayudar a explicar, entender o mejorar un sistema [Shannon, 1988]. En el contexto de un trabajo de simulación, los modelos son la base para su implementación. Un modelo de un sistema es un esquema de su funcionamiento básico, es una abstracción de la realidad que captura la esencia funcional del sistema, con el detalle suficiente como para que pueda utilizarse en la investigación y la experimentación en lugar del sistema real, con menos riesgo, tiempo y costo.

La teoría matemática de sistemas provee un marco para representar y estudiar sistemas dinámicos, distinguiendo entre la estructura o constitución interna del sistema y su comportamiento o su manifestación exterior.

Si el modelo sólo permite observación del comportamiento, se llama modelo de comportamiento o caja negra. En este caso, lo único que se considera son las entradas/salidas del modelo. Cuando se considera el comportamiento de un sistema, se pueden usar representaciones causales y empíricas. Las empíricas son registros reales de datos (historia en el tiempo de las variables) tomadas del sistema real. En cambio las relaciones causales se integran en unidades que pueden generar datos empíricos.

Si el modelo representa la estructura del sistema modelado, se llama modelo estructural o caja blanca. En este caso, se explicitan los componentes del sistema real (que pueden ser modelos comportamentales simples). Aquí entran en juego conceptos de descomposición (como dividir un sistema en componentes), Una tercera relación fundamental es la taxonomía que concierne las variantes admisibles de un componente y sus especializaciones.

Definiendo los componentes y las uniones se puede construir un modelo complejo con base en componentes simples.



**Figura 2 Modelo de Comportamiento y Estructural**

Los modelos y su implementación sufren simplificaciones por la complejidad del sistema a modelar. Esta complejidad puede ser de dos tipos:

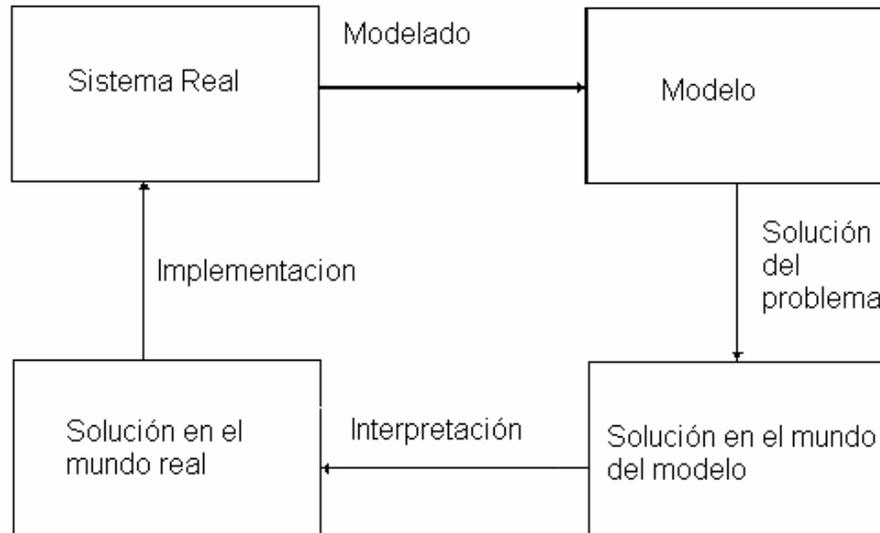
- Cualitativa: depende de la semántica del paradigma. Toma en cuenta la naturaleza variable de los constituyentes del sistema.
- Cuantitativa: depende del número de constituyentes del modelo. Está ligado al sistema modelado y no al paradigma usado.

Si se desea reducir la complejidad, debe reducirse alguna de ambas, ya sea la del paradigma, o la cantidad de constituyentes en la formulación del modelo.

Un modelo de simulación representa los aspectos más importantes del sistema real que se quiere imitar. El modelo se desarrolla con base en supuestos sobre la operación del sistema. Estos supuestos se expresan mediante relaciones matemáticas, lógicas y simbólicas entre las entidades del sistema. Una entidad es un objeto que interesa representar en el modelo.

Una vez desarrollado y validado el modelo, se puede utilizar para investigar una amplia gama de preguntas sobre el comportamiento del sistema. Los cambios potenciales al sistema real se pueden simular para predecir su impacto en el

desempeño. La simulación se puede utilizar para estudiar sistemas en su fase de diseño, antes de que se construyan. La simulación se utiliza, también, como una herramienta de análisis para predecir el efecto que tendrán los cambios en el sistema en su desempeño y como herramienta de diseño para predecir el desempeño de nuevos sistemas ante diferentes situaciones.



**Figura 3 Proceso de Modelado**

## 2.4 SIMULACIÓN

La simulación es una disciplina que lleva más de 40 años de antigüedad, y aún está en un continuo crecimiento. La aparición de la computadora hizo que la simulación pudiera apoyarse en una herramienta, permitiendo la modelización y simulación de problemas complejos que pueden aplicarse a muy diversos campos de la ingeniería, ciencias, economía, estadística, sociología, etc.

Con el avance de la tecnología y en particular el creciente desarrollo de los microcomputadores, se abre un mundo de nuevas prestaciones y posibilidades que anteriormente eran impensables para equipos de bajo costo. Dentro de este ámbito

surge la técnica de la simulación como una herramienta que ha demostrado importantes utilidades y todo tipo de aplicaciones [Wallace y Regan, 1998].

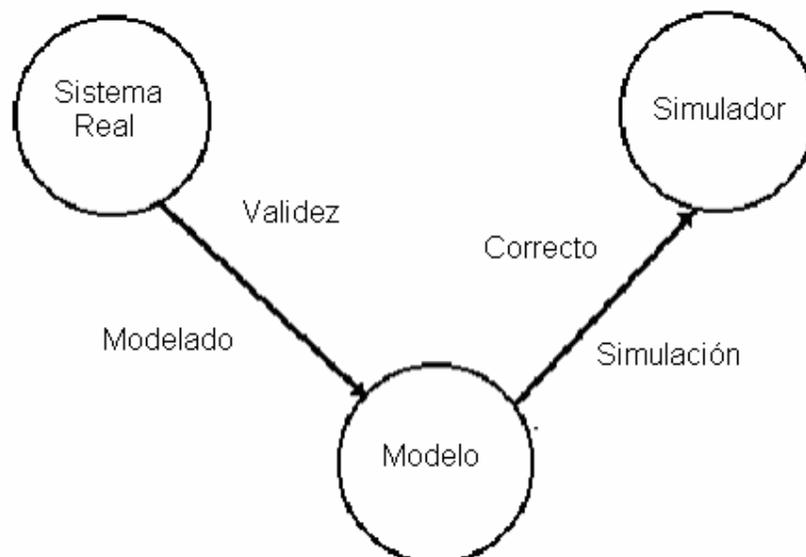
La simulación es el empleo de un modelo para representar características esenciales de un sistema o proceso que se estudie. La dinámica del comportamiento del sistema representado puede inferirse por el funcionamiento del modelo. La simulación permite conocer el comportamiento emergente de todo el conjunto y es una técnica que ha sido eficientemente utilizada para el análisis de sistemas complejos.

La simulación requiere tener en cuenta los sistemas, es decir el ámbito donde se aplicará, el modelo, o lo que es lo mismo la acotación del problema del mundo real para después, trasladar el resultado de esta modelización a una computadora [Scott, 1997].

La simulación puede intervenir en cualquiera de las fases del ciclo de vida del sistema, tanto en la concepción del mismo, como en su diseño preliminar y consiguiente estudio de factibilidad, en el diseño detallado y en la fase de construcción para proceder a evaluaciones y asesoramientos, o en la fase de utilización y mantenimiento para poder evaluar escenarios alternativos y encontrar respuestas a preguntas del tipo “qué pasaría si”. Por lo tanto, simular un sistema requiere generar una historia artificial, su análisis permite inferir las características del sistema real.



**Figura 4 Interacciones en una Simulación**



**Figura 5 Relaciones entre Modelado y Simulación**

El sistema real es la parte del mundo real en la que uno se interesa y genera datos de comportamiento. El **sistema real** se ve como una fuente de datos. El sistema tiene algunas variables observables y otras no. Al crear el modelo, deben construirse relaciones de entrada/salida de forma tal que una variación de entrada,

se pueda observar en una variación de salida, similar a como ocurre en el sistema real. Si los elementos de entrada son discretos, el modelo también debe serlo.

El objetivo de la construcción de un modelo es el desarrollo de una representación simplificada y observable del comportamiento y/o estructura del sistema real. Un modelo es simplificador, un filtro de la realidad, no la representa ni de forma exacta ni de forma completa. La definición del modelo debe incluir además las condiciones de funcionamiento del sistema real y los dominios de aplicación (hay que definir sus condiciones reales de utilización).

El **modelo** es un conjunto de instrucciones para generar datos comparables a los observables en el sistema real. La estructura del modelo es su conjunto de instrucciones. El comportamiento del modelo es el conjunto de todos los datos posibles que pueden ser generados ejecutando las instrucciones del modelo. Permite generar estos datos de comportamiento. El modelo de base especifica el comportamiento de todas las relaciones de entrada/salida que se construyen, y el modelo simplificado reduce el número de componentes o el nivel del paradigma para observar el comportamiento.

El **simulador** ejecuta las instrucciones del modelo para generar su comportamiento.

La relación de **modelado** define la forma como el modelo representa al sistema o la entidad modelada. En términos generales, un modelo puede considerarse válido si los datos generados coinciden con los producidos por el sistema real en un marco experimental de interés (**validez** del modelo conceptual).

La relación de **simulación** relaciona al modelo con el simulador, y representa la aproximación que tiene el simulador al llevar a cabo las instrucciones del modelo. Concierno a la exactitud con la cual el computador trata las instrucciones del modelo.

La importancia de la Simulación radica en que, salvo la experimentación con el sistema real, es la única técnica disponible para el análisis de sistemas con

conductas arbitrarias. En general, es aplicable donde las técnicas analíticas no aportan soluciones o tienen un tratamiento muy complejo, y permite responder a preguntas como: ¿qué pasa si? (Ciencia, problema directo) ¿qué debo hacer para? (Ingeniería, problema inverso) y puede permitir:

- Profundizar en el conocimiento sobre los mecanismos internos de un proceso.
- Prever el comportamiento del sistema bajo diferentes situaciones.
- Evaluar las prestaciones de diferentes tipos de controladores.
- Estimar variables de proceso que no son medibles directamente.
- Evaluar la sensibilidad de un sistema a cambios en sus parámetros.
- Organizar la producción de un sistema.
- Experimentar bajo condiciones de operación que podrían ser peligrosas o de elevado costo económico en el sistema real.

De acuerdo con la naturaleza del modelo empleado, la simulación puede ser de varios tipos [Fishman, 1978]:

**Identidad:** Es cuando el modelo es una réplica exacta del sistema en estudio; la utilizan las empresas automotrices cuando realizan ensayos de choques de automóviles con unidades reales.

**Cuasi-identidad:** Se utiliza una versión ligeramente simplificada del sistema real. Por ejemplo, los entrenamientos militares que incluyen movilización de equipos y tropas sin que se lleve a cabo una batalla real.

**Laboratorio:** Se utilizan modelos bajo las condiciones controladas de un laboratorio. Se pueden distinguir dos tipos de simulaciones:

- **Juego operacional:** Personas compiten entre ellas, ellas forman parte del modelo, la otra parte consiste en computadores, maquinaria, etc. Es el caso de una simulación de negocios donde los computadores se limitan a recolectar la información generada por cada participante y a presentarla en forma ordenada a cada uno de ellos.
- **Hombre-Máquina:** Se estudia la relación entre las personas y la máquina. Las personas también forman parte del modelo. El computador no se limita a recolectar información, sino que también la genera. Un ejemplo de este tipo de simulación es el simulador de vuelo.

**Simulación por computador:** El modelo es completamente simbólico y está implementado en un lenguaje computacional. Las personas quedan excluidas del modelo. Un ejemplo es el simulador de un sistema de redes de comunicación donde la conducta de los usuarios está modelada en forma estadística. Este tipo de simulación a su vez puede ser digital cuando se utiliza una computadora digital y analógica cuando se utilizan elementos analógicos (computadores analógicos, modelos físicos, etc.).

Dentro del trabajo que se realizó, la simulación por computador presenta mayor interés. Un simulador está compuesto por el modelo, el evaluador y la interfase de usuario, los cuales son descritos en la Tabla 1.

<b>SIMULACIÓN POR COMPUTADOR</b>	
<b>El Modelo</b>	Es una representación simbólica del sistema. Puede ser un conjunto de ecuaciones, reglas lógicas o un modelo estadístico.
<b>El Evaluador</b>	Es el conjunto de procedimientos que procesarán el modelo para obtener los resultados de la simulación. Puede contener rutinas para la resolución de sistemas de ecuaciones, generadores de

	números aleatorios, rutinas estadísticas, ...
<b>La Interfase</b>	Es la parte dedicada a interactuar con el usuario, recibe las acciones del mismo y presenta los resultados de la simulación en una forma adecuada.

**Tabla 1 Simulación por computador**

### 2.4.1 Etapas de un Proceso de Simulación

Las etapas definidas por Coss [Coss, 1998] para realizar un estudio de simulación son:

**Definición del sistema.** Para tener una definición exacta del sistema que se desea simular, es necesario hacer primero un análisis preliminar del mismo. Esto permite determinar la interacción del sistema con otros sistemas, las restricciones, las variables que interactúan y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir y estudiar el sistema, y los resultados que se esperan del estudio.

**Formulación del modelo.** Cuando estén definidos con exactitud los resultados esperados, se debe definir y construir el modelo con el cual se obtendrán los resultados deseados. En la formulación del modelo es necesario definir todas las variables que forman parte de él, sus relaciones lógicas y los diagramas de flujo que lo describen.

**Colección de datos.** Es posible que la facilidad de obtención de algunos datos o la dificultad de conseguir otros, pueda influenciar el desarrollo y formulación del modelo. Por consiguiente, es muy importante que se definan con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para producir los resultados deseados. Normalmente, la información requerida por un modelo se puede obtener de registros.

**Implementación del modelo en el computador.** Es la parte donde se escoge el programa o se decide si es necesario el desarrollo de un “software” especial.

**Validación.** Es la parte donde se detectan los errores y las deficiencias del modelo.

**Experimentación.** Consiste en generar los datos deseados y en realizar los análisis de sensibilidad requeridos.

**Interpretación.** Corresponde a la etapa en que se interpretan los datos que arroja la simulación para tomar una decisión.

**Documentación.** Corresponde a los manuales técnicos y de usuario que facilitan la actualización, la interacción y el uso del modelo.

#### **2.4.2 Clasificación de los Modelos de Simulación**

La simulación de eventos discretos y continuos es una técnica que típicamente se ubica como una herramienta dentro de la Ingeniería Industrial. Se considera que es una técnica joven, fortalecida por el computador personal y los nuevos lenguajes de programación.

Los modelos de simulación se clasifican en:

- Estático o Dinámico: ¿Juega el tiempo un papel en el modelo?
- Continuos o Discretos: ¿Puede el “estado” cambiar continuamente o sólo cambiar en algunos instantes de tiempo?
  - Continuo: Se tiene un sistema continuo cuando las relaciones funcionales entre las variables del sistema sólo permiten que el estado evolucione en el tiempo en forma continua (basta que una variable evolucione continuamente). Matemáticamente, el estado cambia en infinitos puntos de tiempo.

- Discreto: Se tiene un sistema discreto cuando las relaciones funcionales del sistema sólo permiten que el estado varíe en un conjunto finito (contable) de puntos temporales. Las causas instantáneas de los cambios de estados se denominan eventos. Un sistema continuo puede comportarse en forma discreta si las entradas son discretas. Los sistemas reales son combinaciones de sistemas continuos y discretos. La forma de tratarlos se adopta de acuerdo con la característica dominante.
- Determinístico o Estocástico: ¿Es todo cierto o existe incertidumbre?
  - Determinístico: Si el sistema no contiene ningún elemento aleatorio es un sistema determinístico. En este tipo de sistema, las variables de salidas e internas quedan perfectamente determinadas al especificar las variables de entrada, los parámetros y las variables de estado. Es decir, las relaciones funcionales entre las variables del sistema están perfectamente definidas.
  - Estocástico: En este caso algún elemento del sistema tiene una conducta aleatoria. Entonces, para entradas conocidas no es posible asegurar los valores de salida. Un ejemplo de sistema estocástico es una máquina tragamonedas en la cual una misma acción (tirar la palanca) genera un resultado incierto (ganar o perder). Cuando un sistema determinístico es alimentado con entradas estocásticas, la respuesta del sistema es también estocástica. En el mundo real, los sistemas siempre tienen elementos estocásticos ya sea por su propia naturaleza o porque son fenómenos no comprendidos actualmente. Sin embargo, se puede considerar a un sistema real como un sistema determinístico si su incertidumbre es menor que un valor aceptado.

### **2.4.3 Simulación por Computador**

La simulación por computador es aquella disciplina que involucra por un lado, diseñar el modelo de un sistema físico-teórico o real y por otro ejecutar el modelo en una computadora digital, valiéndose luego de los resultados del mismo para fines bien determinados [Fishwick, 1994].

La misma se utiliza cuando las pruebas sobre el sistema real no son factibles porque sobrepasan los límites aceptables de tiempo, costo y/o seguridad de las personas. Se desarrolla entonces un modelo matemático para el sistema físico utilizando las leyes físicas que describen el problema. Este modelo es luego traducido en términos de un programa de computadora para generar la solución del problema. Este programa en ejecución representará entonces una aproximación discreta al sistema en el mundo real [Arsham, 2001].

Como toda disciplina, puede dividirse en Metodología y Aplicaciones. La simulación cuenta con un núcleo teórico de conocimiento que es independiente del mundo de las aplicaciones. Esta teoría se aplica a tres sub-campos de la simulación: Diseño del modelo, ejecución del modelo y análisis de la ejecución.

#### **2.4.4 Avances de la simulación por computadora – Las APIs**

El campo de la simulación por computadoras es de alrededor de 40 años de antigüedad, y aún está en un continuo crecimiento. Al desarrollarse hardware cada vez más rápido, con arquitecturas optimizadas y con mayores capacidades, las viejas formas de simulación han progresado notoriamente y nuevos métodos de simulación emergen con prestaciones antes inimaginables [Fishwick, 1994].

Tradicionalmente los equipos y costos de desarrollo han sido muy altos para simulaciones con capacidades y realismo adecuados, pero los avances en los computadores personales y las tecnologías asociadas han reducido dramáticamente los costos de crear ambientes realistas virtuales. Nos encontramos en un momento en el que existe la posibilidad de crear simuladores accesibles, basados en arquitecturas de microcomputadores con componentes estándares, para aplicaciones que tradicionalmente requerían sistemas basados en estaciones de trabajo de muy alto costo, supercomputadoras o equipos específicos para simulación con dispositivos gráficos especiales [Jackson, Rearman y McGinnis, 1999][Wallace y Regan, 1998]. Además, los nuevos sistemas operativos (Windows NT, Linux, OS/2), lenguajes orientados a objetos (C++, Java), bibliotecas de todo tipo aplicables a la simulación (C++SIM, SLX) y APIs gráficas estándares (MESA,

OpenGL, DirectX, Fahrenheit), proveen facilidades en la programación que llevan a ahorrar miles de horas/hombre en el desarrollo de nuevos simuladores.

Los elementos de ingeniería de software, tiempo de desarrollo de código fuente y facilidad de mantenimiento eran un problema en los microcomputadores. Las demandas de alto rendimiento no permitían explotar los beneficios de las APIs independientes de la máquina, exigiendo el desarrollo de programas centrados en quitar el máximo provecho a la computadora y no en obtener los resultados más convenientes de una técnica de simulación. Sin embargo, para que un sistema de software sea de mantenimiento sencillo se debe proveer una solución que sea portable y re-utilizable [Kelty, Beckett y Zalcman, 1999]. El objetivo debe ser asegurar que el costo de desarrollo del sistema se mantenga alrededor de un nivel mínimo sobre el ciclo completo de vida. El uso de APIs estándares reduce el costo total sobre su tiempo de vida. A pesar de que el remover código fuente para pasarlo a una interfaz de alto nivel puede causar una sensible degradación en el rendimiento, el continuo avance del hardware y uso de nuevas técnicas compensa esta pérdida.

A esto se suma la ventaja de que el hardware puede ser actualizado sin reescribir código, lo que en otro caso hubiera significado un costo muy alto como para mantener proyectos de simulación. La abstracción del hardware a través del uso de manejadores de dispositivos e interfaces de aplicación es necesaria para asegurar que el código sea portable entre dispositivos de hardware. El grado de maduración de los sistemas operativos para microcomputadoras actuales permite contar con este tipo de requerimientos.

## **2.4.5 Clasificación de la Simulación**

### **2.4.5.1 Según el contexto en el que se desenvuelve**

### ➤ **Simulación por Análisis Matemático**

Modelo matemático que representa un fenómeno a simular. Parte del uso correcto de teorías probabilísticas y matemáticas para reproducir un sistema de forma abstracta, obteniendo del mismo una serie de valores que expresan cuantitativamente el resultado esperado y en base al cual se puede luego obtener conclusiones válidas.

### ➤ **Simulación en Tiempo Real**

Aquella donde se requiere que la ejecución del programa de computadora de un modelo de proceso dinámico ocurra en el tiempo del mundo real, es decir, ni más rápido ni más despacio que el fenómeno a simular, representándolo tal como ocurre en la realidad [Cleveland y otros, 1997]. Esta forma de simular ofrece una representación mucho más realista y tangible del sistema a simular, permitiendo una evaluación tanto cualitativa como cuantitativa de los resultados, que a la vez son mucho más fáciles de deducir. Esta es una técnica por la cual un sistema físico puede ser representado matemáticamente por un programa de computadora para resolver un problema.

## **2.4.5.2 Según la forma en que se simula el sistema**

### ➤ **Procesamiento por lotes (Batch Processing)**

Cuando las entradas de control para el sistema pueden determinarse y programarse. Estas entradas son pasadas a una computadora junto con el programa que realiza la simulación para su ejecución en una serie de casos también predeterminados. El programa entra en ejecución tan rápido como la computadora permita hasta devolver los resultados esperados [Cleveland y otros, 1997].

### ➤ **Interactiva (Human-In-The-Loop)**

En los eventos donde las entradas de control necesarias para la simulación son por naturaleza dinámicas o no pueden estar predeterminadas, el término simulación es aplicable sólo a aquella que involucra restricciones de Tiempo Real. Esta forma

requiere una correspondencia estricta entre el tiempo del programa de computadora y el tiempo del mundo real. Igualmente se requiere que las entradas de control estén sincronizadas en el tiempo y no pueden representar proporciones bajo alguna escala de tiempo. Esta forma de simular también recibe el nombre de Pilot-In-The-Loop [Cleveland y otros, 1997].

#### ➤ **Máquina en la Iteración (Hardware-In-The-Loop)**

Aplicable a eventos con las mismas restricciones que en la simulación Human-In-The-Loop, con la diferencia que se implementa algún proceso o dispositivo que hace las veces de órgano de control, suficientemente realista como para que suplante (simule) al órgano de control del sistema real. Esta forma de simular también recibe el nombre de Computer-In-The-Loop [Cleveland y otros, 1997].

### **2.4.5.3 Según la Forma de Actualización**

#### ➤ **Actualización basada en el Tiempo**

El modelo se actualiza regularmente cada cierto intervalo de tiempo. El Tiempo de Simulación avanza previo a cada actualización, y cada una de estas busca cambiar el estado actual del modelo tal que sea válido, o sea, se corresponda con el Tiempo de Simulación actual. El intervalo de actualización puede ser único si existe un solo modelo o múltiple si existen varios modelos, cada uno con un intervalo propio [Ly, 1999].

#### ➤ **Actualización basada en el Eventos Discretos**

Son sistemas dinámicos que evolucionan en el tiempo por medio de la aparición de eventos en intervalos de tiempo no regulares. Este arribo de eventos altera el sistema causando que el mismo pase de un estado a otro [Ly, 1999].

### **2.4.5.4 Según la Escala y el Foco de Interés**

### ➤ **Microsimulación**

Cuando se analiza un fenómeno a nivel de grandes cantidades de elementos cuyas dimensiones y factores descriptivos son notablemente menores al área del fenómeno descrito, siendo más relevante el comportamiento y la tendencia global antes que la descripción minuciosa de cada uno de los elementos componentes [Arsham, 2001][Fishwick, 1994][Pursula, 1999].

### ➤ **Macrosimulación**

Cuando las dimensiones de los elementos y los factores que envuelven al sistema son todos notables a un alto nivel de precisión. En este tipo de sistemas convencionales interesa conocer todos los más íntimos detalles de una cantidad normalmente reducida de elementos y factores que rodean al fenómeno simulado [Pursula, 1999].

### ➤ **Mesosimulación**

Cuando se analiza un fenómeno considerando un nivel intermedio entre las escalas mencionadas con anterioridad. En este caso, la simulación no se centra en una situación o en un sistema definido, sino que hace hincapié en el análisis de un grupo de elementos bien determinados con el objetivo de conocer sus reacciones y darles un seguimiento completo desde que entran y hasta que salen del sistema [Pursula, 1999].

### ➤ **Nanosimulación**

Es un tipo especial de microsimulación donde el objetivo se centra en el análisis del comportamiento humano. En este campo interesa la descripción sistemática de las debilidades del sistema de percepción y reacción humano.

## **2.4.6 Terminología utilizada en el ámbito de la simulación**

Son muchos los términos que se encuentran en el ámbito de la simulación, pero los usados con más frecuencia son [Arsham, 2001]:

- **Estado:** Una variable que caracteriza un cierto nivel o valor descriptivo del sistema.
- **Evento:** Un suceso que incide en un punto del tiempo que tiene la capacidad de alterar el estado del sistema.
- **Entidad:** Todo objeto identificable que es reconocido por el modelo como parte integrante del sistema.
- **Cola:** Referente a una lista de entidades o tareas en espera de ser atendidas sistemáticamente por el modelo.
- **Creación:** Relativo al arribo de una nueva entidad o tarea al sistema en algún momento futuro.
- **Planificar:** Asignar un evento futuro a una entidad existente.
- **Inicialización:** Mecanismo que establece el estado inicial de la simulación.
- **Dinámica del Sistema:** Estudio riguroso de problemas en el comportamiento de sistemas, utilizando principios de realimentación, dinámica y simulación caracterizado por una búsqueda de soluciones útiles a problemas reales en su entorno por medio de modelos de simulación por computadora tal que se pueda comprender mejor el problema y encontrar vías de solución. Los modelos de simulación se basan en modelos mentales, cualitativos y técnicas numéricas.

## 2.4.7 Disciplinas útiles a la Simulación

### 2.4.7.1 Inteligencia Artificial (IA)

Ciencia que permite introducir a los modelos de simulación el uso del lenguaje natural y del conocimiento cualitativo.

La mayoría de los procesos humanos involucran el intercambio de conocimiento por medio del lenguaje natural, por lo que se debe contar con un mecanismo de

traducción de información cualitativa a las estructuras de los sistemas artificiales, que manejan información cuantitativa. Este mapeo cualitativo-cuantitativo es mejor tratado utilizando técnicas de IA.

La IA también brinda un marco acabado respecto a la codificación del proceso de toma de decisiones: La simulación involucra una continua toma de decisiones dado el estado del sistema. Las decisiones más correctas pueden ser guiadas por sistemas de búsqueda, reglas y modelos matemáticos, así como por sistemas expertos o Agentes Inteligentes [Fishwick, 1994].

#### **2.4.7.2 Paradigma de Orientación a Objetos (OO)**

El objetivo central de la simulación consiste en encontrar el mapeo más efectivo entre el mundo real con sus objetos<sup>6</sup> y un programa de computadora. La forma más directa de obtener un modelo que logre este mapeo es utilizar un lenguaje de programación que permita la definición de objetos abstractos tal que éstos se correspondan con los objetos reales.

Los mayores beneficios de la programación orientada a objetos incluyen la reutilización de código, un mantenimiento más fácil, interoperabilidad y la creación rápida de prototipos.

Además, el uso de objetos se ha demostrado útil para paralelizar procesos de simulación en el que múltiples entidades pueblan un ambiente, y sus cálculos pueden distribuirse en una red de computadoras [Pursula, 1999].

Los dos mayores acercamientos para la reutilización de código en los diseños orientados a objetos son la herencia de clases y la composición de objetos. Cada acercamiento tiene sus ventajas y desventajas.

---

<sup>6</sup> El mundo real representa la escena y el ambiente, y sus objetos representan los actores y agentes que se desenvuelven en ella e interactúan entre sí [Fishwick, 1994].

### ➤ Herencia

La herencia permite que subclases extiendan y especialicen una clase padre agregando datos, métodos, y permitiendo el uso del polimorfismo. Las clases generales se ponen más arriba en la jerarquía de herencia y los objetos especializados más abajo, por lo que muchas subclases pueden reutilizar a la clase padre. Sin embargo, la herencia rompe la encapsulación exponiendo la implementación de la clase padre a sus subclases. Cambios en la implementación de la clase padre normalmente implica cambios en las subclases. Problemas de herencia múltiple y los requerimientos de compilación diluyen el valor de la herencia para la reutilización. La herencia promueve las dependencias implementativas.

### ➤ Composición de objetos

La composición de objetos es la construcción de una clase utilizando instancias de otras clases como componentes. Debido a que las clases componentes son accedidas a través de su interfaz (métodos públicos), la encapsulación no se rompe y existen menos dependencias de implementación. La composición de objetos, sin embargo, es más difícil. Requiere que las clases componentes tengan interfaces bien definidas para promover la reutilización. Además, los objetos deben respetar esas interfaces ya que no se tienen detalles de su implementación. Finalmente, la composición de objetos hace que tengamos numerosas y pequeñas clases componentes, ya que cada componente debe realizar pocas tareas. Esto usualmente requiere muchas interrelaciones entre las clases componentes que normalmente se encapsularían en una clase mayor.

La modelización en este paradigma no desecha por completo el paradigma imperativo. Enfocar el diseño por medio de objetos no elimina el provecho que pueda quitársele a procesos y actividades, ya que estos últimos permiten modelar las transiciones de estados como parte del comportamiento de los objetos de una forma natural.

La orientación a objetos permite además crear metáforas del mundo real para ciertas tareas, mediante estructuras de datos y procesos que permiten

representarlas de forma abstracta. Luego, estas metáforas pueden ser insertadas dentro de programas en los cuales sólo será necesario definir el contexto en el cual la metáfora se desempeñará, evitando así entrar en sus detalles implementativos.

### **2.4.7.3 Redes Neuronales (NN)**

Existen dos aproximaciones utilizadas en la aplicación de las redes neuronales a la simulación:

- Como un modelo de comportamiento para vincular la entrada de un sistema genérico con su salida. La red neuronal actúa como repositorio de comportamiento de cualquier sistema.
- Como un modelo de la actividad del cerebro y del comportamiento humano. El sistema en cuestión cumple el papel de elemento pensante, y su modelo se somete a validación por medio de la contrastación respecto a datos empíricos obtenidos bajo experimento.

Las redes neuronales son ampliamente utilizadas en aquellos campos donde se desea captar la esencia de ciertos sistemas [Fishwick, 1994], o donde se considera muy difícil o costoso determinar el estado de un sistema mediante mecanismos convencionales. El principal efecto negativo respecto a la simulación es el costo computacional que implica, lo que lo vuelve prohibitivo para la mayoría de los simuladores, especialmente si éstos tienen restricciones de tiempo real.

### **2.4.7.4 Lógica Difusa**

Complementa la utilización de redes neuronales con las mismas aplicaciones. La idea de la lógica difusa es la de aproximar el proceso de toma de decisión humano en términos del lenguaje natural en vez de términos cuantitativos clásicos. Se crea entonces un modelo de simulación comportamental equivalente a un modelo probabilístico, pero asumiendo que no se cuenta con suficientes indicadores como para valerse de la estadística.

#### **2.4.7.5 Computación Paralela y Distribuida**

La simulación normalmente genera demasiada carga en la computadora en la cual el modelo se ejecuta. Para acelerar la ejecución del modelo y optimizar el uso de la arquitectura de la computadora se recurre normalmente a la paralelización de algoritmos. Además, los procesos pueden distribuirse en varias computadoras interconectadas entre sí para lograr un mayor rendimiento. De esta manera se permite además distribuir el modelo entre un conjunto de computadoras especializadas en determinadas tareas, logrando así un sistema colaborativo de alta eficiencia. Las desventajas de utilizar estas técnicas residen en la necesidad de modelar el problema de forma tal que las tareas puedan fraccionarse, sincronizarse, controlar la carga de cada nodo, reducir la dependencia entre las partes, reducir la carga del medio de comunicación considerando el retraso que generan y solucionar problemas respecto a las restricciones de tiempo. Además debe existir un mecanismo que guíe y regule la localización de los datos, así como su consistencia [Fishwick, 1994].

#### **2.4.7.6 Gráfica Computarizada**

Los resultados de cualquier simulación pueden ser entendidos fácilmente en muchos casos con la simple revisión de una salida gráfica, ya sea en forma de tablas o diagramas, o a través de gráficos dinámicos que muestran la evolución del sistema a través del tiempo.

En simuladores interactivos, la calidad gráfica y velocidad de respuesta permiten que la simulación sea una mejor experiencia y se aproveche mejor.

#### **2.4.8 Análisis, verificación y validación de los simuladores**

Un simulador es una representación del mundo en una forma disminuida y controlada. Como tal, puede contener errores tanto de concepto como de implementación, que deben ser cuidadosamente revisados. El análisis de sensibilidad trata con la evaluación de las medidas de rendimiento respecto a los

parámetros de interés, provee guía para el diseño y las decisiones operacionales, además juega un papel muy importante en la identificación de los parámetros más significativos, así como en los cuellos de botella de los subsistemas. Existen tres procesos de análisis básicos [Arsham, 2001]:

#### **2.4.8.1 Lo que incluye el Análisis Descriptivo**

##### **➤ Identificación y formulación del problema**

Identificar las entradas controlables y no controlables, identificar las restricciones a las que están atadas las variables, definir la medida del rendimiento del sistema y una función objetivo, desarrollar una estructura preliminar del modelo para interrelacionar las entradas y la medida de rendimiento.

##### **➤ Recolección de datos y análisis**

Independientemente del método utilizado para recoger los datos, la decisión de cuanto recoger es una compensación entre costo y certeza.

##### **➤ Desarrollo del modelo de simulación computarizado**

Adquirir suficiente entendimiento del sistema para desarrollar un modelo conceptual, lógico y de simulación apropiado es una de las tareas más difíciles en el análisis de la simulación.

##### **➤ Validación del modelo**

Se puede dividir en tres tipos:

- *Validación:* Está interesada en la correspondencia entre el modelo y la realidad. El término validación se aplica a aquellos procesos que buscan determinar si una simulación es o no correcta respecto al sistema real, comparando la salida del modelo con el comportamiento del fenómeno.

- *Verificación:* Enfoca la consistencia interna del modelo. La verificación revisa si la implementación del modelo de simulación corresponde a la realidad, comparando el código programado con el modelo para asegurar que ese código es la correcta implementación del modelo.
- *Calibración:* Revisa si los datos generados por la simulación cuadran con los observados. Consiste en poner a punto los parámetros existentes respecto a los verdaderos resultados sin agregar nuevos parámetros.

➤ **Análisis de entrada y salida**

Realiza un chequeo intensivo en los datos de entrada incluyendo variables externas, aleatorias y determinísticas.

➤ **Evaluación del rendimiento del simulador.**

#### **2.4.8.2 Lo que incluye el Análisis Prescriptivo**

➤ **Optimización**

Requiere una simulación intensiva para construir una función de aproximación de la respuesta.

#### **2.4.8.3 Lo que incluye el análisis Post-Prescriptivo**

➤ **Estimación de la sensibilidad**

Necesario para comprender las relaciones significativas entre los objetos o datos de modelos complicados.

### **2.5 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

En los grandes sistemas de energía eléctrica los centros de consumo se encuentran alejados de los centros de generación y por cuestiones técnicas, las tensiones a que se genera electricidad son relativamente bajas. Si se quisiera transmitir la energía, a niveles de tensión tan bajos resultaría muy oneroso. Para que este transporte sea

posible, se debe elevar la tensión en lugares denominados estaciones de transformación para que la energía se pueda transportar. También con el ánimo de mejorar la confiabilidad y de tener los parámetros del sistema en condiciones estables, es necesario un sistema que conecte las diferentes partes generadoras con redes de distribución que atienden a los centros de consumo. Este es el sistema de transmisión que comprende líneas de transmisión y subestaciones de conmutación, de elevación y de reducción de tensión.

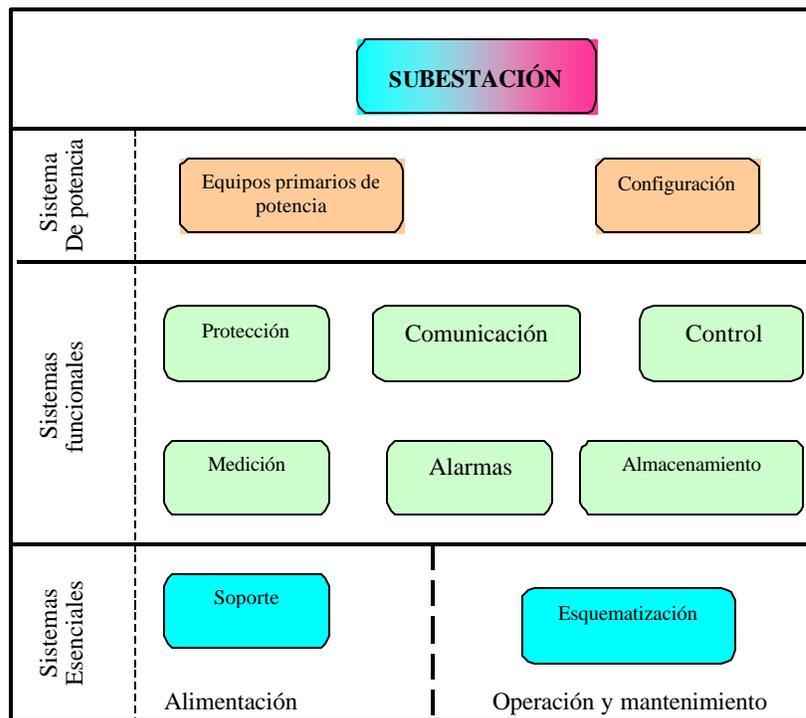
Como parte integral del sistema de transmisión, las subestaciones de transmisión, funcionan como puntos de conmutación para líneas de transmisión, alimentadores de subtransmisión, alimentadores de circuitos de generación, y transformadores elevadores y reductores. Esto implica que la optimización de la operación de la red de transmisión de energía eléctrica está relacionada ampliamente con el comportamiento de las subestaciones eléctricas frente a los factores que pueden afectar su comportamiento normal, de tal forma que se deben considerar estos factores, por insignificantes que sean, para tratar, en lo posible, que no afecten el sistema de transmisión y estos operen con la calidad y confiabilidad adecuada.

Una subestación es un conjunto de equipos utilizados para dirigir el flujo de energía, cambiar el nivel de tensión y garantizar la seguridad, confiabilidad y flexibilidad del sistema. Básicamente una subestación es un arreglo de interruptores, seccionadores, transformadores de potencia, transformadores de medida y pararrayos, en forma de líneas de entrada y salida de flujo de energía [Ramírez, 1989].

### **2.5.1 Descripción de la Subestación**

A través del estudio de las diferentes subestaciones del CTE Oriente y de los libros de subestaciones [Martín R, 1990] y [Villabona, 2000], se ha encontrado que una subestación es más que una serie de equipos interconectados; es una serie de sistemas cooperando para garantizar los requerimientos de seguridad, flexibilidad y confiabilidad que el sistema requiere para un buen funcionamiento.

La desagregación funcional de la subestación permitió una visión global del sistema y una representación de su funcionamiento. Ésta abstracción permitió identificar funciones y elementos que proporcionan características particulares. En la Figura 6 se presentan las funciones presentes en una subestación, así como la jerarquización de las mismas. En ella se pueden ver tres niveles: un nivel de sistema (equipos primarios de potencia), un nivel funcional (protección, control, etc.) y un nivel de sistemas esenciales.

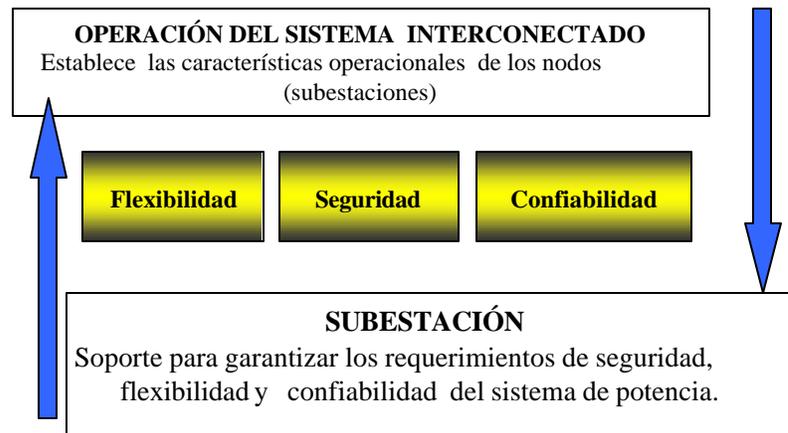


**Figura 6 Esquema de desagregación funcional de una Subestación Eléctrica**

En el primer nivel se agrupan las relaciones de una subestación con el sistema interconectado: flexibilidad, confiabilidad y seguridad.

El sistema de transmisión influye en el diseño de la subestación y la subestación influye en la operación del sistema de transmisión. En la Figura 7 se pueden ver estas relaciones. Los factores relativos a la flexibilidad del sistema para posibilitar ampliaciones de subestaciones y configuración del sistema Interconectado, así

como los factores de operación y mantenimiento de los elementos del sistema y de la subestación, son de gran importancia y quedan determinados en el arreglo o configuración que se hace en las subestaciones.



**Figura 7 Interrelación entre el sistema de potencia y las subestaciones**

En el segundo nivel aparecen los sistemas funcionales que se encargan de controlar, monitorizar y supervisar la red de transmisión y los equipos primarios de potencia. Estos son el sistema de protecciones, el sistema de control, el sistema de alarmas, el sistema de registro de fallas, el sistema de comunicaciones y el sistema de medición. Por lo general son sistemas complejos en su funcionamiento y estructura.

En el tercer nivel aparecen los sistemas esenciales que son fundamentales para el funcionamiento de los demás sistemas. Por un lado los equipos de servicios auxiliares, y por el otro, el sistema de esquematización necesario para una óptima operación y mantenimiento.

Por otra parte, desde el punto de vista constructivo, una subestación se encuentra formada por dos partes elementales: la sala de control y el patio de conexiones.

En la sala de control se tiene el tablero mímico de control o la interfase de control, en donde se controla realmente la subestación. El mímico contiene un diagrama

sinóptico de la configuración de los elementos de mando y señalización que controlan los equipos de patio, el sistema de alarmas, los indicadores de corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva y temperatura de transformadores, y los equipos de sincronización y control de cambio de tomas. En otros tableros se tienen también contadores de energía y registro de fallas. Algunas subestaciones presentan parte de estos sistemas ubicados en las casetas de control que se encuentran en el patio.

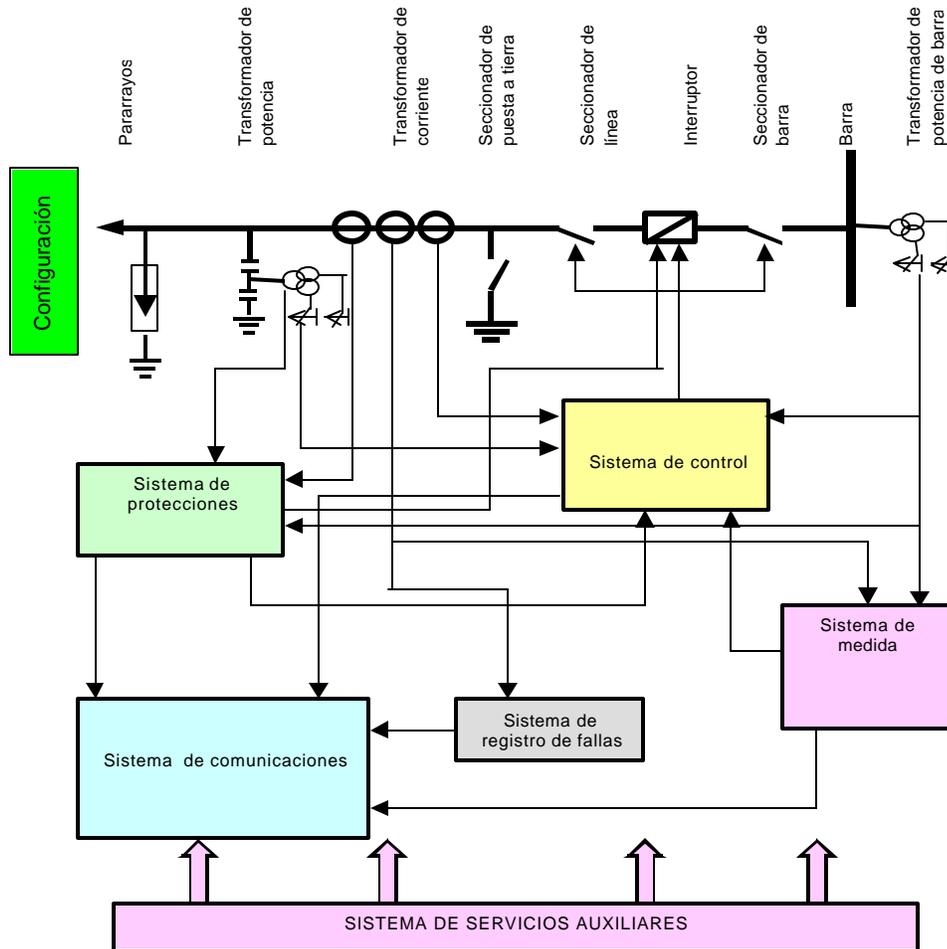
En el patio de conexiones se encuentran los equipos primarios de potencia, los gabinetes de concentración de cables, los gabinetes de operación de los equipos que lo requieren y la configuración de los equipos.

Las principales partes de una subestación desde el punto de vista operacional son:

- Sistema de control.
- Sistema de protecciones.
- Sistema de comunicaciones.
- Sistema de medida.
- Sistema de servicios auxiliares.
- Sistema de registro de fallas.
- Sistema de alarmas.
- Sistema de esquematización y planos.
- Configuración de una subestación y equipos que la componen.

En la Figura 8 se pueden observar las relaciones que existen entre los tres niveles de control nombrados anteriormente. Los equipos primarios de potencia hacen parte del sistema interconectado y representan el corazón de la subestación (relacionados con el corte, el seccionamiento y la transformación), los sistemas o funciones (control, protección, etc.) están relacionados con la seguridad y confiabilidad del sistema, y por último los servicios esenciales son el soporte para su

funcionamiento, y se encargan de suministrar la energía y la información para una óptima operación y mantenimiento.



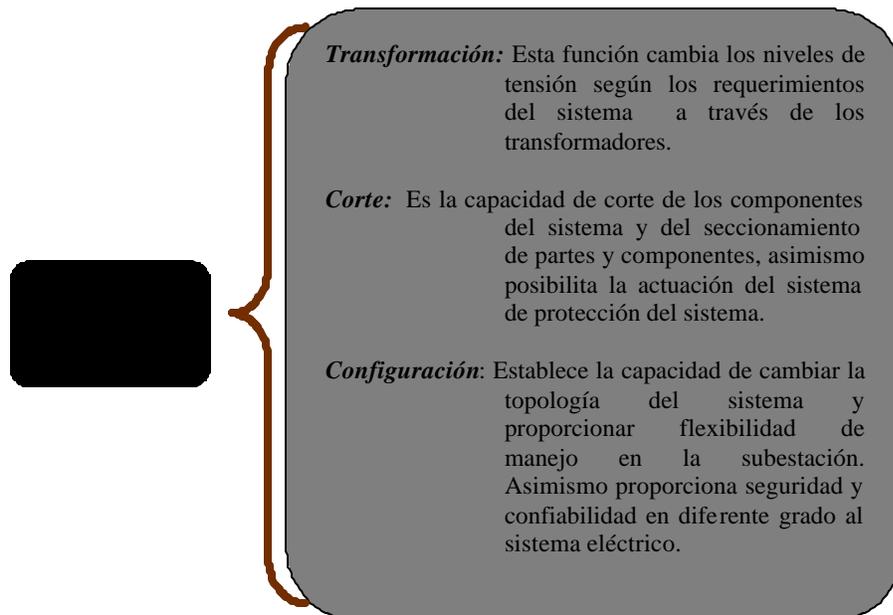
**Figura 8 Esquema funcional característico de un campo en una subestación**

### 2.5.2 Sistema de Potencia

En esta parte de la desagregación se encuentran los equipos primarios de potencia y la topología de conexión que conforma la configuración y representa la relación de la subestación con el sistema interconectado.

### 2.5.2.1 Configuración de la Subestación

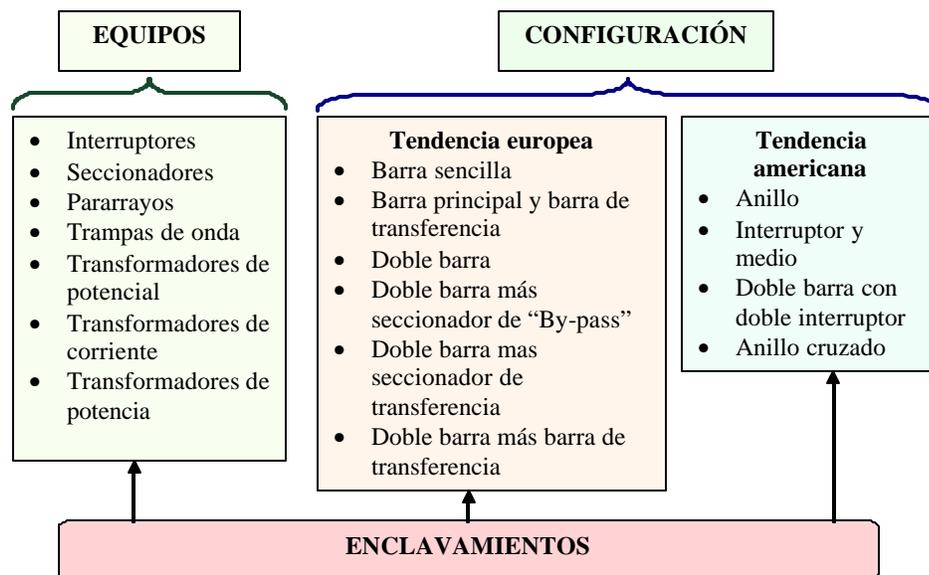
Más que un sistema, es una característica del arreglo eléctrico y físico de los equipos que constituyen el patio de la subestación. Comprende el conjunto de equipos y barras que tienen el mismo nivel de tensión y están localizados en el mismo sector. Esta característica proporciona al sistema de transmisión, propiedades que brindan confiabilidad, seguridad, flexibilidad, continuidad del servicio, sencillez y economía (diseño) en diferente grado. La selección de una u otra configuración depende de la consideración de todas estas propiedades que se requieren en el sistema.



**Figura 9 Principales funciones de una Subestación para el sistema de Potencia.**

Otros aspectos a tener en cuenta en la selección de la configuración de una subestación son las facilidades que pueda proporcionar para realizar mantenimientos a interruptores, líneas, transformadores de potencia y seccionadores, sin interrupción del servicio ni riesgo para el personal a cargo.

De la configuración de la subestación depende el conjunto de maniobras que se pueden realizar y el conjunto de condiciones para su realización (enclavamientos y consignas operativas). Estas condiciones a su vez definen las características de las consignas bajo falla asociadas a consignas operativas.



**Figura 10 Desagregación básica de los Sistemas Primarios de Potencia**

Aunque existen muchas clases de subestaciones, las configuraciones básicas de las subestaciones del CTE Oriente, son cuatro: barra sencilla, doble barra con transferencia, barra principal mas barra de transferencia e interruptor y medio. Estas configuraciones se pueden ver en el Anexo B de este documento.

### 2.5.2.2 Enclavamientos

Las condiciones que se deben cumplir para la apertura o el cierre de un interruptor o un seccionador se conocen como enclavamientos. Dependiendo de la procedencia, las condiciones pueden ser propias del equipo, externas o del sistema. Las condiciones propias del equipo son las producidas por los sensores que chequean las condiciones, presión de sf6, energía insuficiente para la maniobra, etc. Las condiciones externas se refieren principalmente a la posición de otros equipos en la

misma subestación y están relacionadas con la configuración de la subestación, el nivel de control o el estado de los relés de protección. Las condiciones del sistema se refieren principalmente a los estados de las variables de tensión y frecuencia para la realización de una operación.

Las principales reglas de los enclavamientos que se tienen en una subestación son:

- Un seccionador nunca se debe maniobrar con carga a menos que la tensión entre los terminales sea cero.
- Para maniobrar un seccionador, el interruptor o interruptores asociados y las cuchillas de puesta a tierra deben estar abiertos.
- Las cuchillas de puesta a tierra sólo se maniobran cuando el seccionador de línea asociado está abierto.
- Los seccionadores de "by pass" o paso directo se cierran con tensión cuando el interruptor que tiene el paralelo está cerrado, es decir cuando hay la misma tensión en sus terminales.
- Un seccionador de transferencia se puede cerrar con tensión cuando hay la misma tensión en sus dos terminales, es decir cuando el interruptor de transferencia está cerrado. Adicionalmente, únicamente puede permanecer cerrado un solo seccionador de transferencia.
- Los seccionadores de barras, en subestaciones de doble barra se pueden operar con tensión cuando el interruptor de acople esté cerrado.
- Un interruptor para cerrar debe cumplir las condiciones de sincronismo entre los sistemas que conecta, debe tener los seccionadores cerrados, no pueden existir cuchillas de puesta a tierra cerradas y el equipo que se va a energizar debe estar dispuesto para ello.

En algunas configuraciones se requieren reglas propias para los enclavamientos o de la excepción de alguna o algunas de las antes mencionadas, aunque la mayoría se ajustan a ellas.

En las subestaciones con control convencional, los enclavamientos se efectúan por medio de lógica cableada (contactos de posición de equipos conectados en serie y/o paralelo), mientras que en las subestaciones con control coordinado, se efectúan por medio de lógica programable en los equipos de cómputo o proceso digital. Sin embargo, para el control desde nivel cero, los enclavamientos se efectúan por medio de lógica cableada.

### **2.5.2.3 Áreas de la Subestación**

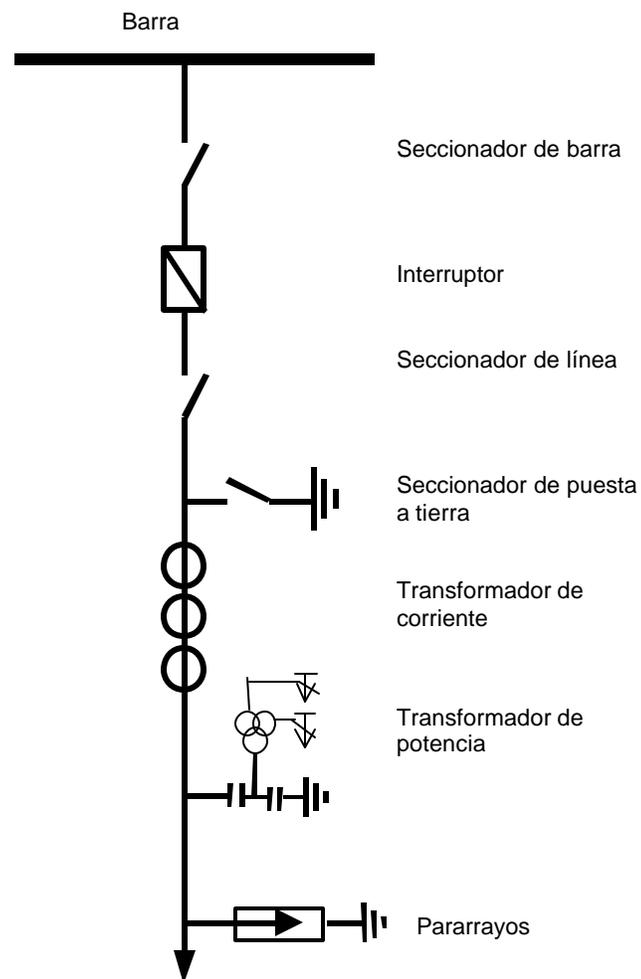
Como se dijo anteriormente, la configuración es una característica que la da el arreglo eléctrico y físico de los equipos que constituyen el patio de la subestación. Estos equipos se encuentran agrupados por conjuntos de equipos que se relacionan estrechamente en su sistema de control. Los tipos de áreas que se encuentran en una subestación son:

- Área de acople: conformada por los interruptores y seccionadores encargados de acoplar las barras de la subestación.
- Área de seccionamiento de barras: la conforman los equipos que se encargan de la división o seccionamiento de una barra.
- Área de transferencia de interruptores: conformada por los equipos encargados del reemplazo de los interruptores propios de cada área.
- Área de acople de barras y transferencia de interruptores: conformada por los grupos de equipos que se encargan de realizar las funciones de acople de barras y de transferencia o reemplazo de interruptores.

- Áreas de circuito de generación: la conforman los equipos asociados a un alimentador perteneciente a un generador.
- Área del circuito de la unidad de generación: conformada por los equipos asociados a una unidad generadora.
- Área de transformación: integrada por los equipos asociados al transformador de potencia.
- Área de autotransformación: integrada por los equipos asociados al autotransformador.
- Área de circuito de línea: conformada por los equipos asociados a las salidas de las líneas de transmisión.
- Área de reactores: conformada por los equipos asociados a los reactores.
- Área de condensadores: conformada por los equipos asociados a los condensadores.

#### **2.5.2.4 Equipos Primarios de Potencia (Equipos de Patio)**

Los equipos que le dan la configuración a una subestación son los equipos de patio o equipos primarios de potencia. Estos proporcionan características operacionales particulares, por ejemplo, si la subestación posee o no transformador de potencia le dará un grado de operación complejo o simple. Los equipos que hacen parte de la configuración (ver Figura 11), se presentan a continuación.



**Figura 11 Disposición típica de los equipos primarios de potencia en un área de circuito de línea.**

### ➤ Conductores, barras y conectores

Los conductores, las barras y los conectores son los elementos que proporcionan condiciones adecuadas para el transporte de corriente eléctrica, es decir, baja resistencia al paso de la corriente, resistencia mecánica apropiada para soportar los esfuerzos electrodinámicos presentes en las subestaciones y capacidad apropiada

para el transporte de corriente de acuerdo con los niveles de potencia que se manejan en el sistema [Ramírez, 1989].

Estos elementos interconectan los equipos primarios de potencia de las subestaciones, las subestaciones y los sistemas de potencia.

### ➤ **Interruptores**

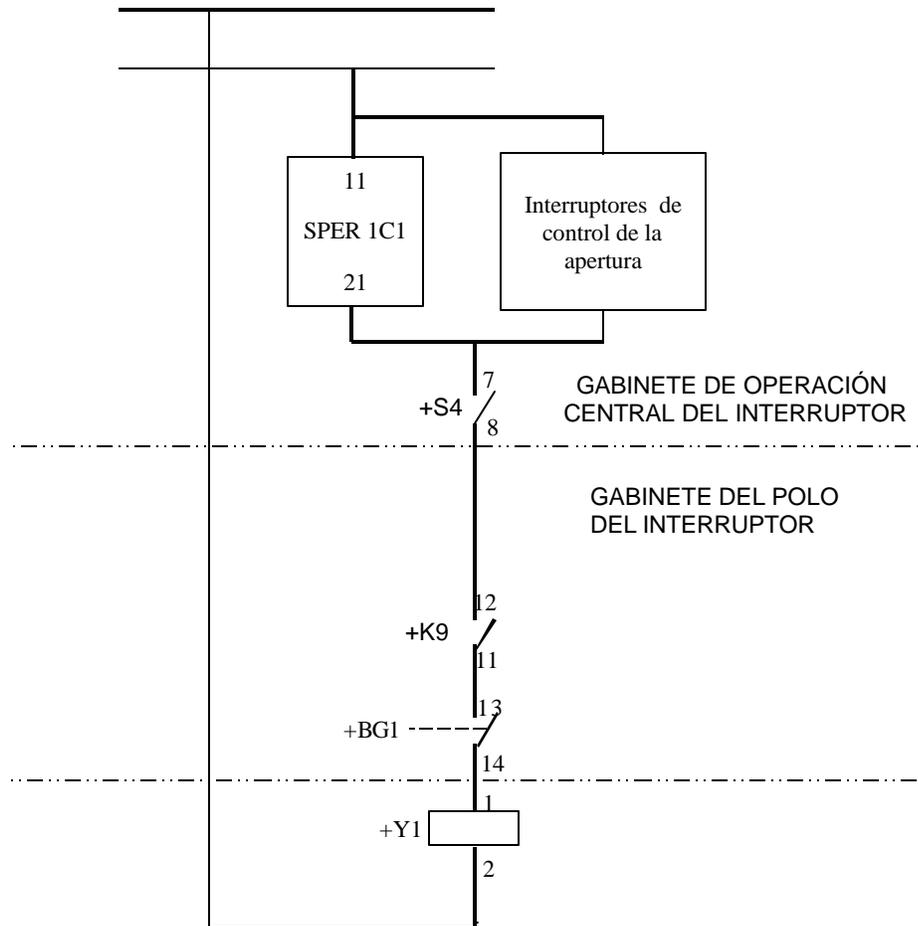
El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de un circuito eléctrico bajo carga normal y en condiciones de cortocircuito. El interruptor es, junto con el transformador y el seccionador, el dispositivo más importante de una subestación y el que requiere mayor supervisión; su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia. Sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado una línea, y en otros casos máquinas, aparatos o cables [Villabona, 2000].

Generalmente se clasifican de acuerdo con el medio utilizado para la elongación y enfriamiento del arco eléctrico permitiendo su extinción. Estas clases son: de aire, de aceite, de SF<sub>6</sub> y de vacío.

Dentro de la subestación el interruptor juega un papel importante gracias a sus características funcionales. Desde el punto de vista de operación y de consignas operativas (de falla y normales) es el elemento que presenta mayor detalle y mayor complejidad.

Los interruptores de la mayoría de subestaciones poseen dos circuitos de disparo y uno de cierre. Los circuitos de disparo y cierre están asociados a los sistemas de control y de protecciones. El sistema de protecciones de las líneas tiene por lo general dos protecciones principales PL1 y PL2, cada una asociada a un sistema de disparo diferente. En la Figura 12 se puede observar de manera simplificada el

circuito de control de un interruptor, se representa únicamente una bobina, algunos interruptores de los enclavamientos y el bloque de control.



**Figura 12 Circuito de control de un interruptor**

### ➤ Seccionadores

El seccionador es un dispositivo eléctrico utilizado para abrir o cerrar diversas partes de una instalación eléctrica cuando no circula una corriente. Los seccionadores pueden desempeñar diversas funciones siendo las más comunes la de seccionamiento de circuitos por necesidad de operación o la de aislamiento visible

de los componentes del sistema (equipos o líneas) [Villabona, 2000]. Los seccionadores utilizados en instalaciones eléctricas de alta tensión, se pueden clasificar de dos formas:

- Según las funciones que desempeñan en el sistema se clasifican en: Seccionador de maniobra, seccionadores de tierra, seccionadores de operación en carga y seccionadores de puesta a tierra rápida.
- Según su construcción se clasifican en: Seccionadores de cuchillas giratorias, seccionadores de cuchillas deslizantes, seccionadores de pantógrafo, seccionadores especiales y seccionadores con cuchillas de puesta a tierra [Mora y Carrillo, 2000].

Dependiendo de la posición en la configuración y de la clase de seccionador (fabricante) dependerán sus características. Para el control, los seccionadores están equipados con motores que por lo general funcionan con corriente continua proveniente del sistema de servicios auxiliares. Este motor se puede accionar desde el gabinete de control del equipo o desde los sistemas de control superiores (niveles superiores al nivel 0<sup>7</sup>). También en caso que no se pueda operar con el motor, tienen mandos manuales a través de manivelas que proporcionarían la potencia mecánica para la operación. Los seccionadores de puesta a tierra no permiten su operación desde niveles de control superiores al nivel 0, por razones de seguridad para el sistema y los equipos de la subestación.

### ➤ **Transformador de Potencia**

Los transformadores son elementos estáticos de inducción formados por un sistema de bobinas mutuamente acopladas y se utilizan para realizar cambios de tensión en un sistema de potencia. Los valores de la tensión primaria y secundaria establecen

---

<sup>7</sup> El nivel cero corresponde al control desde el equipo, los niveles de control se explicarán más adelante en la parte de control.

una distinción entre los devanados<sup>8</sup>, permitiendo distinguirlos como devanado de Alta tensión y devanado de Baja tensión. Junto con el interruptor son los equipos más relevantes de una subestación, posee sensores que están supervisando las condiciones de trabajo y sistemas de regulación de temperatura. Aparte de la señalización de las variables que maneja, éstos equipos se les pueden variar la relación de transformación a través de cambiadores de “tap” o interruptores conmutables [Villabona, 2000]. Las variables que intervienen en el modelo de éstos equipos para su simulación son las señales de control de los “tap”, las señales de fallas y las señales de control de sistema de refrigeración.

### ➤ Transformadores de medida

Los transformadores de medida son dispositivos cuya función es reducir a valores no peligrosos y normalizados la tensión y la corriente de una red eléctrica, evitando la conexión directa entre los instrumentos de medida, protección y control con los circuitos de alta tensión. Desde el punto de vista operacional, estos equipos no permiten realizar ninguna acción operativa.

Los transformadores de corriente son aquellos en los cuales la intensidad en el secundario es directamente proporcional a la intensidad en el primario. Los circuitos secundarios de los transformadores de corriente deben estar cerrados permanentemente, bien por los aparatos de medida o por un simple puente, ya que de lo contrario aparecen entre sus bornes sobretensiones peligrosas, tanto para el personal como para el equipo.

Los 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 que los efectos transitorios y de régimen permanente aplicados al

---

<sup>8</sup> Los devanados son los arrollamientos de conductor que forman las bobinas.

circuito de alta tensión sean reproducidos lo más fielmente posible en el circuito de baja tensión.

#### ➤ **Pararrayos**

Los pararrayos son dispositivos eléctricos formados por elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalance del sistema. Tienen las siguientes características especiales: se comportan como aisladores mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado, se vuelven conductores al alcanzar la tensión ese valor y conducen a tierra la corriente producida por la onda de sobretensión.

#### ➤ **Trampas de onda**

Las trampas de onda son dispositivos que se conectan en los terminales de las líneas de alta tensión. 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 portadora. Por lo general el rango de frecuencia utilizado para comunicación por portadora es de 30-500 kHz, de acuerdo con las frecuencias ya usadas por la compañía de servicios y con la longitud de la línea.

### **2.5.3 Sistemas Funcionales**

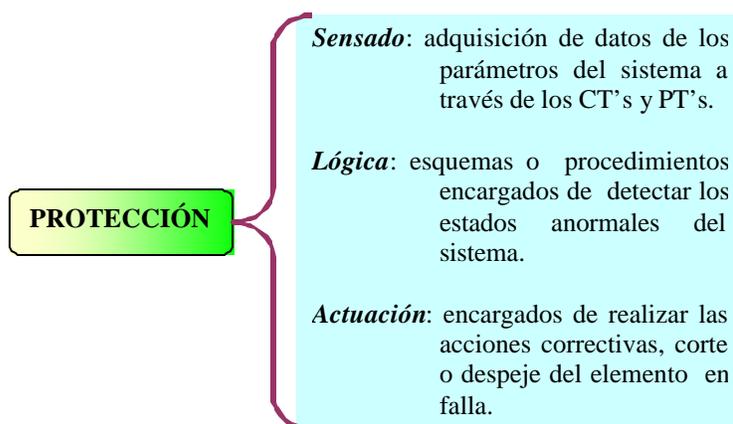
Los sistemas funcionales se encargan de controlar, monitorizar y supervisar la red de transmisión y los equipos primarios de potencia, estos son: el sistema de protecciones, el sistema de control, el sistema de alarmas, el sistema de registro de

fallas, el sistema de comunicaciones y el sistema de medición. Por lo general son sistemas complejos en su funcionamiento y estructura.

### 2.5.3.1 Sistema de Protecciones

Por diversas 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 [Blackburn, 1992].

Los equipos de protección que intervienen a nivel de sistemas, interactúan con el sistema de control y con el interruptor. Además de los equipos encargados de proteger el sistema, existen equipos que se encargan de proteger los diferentes equipos en la subestación. El modelo de este sistema es bastante complejo pero se podría trabajar como una caja negra con algunas funciones (ver Figura 13) e interactuando con los demás sistemas.



**Figura 13 Esquema funcional del sistema de protecciones.**

### **2.5.3.2 Sistemas de Comunicaciones**

Las principales formas de comunicación empleadas a nivel del sistema de transmisión nacional son Portadora por Línea de Potencia (PLP), fibra óptica y microondas.

Las que utilizan PLP, aprovechan el tendido físico de las líneas de potencia para enviar información utilizando como medio el cable de potencia. Este método utiliza equipos especiales, necesarios para la transformación y manipulación de la información de tal manera que se pueda transmitir por este medio.

La fibra óptica, por su parte, está insertada en el cable de guarda de la línea de potencia. La principal ventaja que proporciona es el ancho de banda que permite enviar más datos. Los equipos utilizados son diferentes a los utilizados por el PLP. Se requiere caracterizar cada equipo y poder hacer el modelo funcional del sistema de comunicaciones.

Los equipos de comunicaciones son complejos en su composición interna, por lo cual, la labor de los operadores se centra en la supervisión y el control.

### **2.5.3.3 Sistema de Control de los Equipos**

Se define como el conjunto de elementos encargados de verificar, proteger y ayudar a gobernar un sistema específico. Debe proporcionar flexibilidad para la expansión, automatización, seguridad, disponibilidad, flexibilidad, simplicidad en el mantenimiento e interfase [Ramírez, 1989].

En este sistema se tienen centralizados todos los elementos de control en lo que se denomina "edificio de control" de la subestación. Consta básicamente de sala de control, cuarto de relés de protección, sala de cables, cuarto de servicios auxiliares, cuarto de comunicaciones, cuarto para la planta de emergencia y oficina para operadores.

En general, un sistema de control de una subestación está constituido por dispositivos para el control remoto, registro secuencial de eventos, mímicos, sistema de protecciones, contadores de energía, localización y registro de fallas, sistema de alarmas transductores, indicadores, mando y señalización, tableros de agrupamiento, sistema de enclavamientos, control de cambiadores de tomas y equipos de comunicaciones.

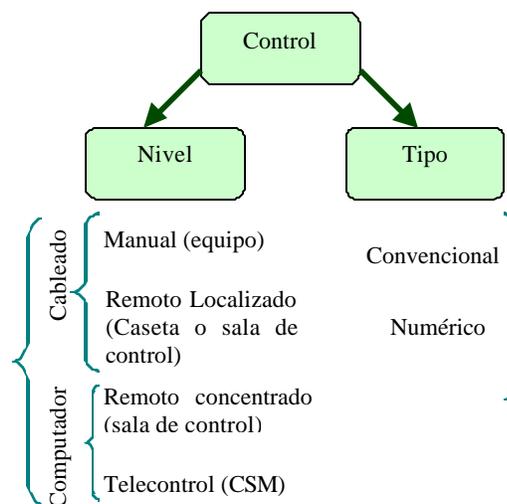
A manera de desagregación y desde el punto de vista operacional se puede decir que el control se ve desde dos puntos de vista, el nivel de operación y la clase de control (ver Figura 14). La clase de control hace referencia al sistema de control implementado en la subestación y las características que proporciona. El nivel de operación hace referencia al lugar en donde se realiza la operación de los equipos.

#### ➤ **Clases de Control**

Las clases de control encontradas son de dos tipos: control numérico y control convencional.

- Control numérico.

Con las nuevas tecnologías y con el desarrollo en los sistemas de control existen hoy día sistemas que mejoran el rendimiento, la calidad y la flexibilidad de los procesos. Las subestaciones de transmisión últimamente están incorporando estas tecnologías en sus sistemas de control.



**Figura 14 Desagregación del control de una subestación desde el punto de vista operacional.**

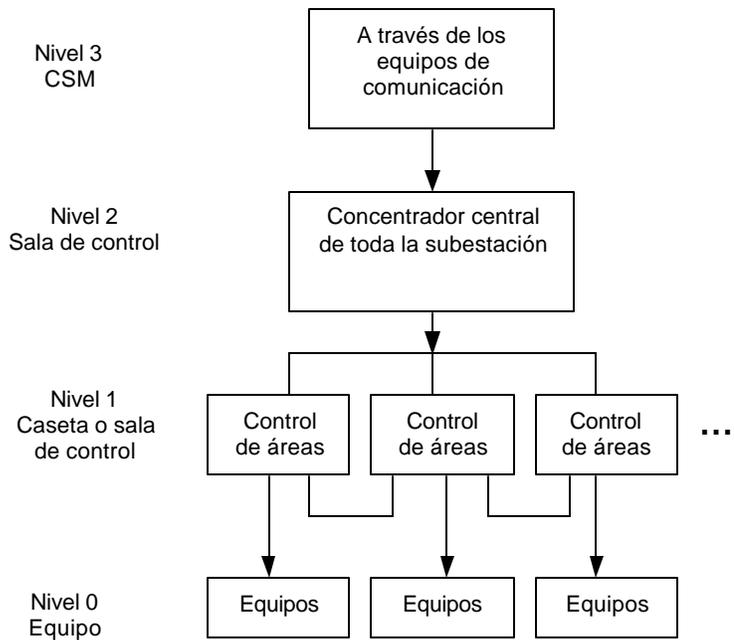
La centralización y registro de datos es la característica principal de un sistema de control numérico. Su simplicidad reside en la conectividad que ofrecen los actuales sistemas de control. Estos sistemas son los llamados sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) o “software” de monitorización y control que permiten el acceso a datos del proceso y una interacción más dinámica entre el operador (interfases gráficas y animadas) y el proceso. Esto es lo que se conoce en las subestaciones con el nombre de control coordinado o control numérico [ABB, 1994], [Colomer y Otros, 2000].

- Control convencional

Por otro lado están las subestaciones (viejas) que tienen implementados sistemas de control convencionales, es decir, en donde el control se realiza a través de interruptores en sinópticos por pantallas configurables y animadas, pero estáticas y voluminosas. En estos sistemas de control no se cuenta con la ayuda de un computador para hacer el control.

### ➤ Niveles de control

El control de una subestación, permite hacerlo por jerarquías como se indica en la Figura 15 y bajo la consigna de seguridad que un nivel inferior, inhibe un nivel superior [ABB, 1998].



**Figura 15 Jerarquización del sistema de control de la subestación.**

En cada uno de estos niveles, están ubicados equipos encargados de realizar las labores de control y supervisión.

- Nivel 0

En este nivel se encuentran los equipos de patio y se debe colocar la lógica de control de todos los equipos. En este nivel, la operación de los equipos se realiza desde los gabinetes de cada uno. Por lo general, la operación de equipos corresponde a operaciones de mantenimiento. Se permite accionar los equipos de maniobra directamente en el patio, conservando los mínimos enclavamientos de

seguridad. Los enclavamientos de las cuchillas de puesta a tierra y los enclavamientos entre cada seccionador y sus interruptores asociados, requeridos para operación local, se realizan por medio de cableado físico en el patio.

- Nivel 1

Este nivel corresponde a la operación de los equipos desde las casetas de control o desde la sala de control a través de los controladores de campo y de servicios auxiliares. En la gran mayoría de subestaciones, esta operación se realiza en los mímicos con que cuentan los controladores.

- Nivel 2

Corresponde al nivel de operación en la subestación desde las Interfases Hombre-Máquina (IHM) localizados en la sala de control del edificio de la subestación. Se realiza la operación y supervisión global de los equipos de maniobra y servicios auxiliares de todas las áreas que integran la subestación. La información entre los niveles 1 y 2 se hace por medio de una red de área local, que utiliza como medio físico el cable de fibra óptica. Está conformada por concentradores de datos, módulos de comunicación de red y fibra óptica.

- Nivel 3

Corresponde a la operación desde el Centro Nacional de Despacho (CND) o Centro de Supervisión y Maniobras (CSM), localizado en Medellín, donde se realiza en forma remota, un control sobre la subestación a través de los equipos del Sistema de Control Coordinado (SCC). Cuando la función de selección del modo de control de la subestación se encuentra en REMOTO, el control de los interruptores de la subestación queda transferido a éste nivel. Los equipos que permiten esta flexibilidad son las Unidades Terminales Remotas (RTU) y se ubican en la subestación.

### ➤ **Equipos de Control Remoto**

El elemento principal en el control remoto de las subestaciones son las unidades terminales remotas, UTR o RTU las cuales envían la información de la subestación (medidas analógicas, señalización o posición de equipos de maniobras y alarmas) al centro de control a través de un canal de comunicación (PLP, radio o microondas) y a su vez recibe la información de éste, comandos hacia la subestación. En el tablero mímico se instala un conmutador de selección del modo de control (local, remoto, desconectado) [Ramírez, 1989].

Las señales analógicas tienen que ser convertidas a señales de corriente continúa de amplitud baja por medio de transductores, para ser enviada a través de las RTU. La señalización y alarmas provenientes del patio de la subestación se separan galvánicamente de la RTU para evitar daño y distorsión de la información ocasionadas por la interferencia electromagnética en los cables, por medio de relés de interrupción. Por las mismas razones anteriores y para amplificar las señales de salida de la RTU, generalmente los comandos de los equipos de maniobras utilizan también relés de interposición.

Todas las señales provenientes del patio de la subestación y de otros elementos del control se agrupan en un tablero, en el cual se efectúa la separación de las señales hacia el tablero mímico y la RTU.

### ➤ **Conmutadores de Mando**

Los conmutadores de mando se utilizan para el mando de los equipos desde el mímico, representado además el equipo en el esquema sinóptico de la subestación.

### ➤ **Relés de Interposición**

Los relés de interposición sirven como elementos de acople y de aislamiento galvánico entre el equipo de patio y la RTU en lo que se refiere a mandos e indicaciones.

Los relés de interposición para indicación o cambio de estado generalmente se alimentan con la misma tensión (Vcc) general de la subestación. Mientras que los utilizados para mando de equipos deben ser alimentados por la tensión de la RTU.

#### **2.5.3.4 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. Para medir la energía eléctrica se utilizan contadores de energía. Estos elementos permiten conocer la cantidad de energía producida o consumida, y realizar gráficos de consumo que faciliten el estudio de nuevas instalaciones y el control de las horas de mayor consumo. Los instrumentos y aparatos de medida, indican de forma indirecta, el valor de la magnitud medida. Generalmente las señales de tensión y de corriente se transforman a valores convencionales que no presentan ningún riesgo para la lectura. Los contadores pueden ser analógicos o digitales, aunque la tendencia es a utilizar los digitales gracias a la multifuncionalidad que proporcionan. En la mayoría de las subestaciones se dispone de Contadores de Energía 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 múltiples funciones, con capacidad de medida y registro para, las variables de energía activa y reactiva, demandas, potencia activa y reactiva, corriente y tensión. Tienen puertos de comunicación serial que permiten la implementación de la red de contadores de energía para la transmisión de esta 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 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 son:

- Enrutador o Concentrador: Este dispositivo permite el diálogo entre el PC LOCAL o el PC REMOTO y todos los contadores de energía multifuncionales (CEM), por un canal de datos tipo RS-232C. El enrutador recibe del PC LOCAL o REMOTO una dirección (número serial) con la cual identifica el respectivo contador y establece la conexión automáticamente, sin necesidad de conmutación manual.
- Módem Telefónico: La exploración y acceso remoto de los contadores se efectúa por medio de un MODEM conectado a un canal telefónico conmutado a 2 hilos, a través del cual es posible efectuar las mismas funciones que se realizan de forma local.
- Conversor óptico eléctrico: Estos conversores convierten las señales eléctricas del puerto serial RS232 - RS485 bidireccionales e independientes del protocolo en señales ópticas. Proporciona una comunicación de datos inmune a parásitos a través de cable de fibra óptica, permite transmisiones a grandes distancias, entre 2 interfases RS 232 (hasta 3700 m a través de fibra de vidrio). Permite adaptación de interfases con una interfase estándar serie. La velocidad de transmisión de datos queda determinada por la interfase de potencia más baja. En la Figura 16 se puede ver un gráfico de la configuración del sistema de medida para una subestación.

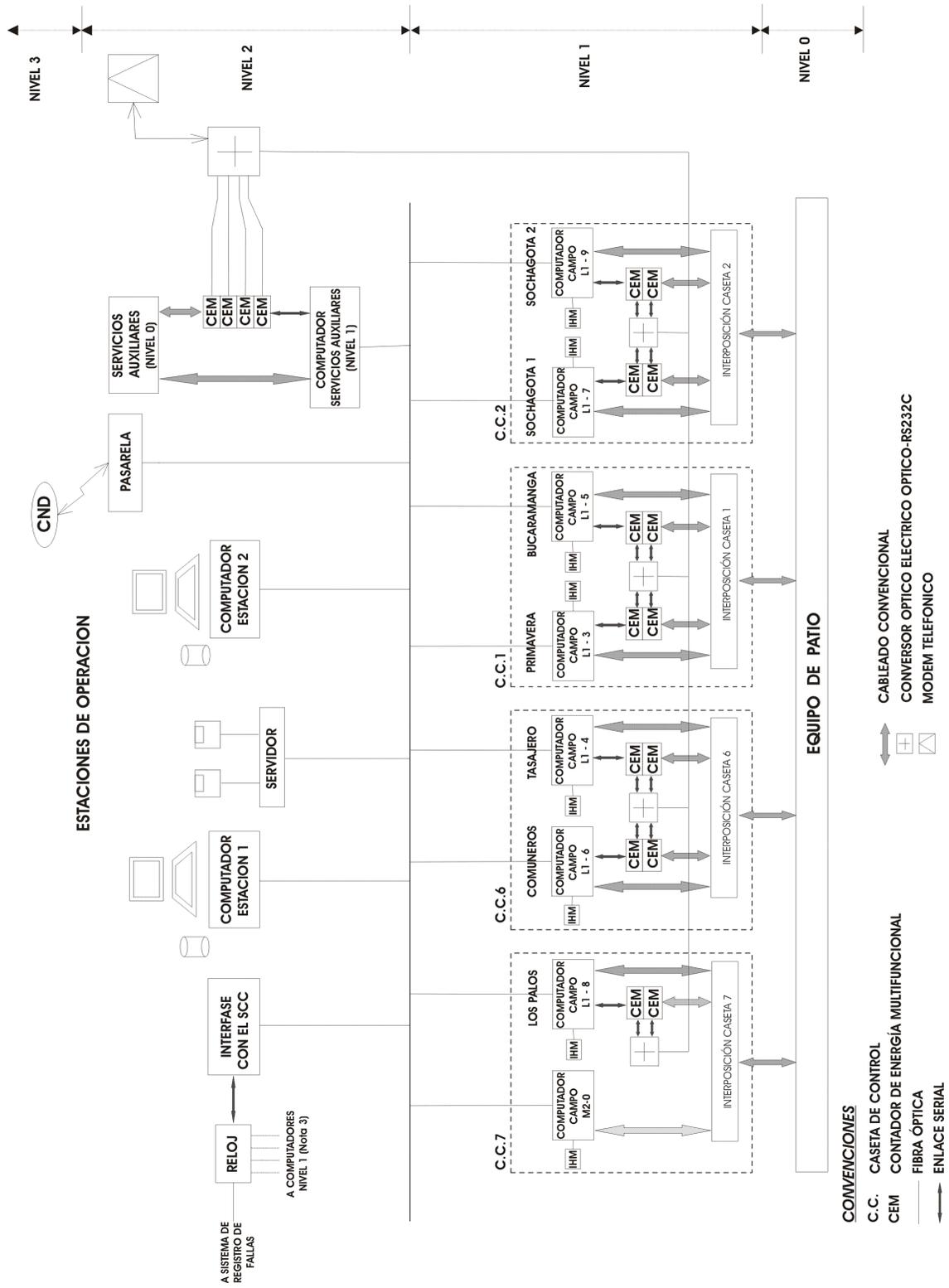
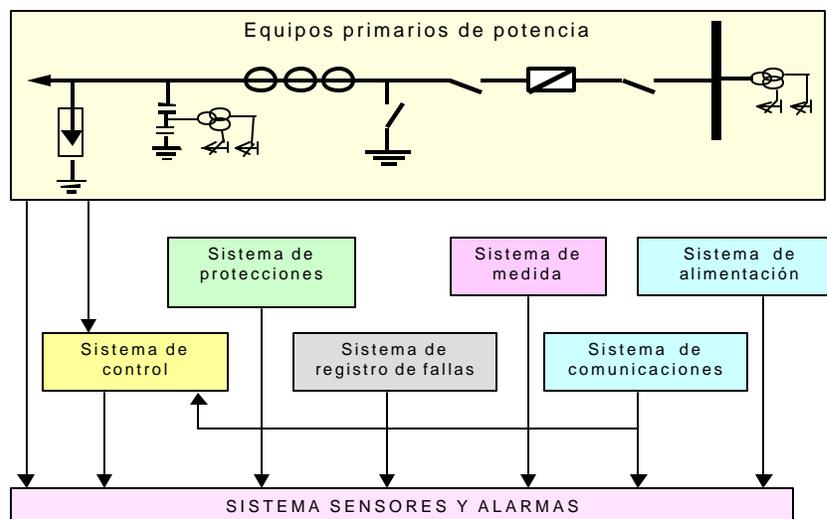


Figura 16 Sistema de medida de un S/E de transmisión.

### 2.5.3.5 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 los cuales constan de indicación luminosa, de diferente color para jerarquizar las señales y 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 que ocasionó la alarma, después, se procede a reponer el anunciador y a registrar los datos en la bitácora. En la Figura 17 se pueden observar los sistemas que envían señales a los anunciadores o al computador.

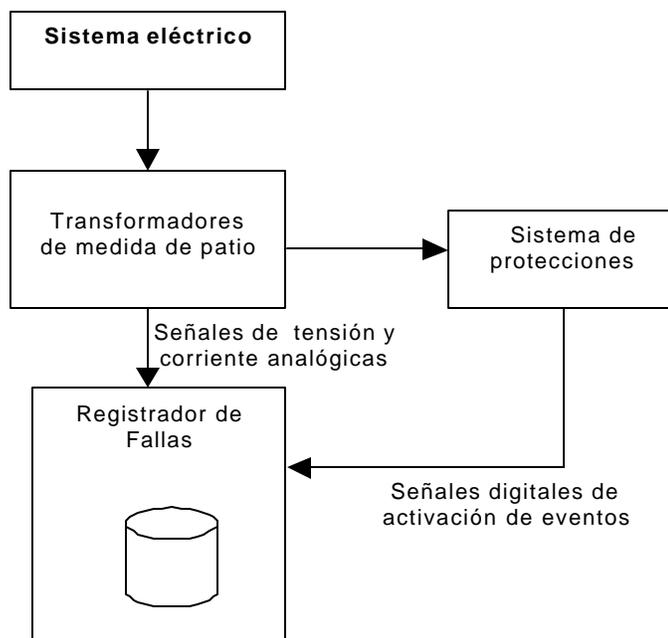


**Figura 17 Esquema funcional del sistema de señalización y alarmas**

### 2.5.3.6 Sistemas de Almacenamiento

El sistema de registro de fallas se encarga de entregar el comportamiento de la red en 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. Una falla que origina el almacenamiento se le denomina evento. 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 denomina evento.

El sistema de registro de fallas es importante porque ayuda a prevenir fallas que generan altos costos para el sistema eléctrico gracias al almacenamiento de las características de la misma ayudando a seleccionar la fijación de los equipos de protección óptimos para el despeje de estas fallas. El diagrama funcional o de bloques de un sistema de registro de fallas se muestra a continuación, ver Figura 18



**Figura 18 Sistema de registro, diagrama general**

Los registradores de falla son equipos digitales, completamente programables y deben ser capaces, mínimo, de manejar ocho (8) entradas análogas 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 posteriormente digitalizadas utilizando conversores Analógico/Digital.

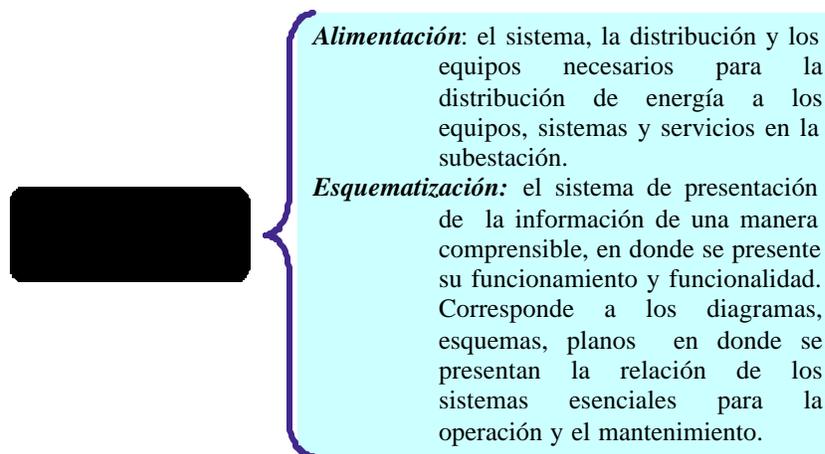
Además de las señales de tensión y corriente mencionadas anteriormente, el registrador de fallas debe tener canales de entrada digital para obtener la información a manera de contactos de la operación y el arranque de las protecciones de distancia, la operación del recierre y la posición de los polos 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 que posteriormente sea de fácil consulta para el analista.

#### **2.5.4 Sistemas Esenciales**

Los sistemas esenciales se pueden dividir en dos: uno teniendo en cuenta el funcionamiento de la subestación y conformado por los equipos y sistemas de distribución encargados de la alimentación de los equipos y los sistemas. También es llamado servicios auxiliares.

El otro sistema es esencial desde el punto de vista operacional y de mantenimiento, para realizar estas tareas 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 19.

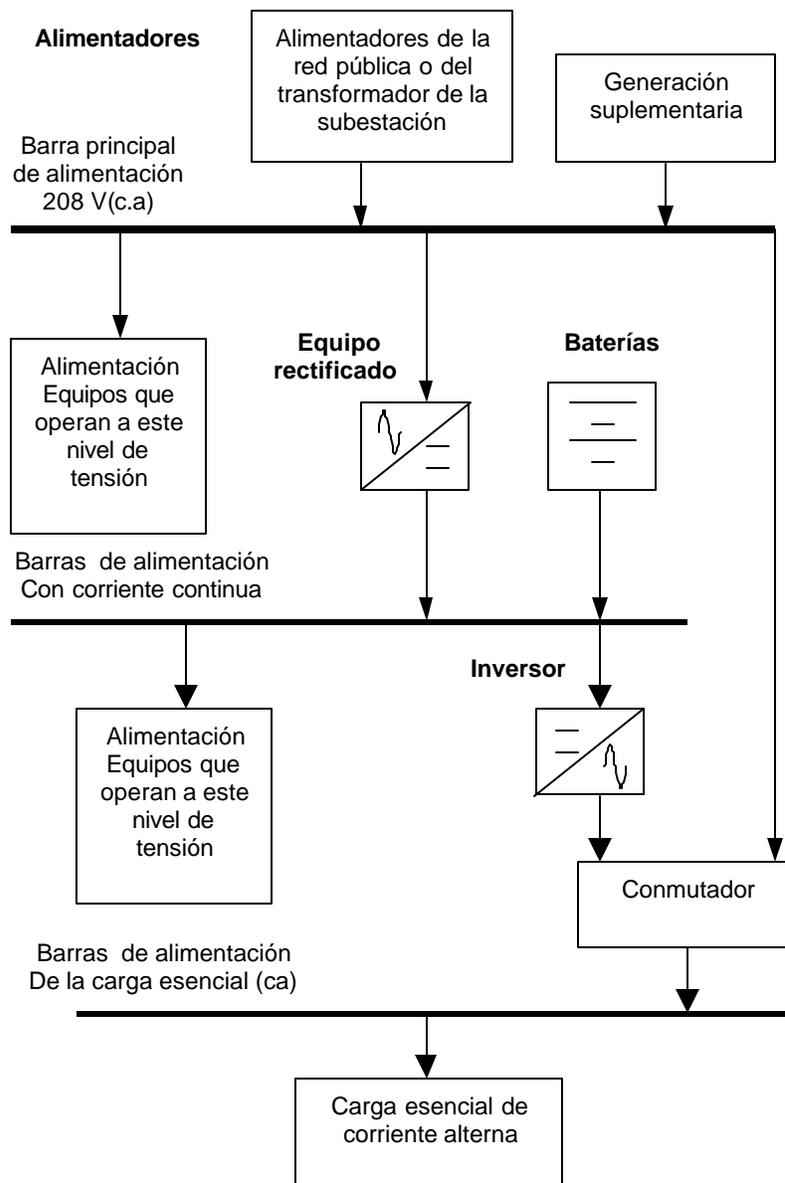


**Figura 19 Desagregación de los sistemas esenciales.**

#### **2.5.4.1 Sistema de Soporte (Servicios Auxiliares)**

Este importante sistema de una subestación se encarga de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos que componen los sistemas de la subestación y debe proporcionar los niveles de tensión que requieren los demás equipos para su 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 CSM. La configuración puede variar según el grado de redundancia y el nivel de tensiones que utiliza. El esquema general de este sistema se puede ver en la Figura 20.



**Figura 20 Configuración típica del sistema de servicios auxiliares.**

Para cada equipo se debe realizar el modelo general y su relación con los demás sistemas. Los equipos presentes en este sistema son:

- Rectificador: se encarga de cambiar la corriente alterna en corriente continua.

- Inversor: se encarga de cambiar la corriente continua en corriente alterna.
- Baterías: se encargan de entregar corriente cuando los sistemas de alimentación fallan.
- Fuentes de alimentación: dentro de estos equipos se tienen los alimentadores de la red pública, conformados por transformadores, seccionadores bajo carga, medidores e interruptores. Los generadores tienen acoplado un motor de combustión que proporciona la potencia mecánica y una serie de interruptores que se encargan de conectar y desconectar las barras.
- Barras: son placas de cobre en donde se conectan los diferentes interruptores para la alimentación de los equipos. Se diferencian dependiendo de la clase de corriente que sea. Para corriente alterna por lo general son cuatro barras de cobre una para cada fase y una para el neutro. Para corriente continua son dos: una para el positivo y una para el neutro.
- Interruptores: son de tensiones baja y mediana, se encargan de proteger los equipos que alimentan.

Estas características se pueden resumir en un diagrama unifilar, el cual es un esquema que simplifica la información del sistema eléctrico proporcionando información de las características y propiedades del mismo.

#### **2.5.4.2 Esquematización**

Los diagramas, esquemas y planos representan de forma simbólica las partes, el funcionamiento, la relación de elementos, la funcionalidad, etc. Allí se asocian los sistemas esenciales para la operación y el mantenimiento.

Este sistema realiza la presentación de la información de una manera comprensible. Representa la complejidad de una subestación por niveles y comienza por el nivel más sencillo; la representación unifilar de la configuración. En ésta la abstracción

de la complejidad circuital es la mayor. Los diagramas de bloques representan un nivel de detalle más complejo, y la representación de los planos de conexión de una 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). Está conformada por:

- 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 mismo sistema como con sistemas externos.
- Planos de conexión: en estos, el nivel de detalle es el más profundo, representan en su totalidad los elementos y sistemas, así como la manera de conexión de los componentes. Es posible mediante estos, realizar el seguimiento de una señal de control y de detalles de su trayectoria.

La siguiente lista presenta algunos planos que se tienen en las subestaciones, entre otros:

- Diagramas Unifilares.
- Diagramas Trifilares.
- Diagramas de Mando y Control.
- Diagramas de Protecciones.

- Diagramas de Alarmas.
- Diagramas de Señalización.
- Diagramas de Enclavamientos.
- Diagramas de Medición.
- Diagramas de integración con el sistema de Comunicaciones.
- Diagramas de integración con el sistema de Automatización.
- Diagramas de Alimentación.

### **2.5.5 Operación Normal**

La operación del sistema eléctrico es una actividad que involucra e integra los agentes que intervienen en él, la generación, la comercialización, la transmisión y la distribución, e implica tener en cuenta desde una insignificante subestación de distribución hasta las grandes centrales generadoras. Debe garantizar la calidad, continuidad, seguridad y confiabilidad del sistema, así como velar por la integridad de las condiciones de operación normal y de los equipos que lo forman.

La operación de una subestación es la actividad encaminada a operar, controlar, supervisar y mantener los equipos de la subestación para garantizar su óptimo funcionamiento y la continuidad del servicio.

El control de la subestación lo realizan los asistentes de subestaciones desde la sala de control a través de los mímicos o de las interfases de control, siguiendo consignas preestablecidas. El registro de eventos (alarmas, operación de equipos y relés de protección, registros de energía, etc.) es llevado, ya sea, manualmente por los operadores, o registrado en los sistemas de registro de eventos en las subestaciones. En el caso de daños en el sistema de control, se pueden operar los equipos desde su propio gabinete de control en el patio de equipos de la

subestación. Las señales provenientes del patio (previamente agrupadas) en las cajas adyacentes al equipo o en los kioscos de cada campo de la subestación, son llevados al edificio de control por los cárcamos a una sala de cables localizada debajo de las salas de control y protección, de donde se distribuyen a los diferentes tableros.

Las acciones de operación normal como procedimientos de energización de bahías de línea o transferencias, entre otros, se encuentran registradas en un documento denominado “consigna operativa”. Estos documentos contienen los pasos necesarios para realizar maniobras sobre los equipos de patio de la subestación.

La operación del sistema eléctrico está dada en varios niveles:

- Nivel de sistema, dado por el nivel más alto corresponde al Centro Nacional de Operación (C.N.O.).
- Nivel de generación, dado por los operadores de las subestaciones generadoras.
- Nivel de transmisión, dado por el Centro de Supervisión y Maniobras (CSM) y los operadores de las subestaciones transmisión.
- Nivel de distribución, dado por las empresas que suministran este servicio (transmisión regional y distribución local).

En esta sección se hace referencia a la operación de subestaciones de transmisión. Se debe recalcar que cualquier operación sobre los equipos primarios de potencia (equipos de patio) requiere autorización del Centro Nacional de Despacho (CND) y del CSM.

En estado normal, el encargado de realizar la operación debe tomar datos y ejecutar maniobras según las consignas<sup>9</sup> estipuladas y autorizadas, e inspeccionar equipos de patio, sala de control, servicios auxiliares, baterías, planta diesel, y planta de tratamiento de agua. Así, la función de un operador está muy bien definida y es en conclusión: "Operar, controlar, supervisar y mantener los equipos de la subestación para garantizar su óptimo funcionamiento y la continuidad del servicio" [Normas de Competencia Laboral, 2002].

El principio fundamental de la operación de una subestación es garantizar la seguridad del sistema del que hace parte, teniendo en cuenta la integridad y seguridad del personal que se encarga de su realización, y protegiendo la invulnerabilidad de los sistemas y equipos que la componen. Para esto, los sistemas de control tienen dentro de sus esquemas las facultades necesarias para garantizar la secuencia correcta de operaciones<sup>10</sup>. En el caso de los equipos de patio puesto que requieren mayor precaución gracias a la importancia y repercusión que tienen en el sistema interconectado.

Las operaciones que se realizan en los equipos de patio y en algunos sistemas como los de soporte pueden ser ejecutadas:

- Localmente, en el propio equipo en el patio exterior. Este mando se realiza a través de pulsadores ubicados en los armarios de los equipos exteriores.
- A distancia desde la caseta de relés. A través de un conmutador de accionamiento en el tablero mímico en el armario ubicado en la caseta de relés.
- A distancia desde la sala de mando o concentrador de la subestación. En este nivel se pueden realizar maniobras sobre cualquier campo de la subestación y se tiene un control de todos los equipos y sistemas de la subestación (en las

---

<sup>9</sup> Una consigna es un documento que contiene la descripción de las acciones que el operador debe realizar.

<sup>10</sup> Estas no se tienen en cuenta únicamente cuando la subestación es operada en estado de emergencia.

subestaciones de control convencional, este control no se puede efectuar por no existir equipos que concentren toda la información de la subestación).

- En forma remota (telecontrol), desde los centros regionales de despacho CRD's. Su función es la de coordinar la operación y maniobras con sujeción, a las instrucciones impartidas por el CND, en desarrollo de las previsiones contenidas en el reglamento de operación. El control se realiza a través de un enlace de comunicaciones.

#### **2.5.5.1 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 fallas 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. Debe dar una guía exacta de cómo ejecutar las maniobras oportuna y correctamente. Debe indicar qué hacer en caso de presentarse alarmas y disparos de los equipos durante la operación normal [Manual de Operación, 1999].

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

- Las generalidades: con la descripción de la subestación en términos de configuración, Control, Protecciones, Medidas, Servicios Auxiliares, Registro de Fallas, Telecomunicaciones, Localización Geográfica, Parámetros del Sistema y Diagramas Unifilares.
- 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 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 disparo, o cualquier causa de mal funcionamiento de los equipos y sistemas.

### **2.5.5.2 Consigna Operativa**

Las labores de operación de las subestaciones de transmisión son realizadas con la mayor precaución, encargando el sistema de supervisar las secuencias correctas mediante enclavamientos. Estos sólo se pueden desactivar en condiciones de emergencia (en las casetas de relés se encuentran los interruptores para desactivar los enclavamientos de los equipos primarios de patio).

Para realizar una operación en los campos 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, la transformación y la 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.

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 y 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, las secuencias 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 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 tomas en los transformadores.
  - Aterrizar transformadores, líneas y barras.
  - Aterrizar equipos de patio para mantenimiento.
  - Suspender puesta a tierra en equipos.
  - Realizar transferencias.
  - Deshacer las transferencias.
  - Realizar sincronismos.

- En los equipos de soporte:
  - Realizar mantenimientos en las plantas de generación (plantas de emergencia).
  - Encendido y apagado de las plantas de emergencia.
  - Realizar mantenimientos preventivos a los bancos de baterías.
  - Realizar 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 tiene su consigna respectiva.

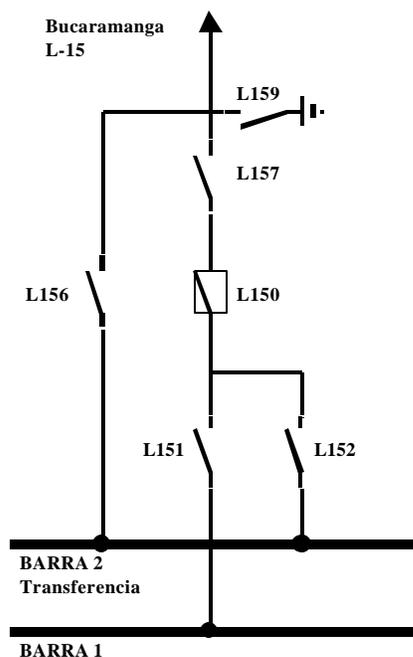
#### ➤ **Consignas Operativas para Equipos de Patio**

Esta clasificación de consignas hace referencia a las operaciones que se deben hacer en los equipos de patio. Debe existir una consigna operativa por cada posible operación que se pueda realizar con la configuración de la subestación. Si alguna maniobra estipulada en la consigna no se puede realizar, debe remitir a la correspondiente consigna bajo falla.

Como ejemplo, y para clarificar mejor la relación de las consignas operativas en condiciones normales y las consignas operativas bajo falla y, además, la relación

entre configuración y operación, se analiza una consigna específica para la configuración que se presenta en la Figura 21 que corresponde a una parte de una subestación de doble barra con transferencia. Esta consigna operativa corresponde a una acción sobre los equipos primarios de alta tensión.

La maniobra operativa es de energización de un circuito, se efectúa sobre los equipos que se presentan en la Figura 21. Dado que se desea la energización de la barra uno, se debe abrir el seccionador L159, y cerrar los seccionadores L157 y L151 y el interruptor L150. Adicionalmente se debe verificar el estado de los seccionadores L152, L156 y L159.

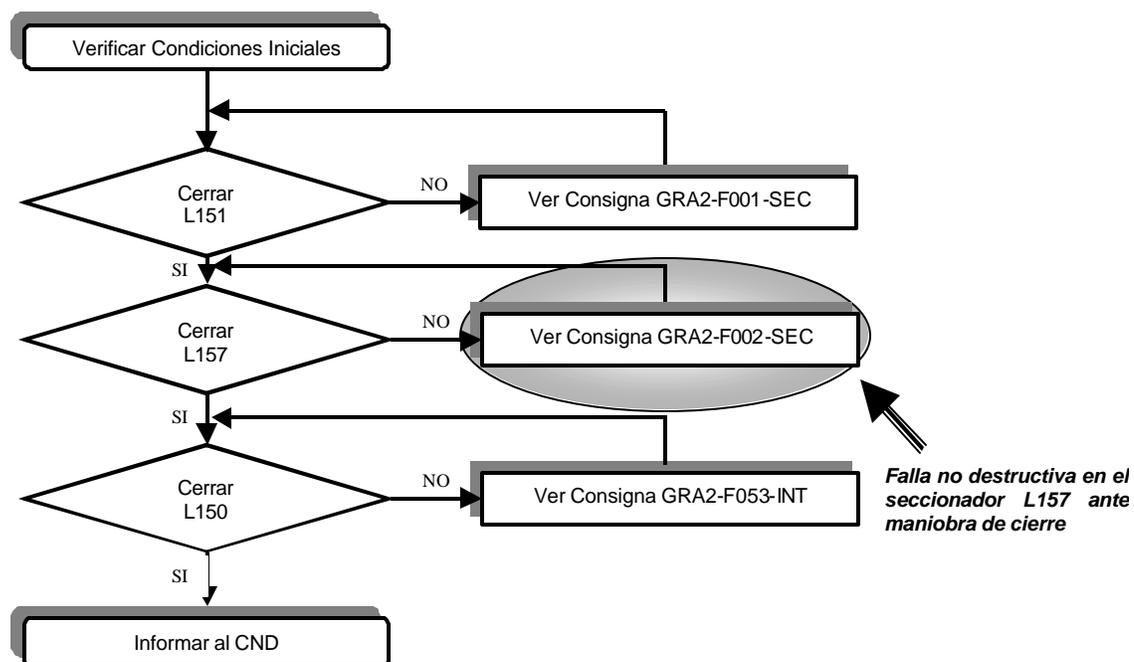


**Figura 21 Diagrama Unifilar de la bahía de línea de una subestación de doble barra con transferencia**

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 22 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 y Carrillo, 2000], y se describe a continuación.

1. Verificación de condiciones iniciales: Según el diagrama de flujo de la Figura 22 lo primero que se tiene que realizar es la verificación de las condiciones iniciales requeridas para realizar la maniobra de energización del circuito de línea. La verificación de estas condiciones contempla la confirmación del estado abierto del interruptor L150, los seccionadores de barra L151 y L152, el seccionador de transferencia L156, el seccionador de línea L157 y el seccionador de puesta a tierra L159, y que el campo esté libre de tierras portátiles [Manual de Operación, 1999].
2. Cierre de seccionadores: Para realizar esta labor se debe informar al Centro Nacional de Despacho (CND) sobre la operación. Éste autorizará preparar el campo de línea, para ser conectado a la barra 1, cerrando inicialmente el seccionador L151 y posteriormente el L157. Se debe verificar visualmente en el patio la posición final de los seccionadores operados (Cierre correcto) e informar a CND que el campo de línea Bucaramanga (L1-5) está preparado.
3. Cierre de interruptor: Luego que se verifica el cierre de los seccionadores, el CND autorizará el cierre del Interruptor L150.
4. Finalización de la maniobra: Para el cierre de la maniobra se debe informar al CND que el campo de la línea Bucaramanga L1-5 quedó energizado a la Barra 1 y registrar en bitácora los datos de la maniobra y la hora en que ésta se ejecutó.

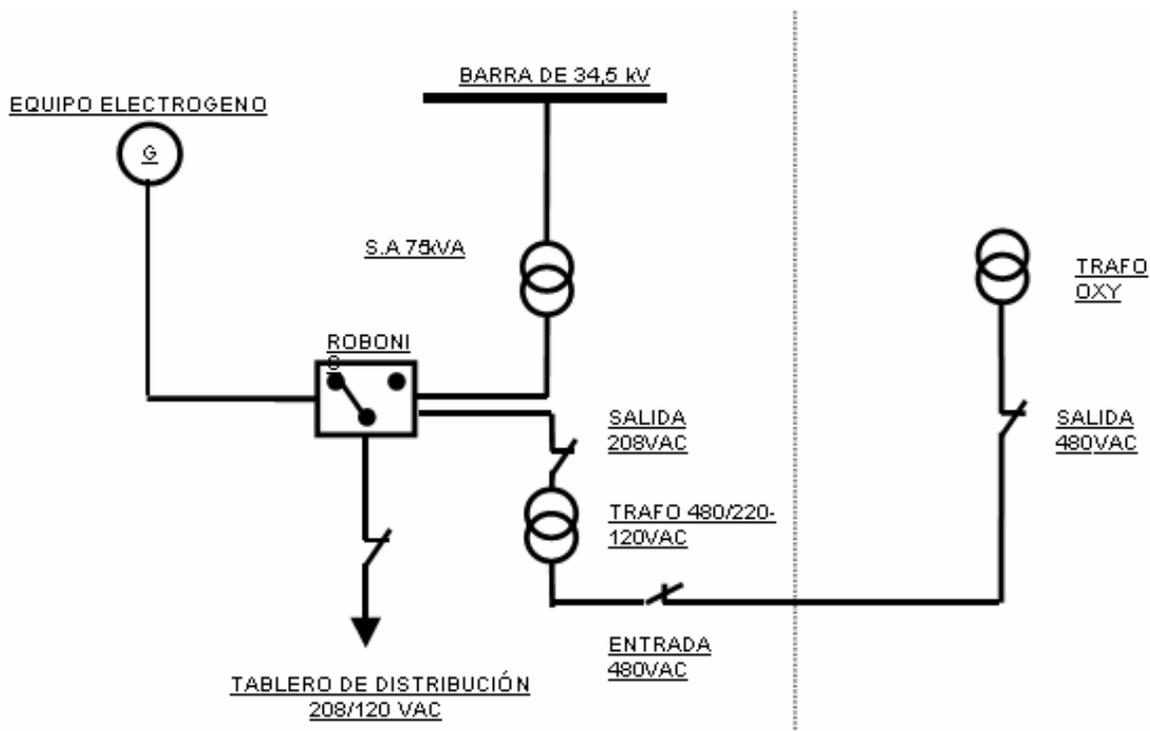


**Figura 22 Diagrama de flujo para la maniobra de energización de la línea Bucaramanga L-15 de la subestación Guatiguará.**

### ➤ 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.

A continuación se presenta una consigna operativa del sistema de soporte. La operación se realiza en los sistemas primarios de distribución de los servicios auxiliares. En la Figura 23 se presenta el diagrama unifilar de los equipos involucrados para realizar esta operación.



**Figura 23 Diagrama unifilar del sistema de servicios auxiliares para realizar la consigna.**

La consigna operativa a realizar corresponde a la maniobra de cambio de alimentación principal (acometida) de los servicios auxiliares y se realiza sobre los equipos que se muestran en la Figura 23. Se deben maniobrar los interruptores (breaker) de 480V ca para pasar de la alimentación de los sistemas de servicios auxiliares desde el transformador OXY al transformador SA.

El estado de los equipos antes de la realización de la operación es: Trafo de S.A. 34,5 kV /208/120V desenergizado, "Breaker" de salida a 480 VAC en Oxy cerrado (on), "Breaker" de alimentación a 480 VAC desde Oxy hacia Trafo de S.A. 480/208 VAC cerrado (on), "Breaker" de salida a 208 VAC desde Trafo de S.A. 480/208 hacia Robonic cerrado (on), S.A. alimentados desde Oxy.

Para el cambio de la alimentación se deben realizar las siguientes operaciones:

1. Coordinar con el operador de Oxy la maniobra a realizar.
2. Abrir el "Breaker" de salida a 208 VAC desde Trafo de S.A. 480/208 hacia Robonic. El Equipo Electrónico entra en funcionamiento y toma la carga de los S.A.
3. Reiniciar la alarma # 19 en el anunciador.
4. Abrir el "Breaker" de alimentación a 480 VAC desde Oxy hacia Trafo de S.A. 480/208 VAC.
5. Abrir el "Breaker" de salida a 480 VAC en Oxy.
6. Confirmar la ausencia de tensión y confirmar al operador de Oxy.
7. Retirar del Robonic los conductores que llegan del Trafo de S.A. 480/208 V.
8. Conectar al Robonic los conductores que llegan del Trafo de S.A. 34,5 kV / 208/120 V.
9. Energizar el Trafo de S.A. 34,5 kV /208/120V. Automáticamente el Robonic hace la transferencia de carga del Equipo Electrónico al Trafo de S.A. 34,5 kV /208/120 V.
10. Reiniciar la alarma # 19 en el anunciador. El Equipo Electrónico se apagará después de transcurridos algunos segundos.
11. Informar al CTE Oriente sobre las maniobras realizadas.
12. Registrar en bitácora.

### **2.5.6 Fallas en las Subestaciones**

Las condiciones de operación normal de los equipos de una subestación están descritas en la descripción del funcionamiento y operación normal de los equipos presentados en el manual de operación. 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 requiere comenzar a crear cada uno de los posibles escenarios de fallas y recrear las características y consecuencias que se generarían bajo dichas condiciones.

El estudio de las características, la desagregación de funciones y equipos y las condiciones de operación de las subestaciones constituyen el punto de partida para realizar un análisis de tal magnitud; parte de este trabajo se trató anteriormente en la descripción funcional de una subestación y en el análisis de su operación. Es necesario comenzar a estudiar el comportamiento de los equipos y sistemas en condiciones anormales y el funcionamiento del sistema global ante la falla de alguno de sus componentes (efecto de fallas individuales en el comportamiento del sistema). Asimismo, se requiere establecer prioridades en los escenarios de fallas teniendo en cuenta los requerimientos y el nivel de especialización que se requiera en ciertas circunstancias de falla (dependiendo de las características del sistema y las necesidades de la empresa y sistema).

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 requieren 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 involucran toda la organización y el sistema. En estos casos, se han desarrollado unas 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 [Álvarez-Quintero, 2001], y los planes de contingencia para fallas destructivas en casetas de control y protección [Beltrán-Santos-Sequeda, 2002]. En este análisis 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; mediante la recuperación de la funcionalidad de los equipos en los casos donde es 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.

Los documentos que contienen las maniobras y procedimientos orientados a restaurar las condiciones normales de operación se denominan consignas bajo falla, en ellos se encuentran la mayoría de posibilidades de fallas que se pueden presentar en una subestación así como los procedimientos, en cada caso, para: restablecer la disponibilidad del equipo o sistema, culminar operaciones de los equipos primarios de potencia, llegar a la localización de punto de falla, o la realización de un diagnóstico que facilite la labor del personal calificado. Para el análisis de fallas en las subestaciones se cuenta con las consignas de falla desarrolladas para las diez subestaciones del CTE Oriente: Guatiguará, Comuneros, Primavera, Ocaña, San Mateo, Caño Limón, Samoré, Toledo, Banadía y Los Palos [Ariza y Santamaria, 2001] [Lara, 2001] [Ferreira, 2001] [Jaimes y Leiva, 2001] [Mora, 2001] [Álvarez y Quintero, 2001] [Gutiérrez y Niño, 2001] [Anteliz, 2001] [Álvarez, 2001] [Duarte y Sandoval, 2002] [Beltrán, Santos y Sequeda, 2002] [Oliveros y Payares, 2003].

La elaboración de las consignas bajo falla para las subestaciones surge de la necesidad de respuesta del CTE Oriente frente a las nuevas reglamentaciones del sector en cuanto a disponibilidad de equipo, y para completar el Manual de Operación de Subestaciones. Este manual es un documento que contiene todas las consignas operativas para maniobras de equipos, así como las acciones que se deben tomar en caso de falla de los mismos. El manual de operación además, indica las acciones a realizar en caso de presentarse alarmas y disparos de los equipos durante la operación normal.

### **2.5.6.1 Consignas Bajo Falla**

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 y Carrillo, 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 que el actual.

El alcance de la consigna bajo falla está limitado a las acciones que son permitidas realizar por parte del operador, de tal forma que no se comprometa la integridad y estabilidad de los sistemas y equipos de la subestación, así como 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 esquemas funcionales de algunos sistemas (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 cuatro 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.

### 3 MODELO DE SIMULACIÓN DE SUBESTACIÓN

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En la operación y control de un sistema o proceso, se deben tomar continuamente decisiones acerca de las acciones que se ejecutarán, con el ánimo de mantener los parámetros característicos bajo las condiciones requeridas, o con el ánimo de que el sistema o proceso responda de una manera determinada. Estas decisiones deben ser tales que la conducta resultante del sistema satisfaga de la mejor manera posible los objetivos planteados.

En la selección de las acciones correctas es necesario saber la evolución del sistema o proceso durante su ejecución. Esto se puede establecer mediante la experimentación con el sistema o proceso, realizando las acciones en el sistema y registrando su comportamiento. Sin embargo, factores como costos, seguridad y otros, pueden hacer esta opción inviable. Con el propósito de superar estos inconvenientes, se reemplaza el sistema real por otro sistema con características similares (que en la mayoría de los casos es una versión simplificada) y se somete a experimentación.

Las técnicas de simulación desde su aparición, han proporcionado una herramienta útil para superar los problemas mencionados, y realizar análisis e investigación de sistemas o procesos (diseño de sistemas de control, optimización de sistemas, optimización de los procesos), pero su aprovechamiento para el aprendizaje se proyectó con el desarrollo de los computadores (simuladores de vuelo, de plantas termonucleares). No obstante, las dificultades en la aplicación de esta técnica a la vida real de las empresas, atentaba contra su efectiva aplicación a la solución de problemas (modelos costosos de construir y validar, muy poco flexibles frente a

condiciones cada día más inestables, y habitualmente concebidos y manejados "por expertos", no por los reales operadores del sistema). El desarrollo experimentado en el área informática en las dos últimas décadas, ha permitido superar estas dificultades y ha potencializado la simulación como una de las áreas con más desarrollo, no sólo en la capacitación, sino en todos los ámbitos.

### **3.2 MODELO DEL COMPORTAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

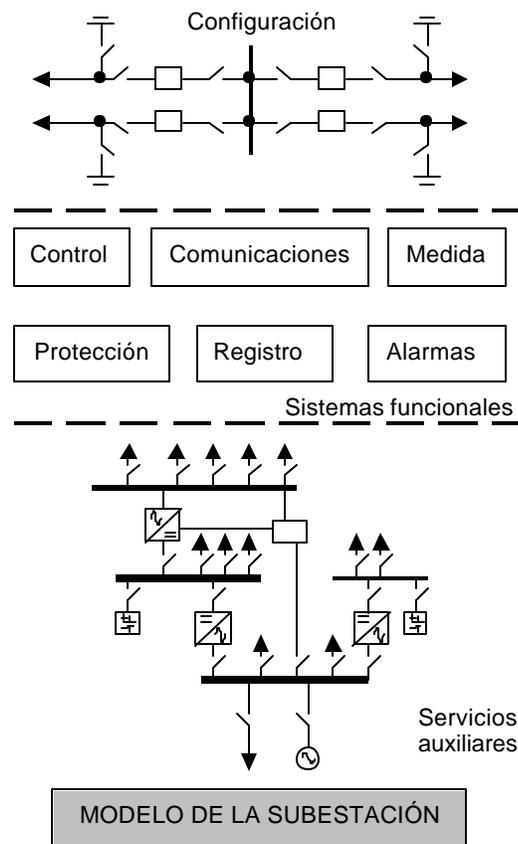
Para la construcción del modelo del sistema se tomó como base la desagregación presentada en el capítulo dos. A continuación se detallan las consideraciones específicas que se realizaron en cada parte para representar las características operacionales de una subestación de transmisión, teniendo en cuenta que el modelo se pretende usar como un instrumento pedagógico de los procedimientos operativos.

En el modelo de funcionamiento no se tienen en cuenta los parámetros de corrientes ni tensiones en el tiempo. El parámetro de tensión se tiene en cuenta para la presentación de la condición de los equipos (energizados, desenergizados), y será la variable que determinará el estado del sistema. Lo anterior, debido a que desde el punto de vista de los operadores de subestaciones, el comportamiento en el tiempo de los parámetros de tensión y de corriente no es de gran interés, ya que estos varían rápidamente (presentan un ciclo en 16 milisegundos), y los sistemas de protecciones y registro de fallas se encargan de responder a las variaciones anormales de éstos en la misma escala de tiempos. Los operadores no requieren analizar estos parámetros en el tiempo para tomar decisiones operativas.

La función principal de una Subestación de Conmutación es la de conectar y desconectar diferentes puntos del Sistema Eléctrico. Dicha tarea se realiza a través de los interruptores y seccionadores, además debe posibilitar la seguridad y confiabilidad del Sistema Interconectado ante perturbaciones de los parámetros de tensión y corriente a través de los Sistemas de Protecciones. Para ello, el sistema

de la subestación está dividido en elementos con funciones e interrelaciones definidas en el momento de su diseño.

La descripción general de una subestación presenta una relación determinada de los diferentes sistemas. El sistema de la subestación es gobernado por la ejecución de subrutinas (consignas de operación) y se enfoca en identificar las actividades y las condiciones bajo las cuales se pueden realizar las actividades. El modelo de la subestación, necesario para la realización de consignas, debe incluir la lógica de control, la realización de los procesos operativos de los asistentes de subestaciones y los operadores del CND, y la presentación de fallas en los equipos. El modelo debe permitir las acciones que realiza el asistente de subestaciones y reflejar las implicaciones y consecuencias en el estado del sistema. Estas son las dos cosas que para el operador son de importancia pues son las que debe chequear y en las cuales él puede tomar decisiones. En la Figura 24 se observan los sistemas que conforman el modelo con el cual se ha representado la Subestación.



**Figura 24 Estructura general del modelo de la subestación.**

### 3.2.1 Sistema de Potencia

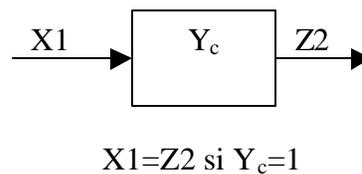
#### 3.2.1.1 Configuración

La configuración está formada por la conexión de líneas de transmisión (de generación o de carga), interruptores, seccionadores, barras, transformadores de medida, pararrayos y trampas de onda. El modelo de la configuración está dado por la conexión y estado de los equipos y refleja las relaciones necesarias para el cambio de estado de operación.

El modelo de los elementos que integran la configuración se puede realizar utilizando elementos básicos: cables, interruptor, selectores y bobinas.

- Cable

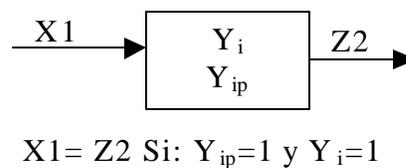
La característica funcional de los cables es conducir la corriente y presentar caídas de tensión nulas. Se define mediante una variable lógica que representa el estado del elemento como bueno (1) o malo (0) y una regla que define su funcionamiento: si el elemento se encuentra en buen estado la entrada de tensión es igual a la de salida. Estas condiciones se observan en la Figura 25



**Figura 25 Representación de los cables**

- Interruptor

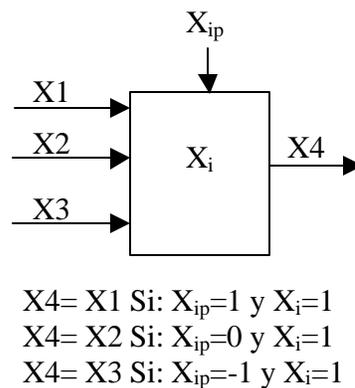
Los interruptores permiten controlar el flujo de señales a partir de su estado. Las condiciones necesarias se observan en la Figura 26



**Figura 26 Representación del Interruptor de Potencia**

- Selectores

Los selectores son conmutadores de tres posiciones que permiten seleccionar el modo de mando de los interruptores y seccionadores. Son elementos de múltiples entradas y una sola salida. La representación matemática está dada por tres variables de entrada provenientes de los sistemas de control: una variable de salida para el control de los equipos, una variable de entrada proveniente del operador de la subestación que define la condición del conmutador (local, remoto o desconectado) y una variable que representa el estado del elemento (falla / normal). La regla que relaciona estas variables se puede ver en la Figura 41.

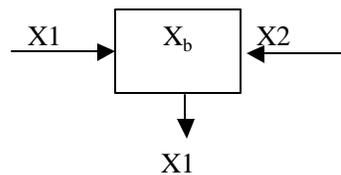


**Figura 27 Representación del Selector**

- Bobinas

Las bobinas de apertura y cierre son elementos electromecánicos que al energizarse activan las partes mecánicas de los interruptores mediante fuerzas magnéticas que generan el cierre o la apertura. El modelo matemático que representa el funcionamiento está dado por una variable lógica que representa el estado del elemento (bueno o malo) y otra que controla la regla de su funcionamiento. Las entradas son las señales del sistema de control ( $X_1(+)$  y  $X_2(-)$ ), la salida es la señal de posición del interruptor, cero para abierto y uno para cerrado

dependiendo de la bobina que se esté representando, las reglas de funcionamiento se definen mediante el estado de la variable interna de la bobina y las variables de entrada a la misma tal como se presentan en la Figura 40.



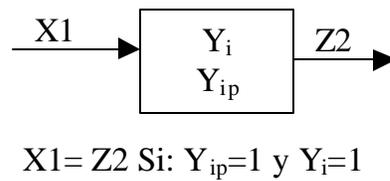
Bobina de apertura	Bobina de Cierre
XI=1 Si:	XI=0 Si:
$X_b=1$	$X_b=1$
$X1=+65V$	$X1=+65V$
$X2=-65V$	$X2=-65V$

**Figura 28 Representación de la Bobina**

### 3.2.1.2 Equipos Primarios de Potencia

#### ➤ Modelo del Interruptor

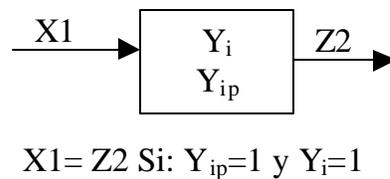
Los interruptores permiten controlar el flujo de corriente dependiendo de las condiciones de las bobinas de control. Su modelo está conformado por dos partes: la de control y la de configuración. La parte de configuración está dada por el modelo básico del interruptor y presenta las dos variables  $X1$  y  $Z2$  que representan las tensiones en los dos lados. La variable  $Yi$  representa el estado interno del interruptor (bueno o malo) que estaría asociado a fallas en los mecanismos del interruptor mientras que la variable  $Yip$  representa la posición del interruptor (abierto/cerrado) que se controla a través de su sistema de control.



**Figura 29 Representación del Interruptor**

➤ **Modelo del Seccionador**

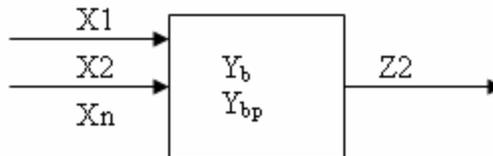
Desde el punto de vista funcional, estos equipos no tienen la capacidad de interrupción de corriente. Como se está trabajando el modelo con base en la señal de tensión como parámetro característico, el modelo del Seccionador se asemeja al del interruptor. Las variables  $X1$  y  $Z2$  representan la tensión de los elementos a los cuales está conectado, la variable  $Y_i$  representa el estado interno del seccionador (bueno o malo asociado a fallas en sus mecanismos de accionamiento), la variable  $Y_{ip}$  representa la posición del seccionador (abierto/cerrado) que se controla a través de su sistema de control.



**Figura 30 Representación del Seccionador**

### ➤ Modelo de la Barra

Las barras son los elementos de conexión de donde salen las líneas. El modelo a utilizar es el modelo del cable con múltiples entradas.



**Figura 31 Representación de la Barra**

### ➤ Modelo de la Línea

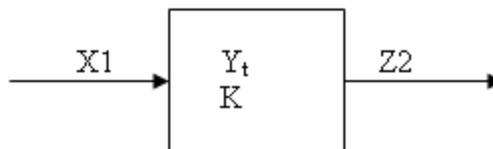
Las líneas son los elementos que proporcionan la conexión de la subestación con los demás elementos del Sistema Interconectado. Se tienen dos clases de líneas que son preponderantes para el estado de la configuración, las asociadas a centrales generadoras o alimentación de energía y las asociadas a cargas. Sin embargo, estas dos condiciones pueden cambiar, es decir que en ciertos momentos, una línea puede alimentar la subestación y en otro puede estar recibiendo energía de la misma. Inicialmente, se diferencian estas dos condiciones: las líneas asociadas a centrales generadoras tendrán tensiones y frecuencias constantes. Por otro lado, en las asociadas a cargas, la tensión y la frecuencia dependerán del estado de la configuración. Los valores de tensión y frecuencia son las entradas o salidas de la configuración para el sistema de potencia.

### ➤ Modelo de la Puesta a Tierra

Las puestas a tierra son los elementos que posibilitan la descarga del sistema. El modelo de estos elementos lo constituyen parámetros de tensión y de corriente fijos e iguales a cero.

### ➤ Modelo de los Transformadores de Tensión

Los transformadores de tensión son los elementos encargados de capturar las condiciones del sistema. El modelo de este elemento presenta una relación constante entre la tensión de entrada y la tensión de salida, idéntica al modelo ideal del transformador.



**Figura 32 Representación del Transformador**

### 3.2.2 Sistemas Funcionales

Los Sistemas Funcionales agrupan los equipos y subsistemas que le brindan diferentes características a la subestación y que tiene un grado de complejidad creciente desde el punto de vista físico, funcional, de control, de protecciones, de alarmas, de registro, de fallas, de medida y de comunicaciones.

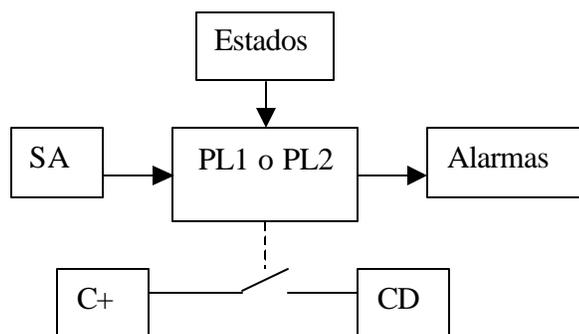
#### 3.2.2.1. Sistema de Protecciones

Los Sistemas de Protecciones de las Subestaciones son sistemas bastante complejos, compuestos en su mayoría por relés digitales de última tecnología. Sin embargo, los procedimientos operativos, presentan gran simplicidad.

Las acciones operativas en el sistema de protecciones pueden ser de dos clases: procedimientos de fallas de los relés y procedimientos que se realizan cuando actúan en condiciones normales a su función. Los primeros establecen el seguimiento y manipulación del “software” de los relés para chequear la fijación, las funciones y las fallas del equipo. Los segundos se encargan de describir los casos

en los cuales se activan y la serie de acciones o consecuencias que trae la actuación de una protección. Por lo tanto, las consignas de protecciones son informativas, y remiten al Asistente de Subestaciones al chequeo de las señales al “software” de los relés, al registro y a la reposición de los relés activados.

El modelo del sistema de protecciones, más que proporcionar las señales de tensión y de corriente y la lógica de operación, debe representar la activación de los relés y las acciones que realiza, es decir, los cambios de estados que originan la actuación de una protección en particular. Este modelo está relacionado con el sistema de alarmas.

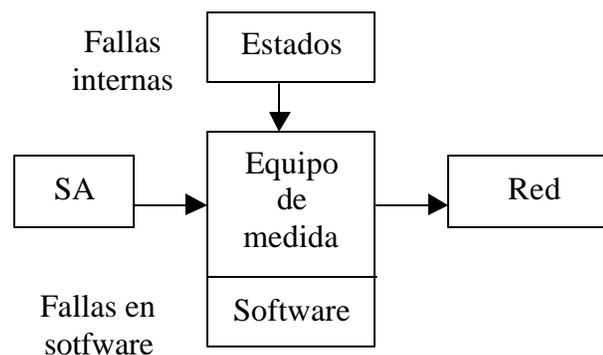


**Figura 33 Protecciones Principales de Línea.**

El modelo básico del Sistema de Protecciones está constituido por cajas negras con sus relaciones con los otros Sistemas de la Subestación, como se observa en la Figura 33. En donde se muestran las Protecciones Principales de Línea y las relaciones con los demás sistemas. Las protecciones de líneas principales, interactúan con el sistema de servicios auxiliares (proporcionan las señales de tensión para su operación, SA), con los interruptores (dependiendo de las condiciones de las señales de tensión y de corriente que actúan sobre sus circuitos de control, apertura y cierre), con los estados (representan las condiciones de fallas y los requerimientos, y las condiciones iniciales) y con las alarmas (registra la actuación y la comunica al asistente de subestaciones).

### 3.2.2.2. Sistema de Medida

Las subestaciones de transmisión cuentan con contadores multifuncionales asociados a las Líneas de Transmisión y a los Sistemas de Servicios Auxiliares. Los contadores están conectados por una red independiente, compuesta por un concentrador (constituyen la unidad de acceso a la red para la conexión y direccionamiento de los contadores de energía), un modem (para el acceso remoto a la red) y los conversores opto-eléctricos (para realizar la conexión con el medio de comunicación usado en la red). Esta red está integrada al Sistema de Control Coordinado, permitiendo realizar la lectura y programación de forma remota.



**Figura 34 Estructura del Modelo de los Equipos de Medida**

Los procedimientos operativos de falla hacen referencia a tres clases de fallas: fallas asociadas al “software” del equipo, fallas asociadas al “hardware” del equipo y fallas asociadas a las señales externas o a la red de contadores. Los modelos del sistema de contadores deben permitir la emulación de estas características de falla.

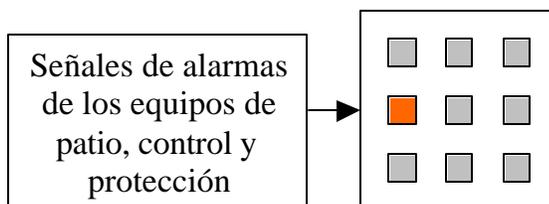
El modelo está compuesto por tres partes asociadas a las fallas que se pueden presentar: la primera parte establece las variables de estados de falla que se activan al existir fallas internas del equipo, la segunda corresponde al “software” del equipo y permite el acceso a las revisiones y configuraciones necesarias de los equipos, y la tercera parte establece: la alimentación proveniente del sistema de servicios

auxiliares, las conexiones con los equipos de medida y la red de medidores. En la Figura 34 se puede observar el diagrama de bloques de este modelo.

### 3.2.2.3. Sistema de Alarmas

El sistema de alarmas de las subestaciones, se encuentra agrupado en áreas y se encarga de la señalización de las alarmas de los equipos que están asociados al área de la subestación. Estas alarmas se muestran en el panel de alarmas, compuesto en la mayoría de los casos por una matriz de diodos de señalización. Algunos de los elementos de señalización se activan por varias señales de alarmas.

Otra función del sistema de alarmas es presentar la actuación del sistema de protecciones. Cabe anotar que el sistema de alarmas está integrado al sistema de control de la subestación y a los equipos controladores de campo. Sin embargo, en este modelo se ha desagregado con el fin de facilitar la representación de los procedimientos operativos y disminuir la complejidad del sistema de control.

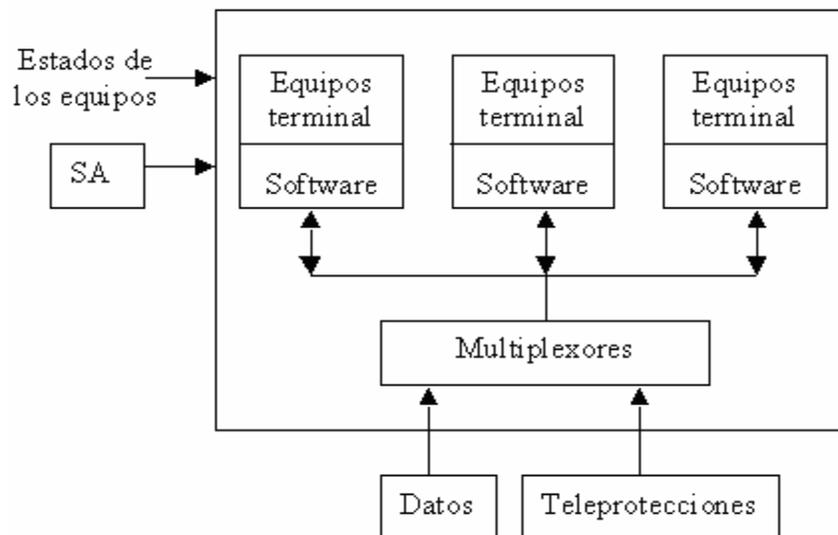


**Figura 35 Esquema básico del Modelo de Alarmas**

Algunas de las alarmas que se pueden presentar son: falla en las polaridades de los circuitos de disparo, disparo con bloqueo, discrepancia de polos, baja presión de SF6 etapas 1 ó 2, disparo por falla del interruptor, falla alimentación del motor del seccionador, disparo sobretensión, disparo PL1 o PL2, disparo por protecciones complementarias, falla en comunicaciones PL1 o PL2, falla polaridad protecciones. Estas alarmas pueden diferir dependiendo de la subestación eléctrica.

### 3.2.2.4. Sistema de Comunicaciones

Los equipos de comunicaciones están asociados a las bahías de línea y permiten la comunicación con las subestaciones remotas. El sistema de comunicaciones en las subestaciones eléctricas es un sistema bastante complejo, puede utilizar fibra óptica o las líneas de potencia (PLP). La red de comunicaciones está compuesta por: equipos multiplexores, amplificadores, módems ópticos y sistema PLP. Este a su vez, consta de trampas de onda, condensador de acople, unidad de acople, cables de alta frecuencia y equipo terminal PLP.



**Figura 36 Modelo general del Sistema de Comunicaciones.**

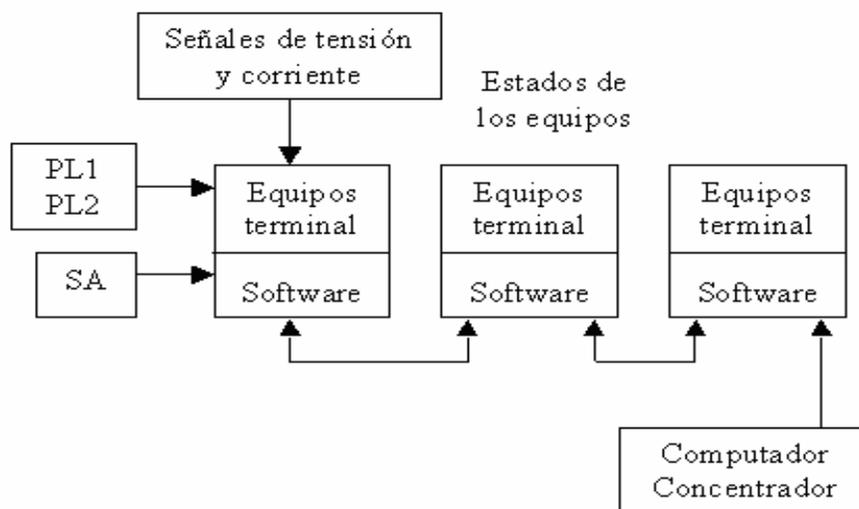
En la Figura 36 se presenta el modelo general del Sistema de Comunicaciones para representar las fallas y posibilitar los procedimientos operativos. Cada equipo se presenta como una caja con una variable de estado que refleja la condición interna.

### 3.2.2.5. Sistema de Registro de Fallas

Las subestaciones cuentan con un sistema de registro de fallas ordenado en estaciones de adquisición de datos. Éstas están formadas por uno o varios

registradores de falla conectados directamente o en red con jerarquía maestro – esclavo sobre el control del canal de comunicación con la estación de visualización y control. Por cada campo de línea asignado a la subestación, existe un registrador encargado de grabar el comportamiento de las señales de tensión y corriente de sus líneas de transmisión. Adicionalmente, se encarga de detectar la operación y el arranque de las protecciones, la operación del recierre y la posición de los polos de los interruptores de las líneas a través de las entradas digitales. Cada subestación posee un computador que sirve como estación de control de las estaciones de registro. Estos computadores se conectan al sistema general de ISA a través de una red LAN permitiendo el control y acceso remoto de cada registrador.

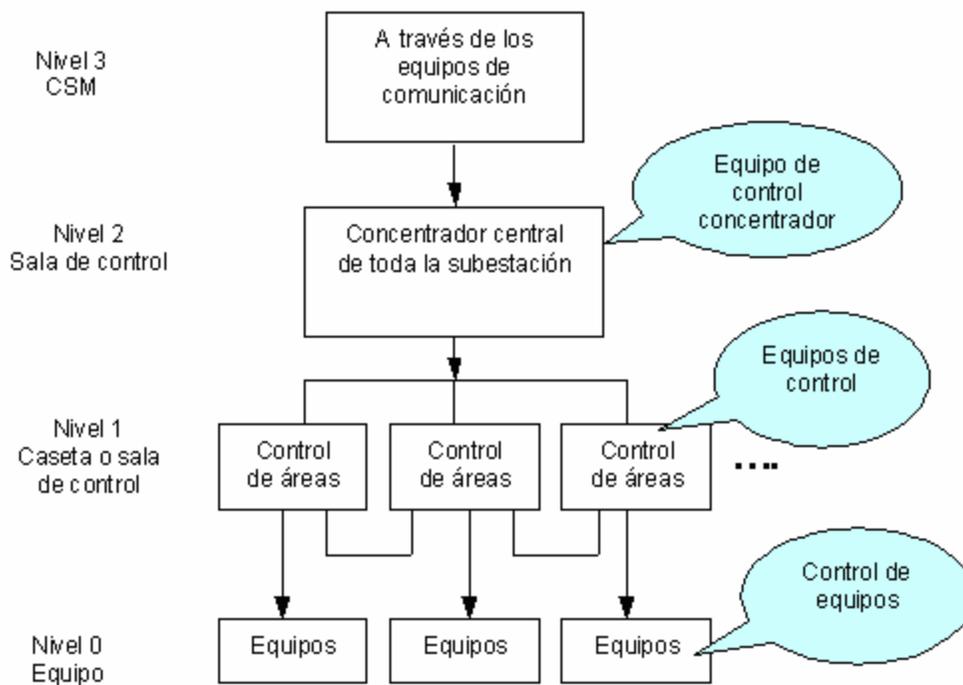
El modelo de este sistema está compuesto por elementos que representan los equipos de registro de fallas con las características de acceso al “software”, y la representación mediante una variable de estado de falla interna del equipo, controlada por la función de consignas o de entrenamiento del simulador según los requisitos. La relación con los demás equipos se establece mediante cables que proporcionan el flujo de datos (de igual manera que en los circuitos de control). En la Figura 37 se puede observar la estructura del modelo del sistema de registro de fallas.



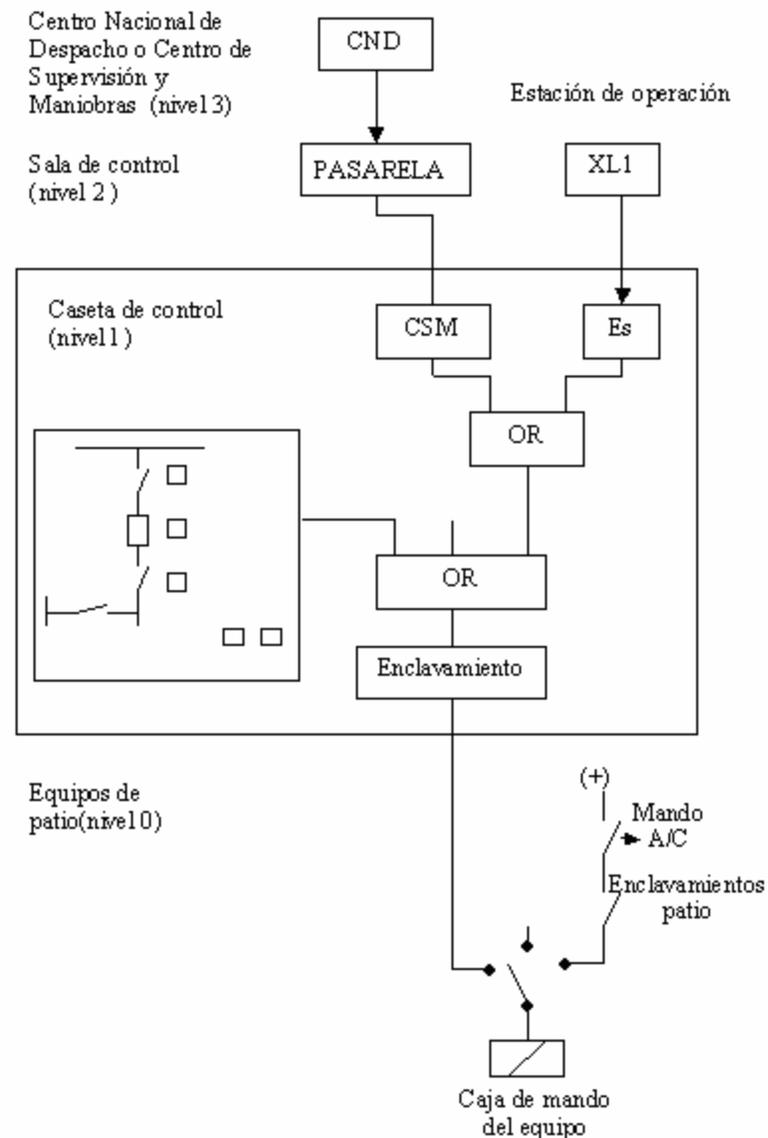
**Figura 37 Estructura del Modelo del Sistema de Registro de Fallas**

### 3.2.2.6. Sistema de Control

El sistema de control de la subestaciones está dividido por áreas, permitiendo supervisar y controlar el funcionamiento de todo el sistema.



**Figura 38 Jerarquización y estructura del sistema de control**



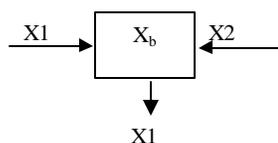
**Figura 39 Modos de operación de sistema de control**

➤ **Nivel de Control Cero**

Sistema de control del interruptor: los interruptores poseen mandos unipolares independientes, puesto que las características de los mismos así lo requieren. Poseen dos bobinas de apertura asociadas a diferentes sistemas de protecciones cada una, y una bobina de cierre por polo. El sistema de control del interruptor está

compuesto por: bobinas de apertura y cierre, interruptores de enclavamientos, interruptores de accionamiento y selectores de control.

- o Bobinas de apertura y cierre: Las bobinas de apertura y cierre son elementos electromecánicos que al energizarse activan las partes mecánicas de los interruptores mediante fuerzas magnéticas que generan el cierre o la apertura. El modelo matemático que representa el funcionamiento está dado por una variable lógica que representa el estado del elemento (bueno o malo) y otra que controla la regla de su funcionamiento. Las entradas son las señales del sistema de control ( $X1(+)$  y  $X2(-)$ ), la salida es la señal de posición del interruptor, cero para abierto y uno para cerrado dependiendo de la bobina que se esté representando, las reglas de funcionamiento se definen mediante el estado de la variable interna de la bobina y las variables de entrada a la misma tal como se presentan en la Figura 40.

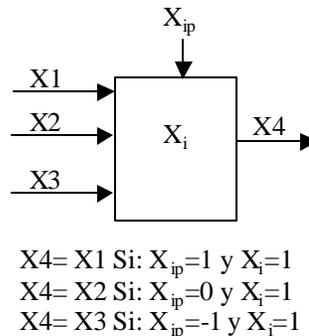


Bobina de apertura	Bobina de Cierre
$XI=1$ Si:	$XI=0$ Si:
$X_b=1$	$X_b=1$
$X1=+65V$	$X1=+65V$
$X2=-65V$	$X2=-65V$

**Figura 40 Representación de las bobinas de apertura y cierre**

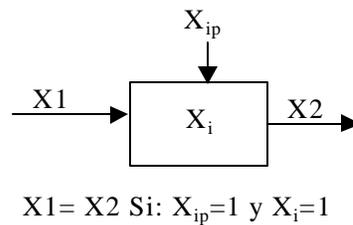
- o Selectores de control: son conmutadores de tres posiciones que permiten seleccionar el modo de mando de los interruptores y seccionadores. Son elementos de múltiples entradas y una sola salida. La representación matemática está dada por tres variables de entrada provenientes de los sistemas de control: una variable de salida para el control de los equipos, una variable de entrada proveniente del operador de la subestación que define la condición del conmutador (local, remoto o desconectado) y una variable que

representa el estado del elemento (falla / normal). La regla que relaciona estas variables se puede ver en la Figura 41.



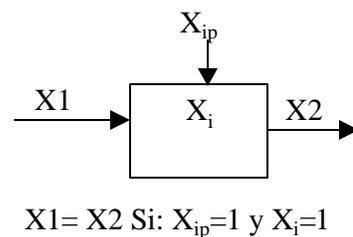
**Figura 41 Representación de los selectores de mando o de control**

- Interruptores pulsadores (apertura / cierre): corresponden a los pulsadores por polo y por equipo que posibilitan a los asistentes de la subestación el control de los interruptores y seccionadores desde el nivel cero. Al ser accionados por el operador originan los pulsos de control que activan las bobinas de los interruptores y seccionadores. Mientras el operador mantenga accionado el pulsador, la variable de entrada es igual a la variable de salida, después que deje de accionarlo vuelve a las condiciones normales de operación. La representación consta de una variable de entrada que corresponde a la señal de tensión proveniente del sistema de control ( $X1$ ), la variable de salida correspondiente a la señal de salida para las bobinas de control de los equipos ( $X2$ ), la variable  $X_{ip}$  que representa la acción del asistente y la variable  $X_i$  que indica el estado del pulsador. La regla que representa su funcionamiento se observa en la Figura 42



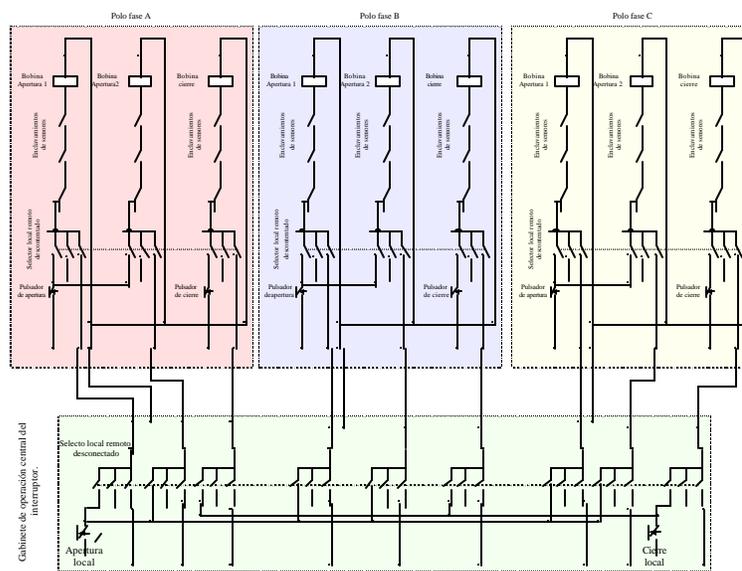
**Figura 42 Representación de los Interruptores pulsadores**

- Contactos auxiliares: su funcionamiento es igual que el de un interruptor, es decir que permiten la interrupción de corriente. Se diferencian de él en que su posición es gobernada por una bobina de control o un sistema de supervisión. El modelo de estos elementos es el mismo y la regla que relaciona su funcionamiento se presenta en la Figura 43.



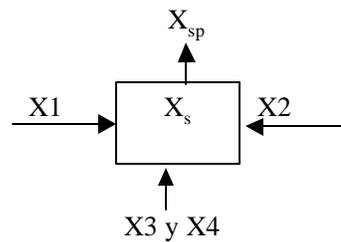
**Figura 43 Representación de los interruptores pulsadores de control de los interruptores y seccionadores.**

Es así, como los interruptores están conformados por la conexión serie paralelo de cada uno de los modelos descritos. La representación del interruptor estaría dada por la integración de los elementos tal como se encuentran relacionados en el diagrama de control del equipo que se muestra en la Figura 44. De igual forma se pueden realizar arreglos serie paralelo de los anteriores elementos para representar el control de diferentes clases de interruptores dependiendo de las características particulares de la subestación a simular.



**Figura 44 Circuitos de control de un interruptor**

- Sistema de control del seccionador: los seccionadores desde el nivel de control del equipo (nivel cero) se pueden accionar mediante un motor de corriente continua o a través de una manivela manipulada por el asistente de la subestación que activa los mecanismos de apertura y cierre del equipo. Cuando se activa la manivela, el motor no ejerce ninguna acción sobre el equipo puesto que lo impide el enclavamiento con la manivela. El motor es controlado por los pulsadores que se encuentran en el gabinete de control. El modelo que representa este funcionamiento se compone de los mismos elementos del interruptor: interruptores pulsadores, contactos auxiliares, bobinas y selectores de control.
- Motor: la representación del motor está dada por dos variables de entrada provenientes de las bobinas de control para la apertura y el cierre ( $X1$  y  $X2$ ), la variable interna que representa el estado interno del motor, la variable de control ( $X_{sp}$ ) que representa el estado del seccionador y las señales de tensión y de corriente provenientes del sistema de servicios auxiliares. La regla que define su funcionamiento se presenta en la Figura 45.

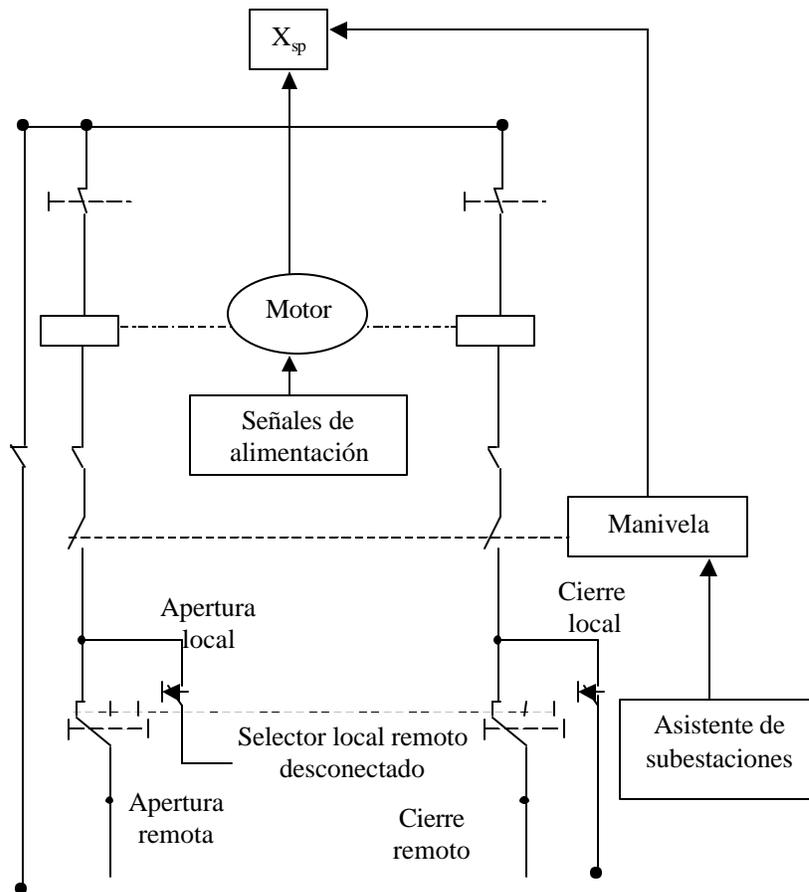


X1 Bobina de apertura  
 X2 Bobina de Cierre  
 $X_s$  Estado interno del motor  
 $X_{sp}$  Posición del seccionador  
 X3 y X4 alimentación del motor  
 $X_{sp}=0$  Si:  $X2=1$ ,  $X_s=0$  y tensión  
 $X_{sp}=1$  Si:  $X1=1$  y  $X_s=0$

**Figura 45 Modelo del funcionamiento del motor del seccionador**

- Manivela: su representación está dada por dos entradas y dos salidas. Una de las entradas proviene de la activación de la manivela y la otra de su operación. Estas dos variables las controla el asistente de la subestación. Una de las salidas da el estado del seccionador, y la otra, el estado del contacto auxiliar en los controles de las bobinas del motor (representa el enclavamiento).

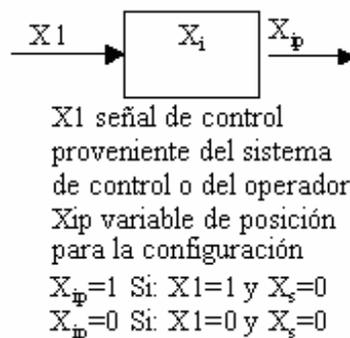
El seccionador se puede representar por las conexiones serie paralelo de los modelos antes descritos. Dichas conexiones se muestran en la Figura 46.



**Figura 46 Circuitos de control de un seccionador**

- Sistema de control de servicios auxiliares: los equipos y sistemas de servicios permiten el control desde el nivel cero mediante la intervención del Asistente de subestaciones a los equipos, además algunos posibilitan el control desde los niveles de control superiores. Todos los interruptores permiten al asistente de subestaciones modificar su estado (abrir / cerrar), y el control remoto. La configuración de los servicios auxiliares posibilita gran cantidad de combinaciones que el asistente de la subestación debe conocer. Los elementos a modelar son:

- o Las plantas generadoras: estas plantas permiten tanto la operación manual realizada por el asistente como la operación por el sistema de control desde los niveles superiores. Inicialmente, se representa como una caja negra.
- o Los interruptores del mímico de nivel uno: estos interruptores poseen sistemas de control local y remoto. Al igual que en el caso de los generadores las consignas bajo falla requieren modelos mas detallados. Inicialmente, se tendrán modelos simples que reflejen su funcionamiento. El modelo consta de una variable de control que especifica la clase de maniobra ordenada tanto por el sistema de control como por el operador de la subestación; otra variable que representa el estado interno del equipo y finalmente, una variable de salida que representa la posición. La regla de funcionamiento se puede ver en la Figura 47

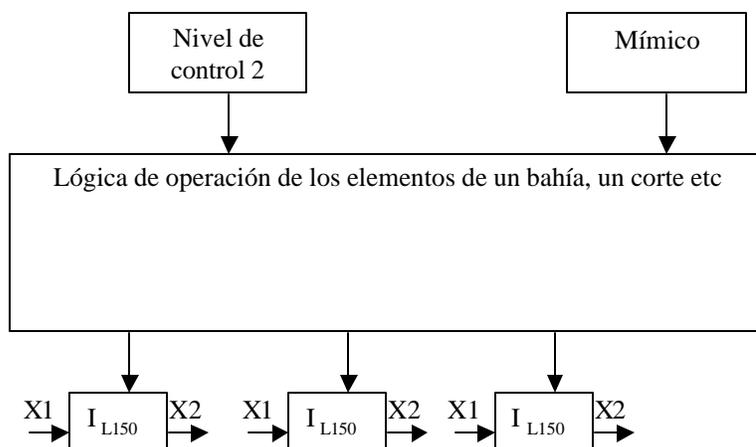


**Figura 47 Representación del sistema de control de los pulsadores del mímico de servicios auxiliares**

### ➤ Niveles de Control Uno

El sistema de control desde este nivel consta de dos partes, la primera representa el procesador de control en donde se encuentra la lógica de operación y la segunda está constituida por el mímico o interfase de usuario que posibilita la actuación del operador desde este nivel.

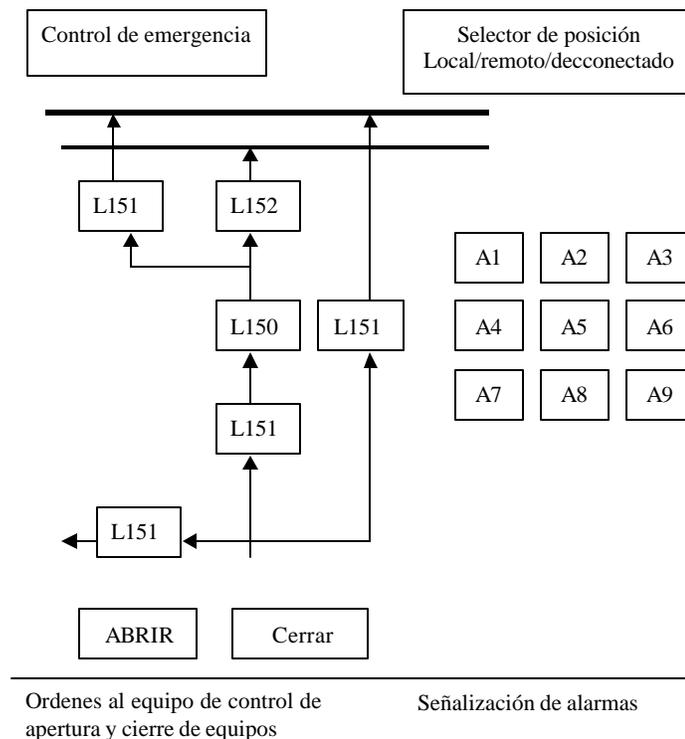
- El equipo controlador: se encarga de agrupar las señales de estado de los equipos que controla, las acciones de los equipos de protecciones y las señales provenientes del sistema de medida, de registro de fallas y de alarmas. Está compuesto por un controlador lógico, que desde el punto de vista funcional presenta bastante complejidad. La representación se basa en la información de la lógica de operación de los equipos. Las principales características a modelar son: los enclavamientos necesarios para la operación de equipos (órdenes de apertura y cierre del mímico, y las alarmas del área de control) y señales de apertura y cierre de los equipos que cierran los circuitos de control en el sistema de servicios auxiliares mediante pulsadores controlados que regresan a su posición inicial cuando la señal del equipo recupera su valor.



**Figura 48 Esquema funcional del modelo del Nivel de Control Uno.**

- El mímico de interfase de usuario: es la interfase del equipo de control con el operador del nivel uno. Se encarga de comunicarle al asistente de la subestación las alarmas que reportan los equipos que controla. Cuando el operador desea realizar una operación, selecciona el equipo y mantiene activado el selector del equipo, según la operación que desee realizar. Entonces, el equipo de control revisa los enclavamientos y se encarga de ejecutar la maniobra sobre el dispositivo respectivo. En el mímico se

encuentra además, el selector de mando y un selector de emergencia. El primero de estos inhibe los controles permitiendo el control local y/o remoto, o la desconexión, y el segundo permite la realización de maniobras o accionamientos mediante una llave, sin revisar ningún enclavamiento.



**Figura 49 Esquema de un mímico de nivel de control uno de un campo de línea.**

### ➤ Nivel de Control Dos

Este nivel de control es realizado por una computadora que se encarga de recibir la información de los niveles inferiores. Por esto, el modelo se representa como una caja negra con las funciones de los niveles de control más bajos.

### ➤ Nivel de Control Tres

Representa los equipos encargados de establecer la comunicación con el Sistema de Control Central del Sistema Interconectado. Se encarga de establecer las relaciones entre el operador del CSM y el Asistente de la Subestación.

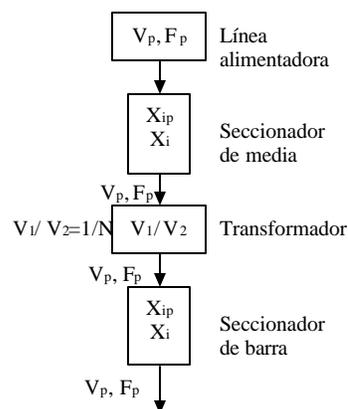
### 3.2.3 Servicios Auxiliares

Son los encargados de suministrar y distribuir la energía que necesitan los equipos y sistemas de la Subestación para que puedan cumplir con su función. Desde el punto de vista operacional su principal característica es que presenta el estado de los elementos que lo integran, además de las condiciones de los parámetros de tensión y de corriente. Las características a representar en un modelo de este sistema son: los cambios en los parámetros de tensión y corriente que los equipos proporcionan (clase y nivel de tensión), la configuración o el arreglo físico y de conexión de los elementos y la función y el estado de cada equipo con el fin de modelar las consignas tanto en condiciones normales de operación como en condiciones de falla.

El modelo de los servicios auxiliares es una representación de conexión que está constituida por las principales características de los elementos y sus relaciones. Los subsistemas y equipos a tener en cuenta para la construcción del modelo son: los alimentadores, las barras y los cambiadores de tensión, los cuales se describen a continuación.

- Alimentadores: corresponden a las entradas a las barras distribuidoras provenientes de la red de distribución pública, de transformadores de potencia de la misma subestación, de plantas generadoras (grupos electrógenos) o de baterías. La configuración del sistema de Servicios Auxiliares tiene diferencias de una subestación a otra, debido a que el número y características de estos elementos varía significativamente. Estos modelos se presentan de forma general con el ánimo de poder obtener las configuraciones particulares para una subestación.

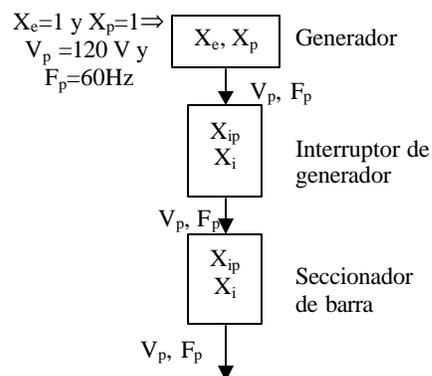
Los Alimentadores asociados a la red de Suministro Público de Media Tensión comprenden la línea de entrada a la subestación de la red pública, el seccionador de media tensión, el transformador de potencia y el seccionador de barra. Además, presenta Sistemas de Protección para el transformador, sistemas de medida, fusibles y otros elementos que en primera instancia no se tienen en cuenta. La línea de entrada de la red de servicios públicos, se representa de la misma manera que una línea de transmisión en la configuración, es decir mediante una tensión constante y una frecuencia constante. El seccionador de media tensión y el seccionador de barra se representan a través del modelo de interruptor presentado en la configuración; es decir, una caja con dos características: el estado (bueno/malo) y la posición (abierto/cerrado), además de la regla de operación. Estos seccionadores se pueden accionar manualmente, y en algunos casos de manera remota.



**Figura 50 Representación de un Alimentador asociado a la red de servicios públicos**

Dada la importancia de suministro constante, en las Subestaciones Eléctricas existen plantas generadoras que se activan en caso de falla en el suministro del servicio público. Es así, como los Alimentadores asociados a plantas generadoras comprenden la planta generadora, los interruptores y los fusibles necesarios para producir, controlar y proteger la entrada de la planta al sistema.

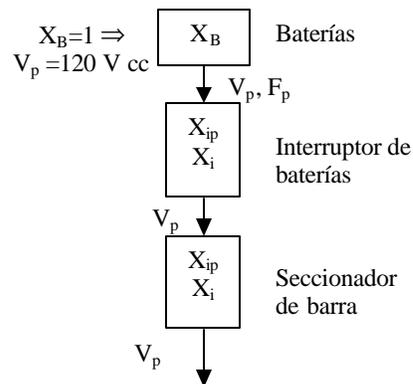
La planta generadora se representa mediante una fuente de tensión, una variable que representa el estado de la planta (bueno/malo), otra que representa el estado de encendido o apagado y una regla que define la tensión de salida a las barras. Por otro lado, los interruptores (tanto el asociado a la planta como el de barra) se representan mediante los modelos antes mencionados.



**Figura 51 Representación de un Alimentador asociado a una planta generadora**

Los bancos de baterías son equipos utilizados para presentar continuidad del suministro de energía ante perturbaciones de los demás alimentadores. Está compuesto por el banco de baterías, el sistema de interruptores para controlar el flujo de potencia y los sistemas para medida y protección. El modelo está constituido por el banco de baterías y los interruptores asociados al control del flujo de potencia desde las baterías hacia las barras.

El banco de baterías se modela mediante una fuente de tensión continua, a través de una variable que refleja el estado del equipo y unas reglas que definen la correcta operación del mismo.



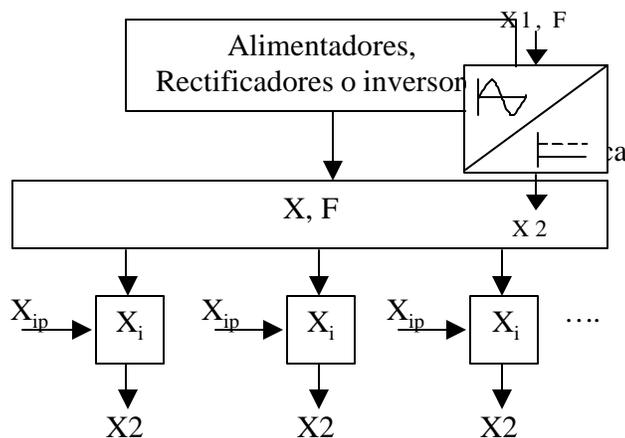
**Figura 52 Representación de un Alimentador asociado los bancos de baterías.**

- o Barras: al igual que en la configuración de la subestación, la función de las barras es servir como nodo conectivo de diferentes puntos. A ellas van conectados tanto los alimentadores que proporcionan la energía, como los rectificadores y los convertidores. Están conformadas por lo que se conoce como barra en sí y el conjunto de interruptores de protección o elementos conectivos de los diferentes equipos y sistemas que dependen de la barra.

Su representación consta de dos variables, tensión y frecuencia, definidas por las entradas que provienen de los alimentadores. En el caso de una barra de corriente continua, la frecuencia es igual a cero y se tendrán múltiples salidas según la cantidad de interruptores que estén conectados a ella.

En el caso de los interruptores de distribución se tiene el mismo funcionamiento que en los interruptores de potencia; es decir, que permiten la interrupción de corriente tanto en condiciones normales como de falla. El modelo de estos elementos es el mismo descrito para la configuración.

El modelo general de las barra está conformado por estos dos elementos tal como se observa en la Figura 53.

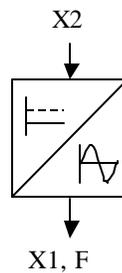


**Figura 53 Modelo de representación de las barras de distribución de corriente**

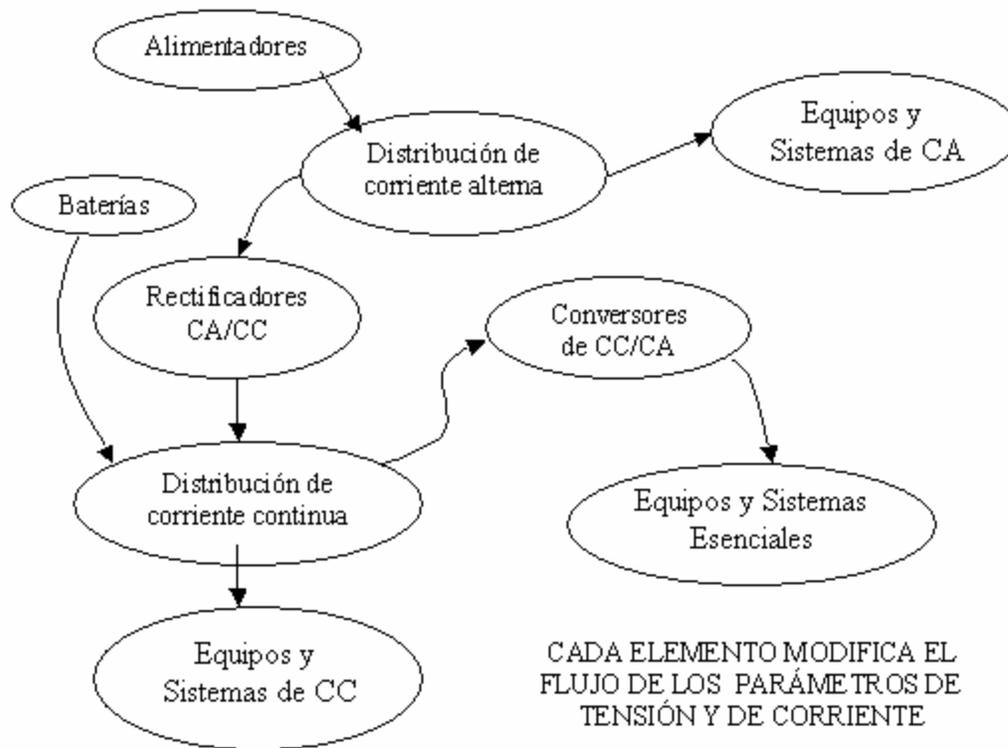
- Cambiadores de tensión: proporcionan cambios de tensión continua a tensión alterna y viceversa. Su función básica es la de cambiar las características de la señal de tensión en el tiempo. Los equipos que proporcionan estas características son los rectificadores y los inversores.
- Rectificadores: se encargan de alimentar los bancos de baterías estacionarias evitando su descargue. Su función principal es la convertir las señales de tensión senoidales en señales continuas. Físicamente están conformados por elementos electrónicos que dan una característica de integración compleja. Como primer acercamiento para su representación se tiene un modelo simple que especifica su función y estado. Su función está representada mediante una regla y su estado a través de una variable lógica indicando si éste está bueno o malo.

**Figura 54 Modelo Rectificador de Tensión**

- Inversores: la principal función de los inversores es convertir señales de tensión continuas en señales senoidales. Cuando la única fuente de tensión disponible proviene de una batería o de cualquier otra fuente de corriente continua, los inversores proporcionan la tensión de alimentación en alterna más adecuada a las necesidades del equipo a alimentar. El modelo que describe el comportamiento de este elemento tiene en cuenta su función principal y el estado del equipo.

**Figura 55 Modelo Inversor de Tensión**

En la Figura 56 se observa la Configuración General de los Servicios Auxiliares.



**Figura 56 Configuración de los Servicios Auxiliares**

Los elementos que conforman la configuración se relacionan de una manera clara a través de los parámetros de tensión y de corriente, de acuerdo con las conexiones entre ellos. Estas relaciones son estudiadas por medio de los Esquemas Unifilares, los cuales son simplificaciones de los Sistemas Trifásicos reales, particulares para cada Subestación.

**PARTE II. DESARROLLO DEL SISTEMA**

## 4 FASE DE INICIO

En esta parte se presenta conceptualmente el proyecto. Inicialmente se identifican las diferentes características o requerimientos que el sistema demanda y que están relacionados tanto con los aspectos técnicos a tener en cuenta como con las facilidades que el sistema debe ofrecer. Posteriormente y teniendo en cuenta dichos requerimientos se halla el modelo del dominio, el cual permite comprender un poco más el contexto del sistema ya que permite ver cómo se relacionan las diferentes entidades básicas. Además, se identifican los casos de uso más importantes, que incluyen los actores que intervienen en el sistema y la forma como interactúan con él. Una vez identificados los casos de uso, se analizan y agrupan en paquetes para conformar la arquitectura candidata. Dicha arquitectura junto con los riesgos críticos identificados, permiten vislumbrar tanto el impacto como la viabilidad del proyecto a desarrollar.

### 4.1 REQUISITOS CANDIDATOS DEL SISTEMA

Esta es una de las tareas más importantes en la fase de inicio. En ella, se definen los requisitos iniciales, y permite a los diferentes participantes del proyecto identificar las características generales del sistema.

Los requisitos se detallan en la Tabla 2 que contiene los siguientes campos:

- Nombre del requisito candidato
- Corta descripción o explicación del requisito
- Estado: Propuesto ó Aprobado.
- Prioridad: Crítico, Importante, Secundario.

- Nivel de Riesgo: Crítico, Significativo, Rutinario.

Además estos requisitos están agrupados por módulos de acuerdo con su funcionalidad. Para mayor entendimiento se ha asignado una letra por cada grupo de características, acompañada de un número secuencial para cada uno. Las letras de cada módulo se muestran a continuación:

- A. Administración de Usuarios
- B. Administración de Archivos
- C. Administración de Escenarios de Simulación
- D. Manejo de Sesiones
- E. Simulación de Subestaciones
- F. Portabilidad
- G. Bajos Costos en el Desarrollo y la Implementación

	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estado</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Nivel de riesgo</b>
A	Administrador de Usuarios	Se debe contar con un módulo que permita el manejo de usuarios	Aprobado	Importante	Ordinario
B	Administración de Archivos	Se debe contar con un módulo que tenga la capacidad de subir y descargar aplicaciones y archivos.	Aprobado	Critico	Critico
C	Administración de Escenarios de Simulación	Se debe contar con un modulo que permita establecer las condiciones necesarias para realizar una simulación	Aprobado	Critico	Ordinario
D	Manejo de Sesiones	El sistema debe permitir el uso de sesiones	Aprobado	Secundario	Ordinario
D01	Formas de Entrenamiento	El usuario podrá seleccionar entre las diferentes formas de entrenamiento	Propuesto	Importante	Significativo
D02	Seguimiento de Consignas	El sistema estará en la capacidad de permitir ver al usuario el seguimiento de las consignas	Propuesto	Critico	Significativo
D03	Bitácora	El sistema debe contar con un modulo que permita el registro de todos los eventos que ocurran	Propuesto	Secundario	Ordinario
D04	Control del Tiempo	El sistema debe controlar el registro del tiempo simulado	Aprobado	Importante	Significativo
D05	Generación de Reportes	Se debe contar con un modulo que presente reportes sobre las acciones de los usuarios durante la simulación	Propuesto	Importante	Significativo

	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estado</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Nivel de riesgo</b>
E	Simulación de Subestaciones	El sistema debe permitir al usuario la simulación de subestaciones	Aprobado	Critico	Significativo
E01	Configuraciones de Subestaciones	El sistema debe permitir al usuario hacer simulaciones en diferentes tipos de configuraciones de subestaciones	Aprobado	Critico	Significativo
E02	Niveles de Operación	Se debe simular los diferentes niveles de operación existentes en una subestación	Aprobado	Critico	Significativo
E03	Principales Sistemas de la Subestación	Se deben simular los diferentes sistemas que conforman una subestación (Sistema de Control y Sistemas Esenciales)	Aprobado	Crítico	Significativo
E04	Manejo de Fallas	El sistema debe permitir la simulación de fallas en una subestación	Aprobado	Importante	Significativo
F	Portabilidad	El sistema se debe desarrollar para que se pueda ejecutar desde diferentes plataformas	Propuesto	Importante	Critico
G	Bajos Costos en el Desarrollo y la Implementación	El sistema se debe desarrollar tratando de minimizar los costos, sin sacrificar calidad	Propuesto	Secundario	Ordinario

**Tabla 2 Características generales del sistema.**

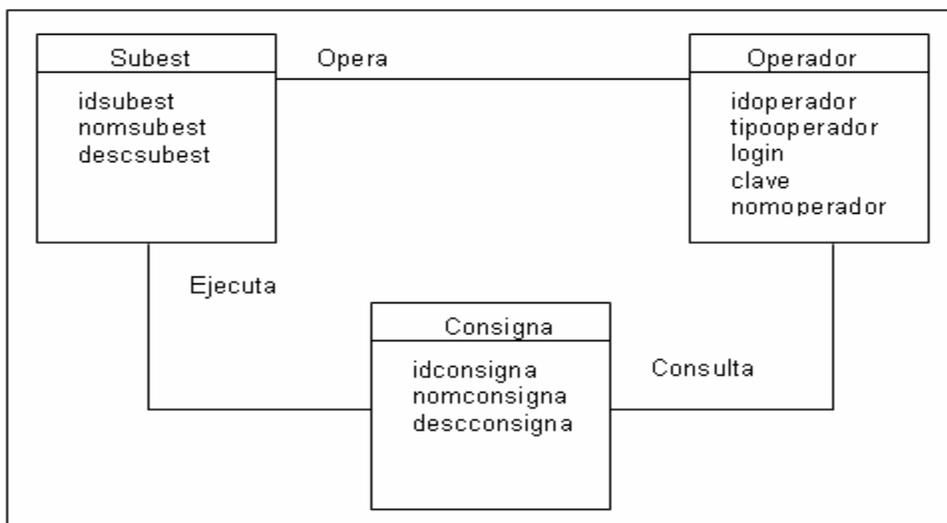
## 4.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Para la realización del **Sistema de Simulación para el Entrenamiento de Operadores de Subestaciones Eléctricas de Transmisión, SEOS**, es necesario limitar el área que cubrirá el proyecto, en este caso, el sistema mencionado servirá de apoyo para el entrenamiento y formación del personal que atiende las subestaciones eléctricas de transmisión, representando el comportamiento funcional de dichas subestaciones.

Al definir el contexto del sistema se obtiene una concepción más detallada de cómo se va a desarrollar el proyecto, y se puede limitar mejor el sistema. Una primera aproximación del modelo del dominio nos ayuda a identificar y entender los conceptos más importantes.

El criterio que se ha tenido en cuenta para decidir el ámbito del sistema es la identificación de actores para obtener un entorno en el que se va a desarrollar el sistema.

## 4.3 MODELO DEL DOMINIO



**Figura 57 Modelo del Dominio**

#### 4.4 ACTORES

Los actores que interactúan en el sistema son:

- *Administrador del Simulador:* Representa a la persona o personas encargadas de dirigir y administrar el sistema de simulación, son quienes deciden los privilegios que tienen los usuarios.
- *Operador del Simulador:* Representa a las personas o usuarios que van a utilizar el sistema de simulación para entrenamiento.
- *Sistema Basado en el Conocimiento:* Representa al sistema basado en el conocimiento de consignas.

En la Tabla 3 se describen cada uno de los actores del proyecto.

Actor	Descripción	Responsabilidades (papel que juega)	Necesidades (para que utiliza el sistema)
Administrador	Representa a la(s) persona(s) encargada(s) de la administración del sistema, es decir, del mantenimiento de la información del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento de usuarios.</li> <li>• Definir condiciones de entrenamiento.</li> <li>• Revisión de resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza el sistema para la creación, modificación y eliminación de usuarios.</li> </ul>
Operador	Representa al usuario normal del sistema de entrenamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrar al sistema para entrenarse.</li> <li>• Realizar maniobras en el sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza el sistema para entrenarse en los diferentes escenarios de simulación, y así poder</li> </ul>

Actor	Descripción	Responsabilidades (papel que juega)	Necesidades (para que utiliza el sistema)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Hacer seguimiento de consignas.</li> <li>Revisar las sesiones realizadas.</li> </ul>	adquirir habilidades y destrezas.
Sistema Basado en el Conocimiento (S.B.C)	Representa al sistema basado en el conocimiento de consignas operativas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validación de acciones realizadas por el operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtener información para validar o no acciones realizadas en una sesión de simulación.</li> </ul>

**Tabla 3 Actores que participarán en el proyecto**

## 4.5 MODELO DE CASOS DE USO

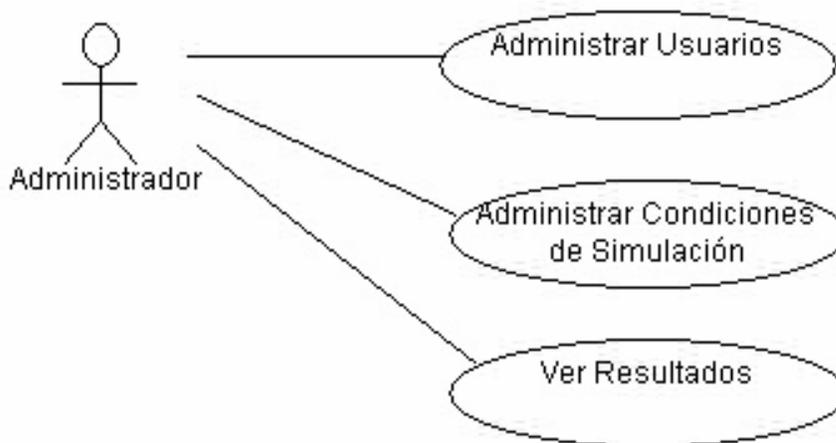
### 4.5.1 Modelo General de Casos de Uso del Negocio



**Figura 58 Modelo General de Casos de Uso del Negocio**

Los casos de uso que se presentan a continuación son aquellos que permiten comprender el ámbito del sistema, la arquitectura candidata y los riesgos críticos o que tengan efecto en el modelo del dominio.

#### 4.5.2 Modelo de Casos de Uso Actor Administrador

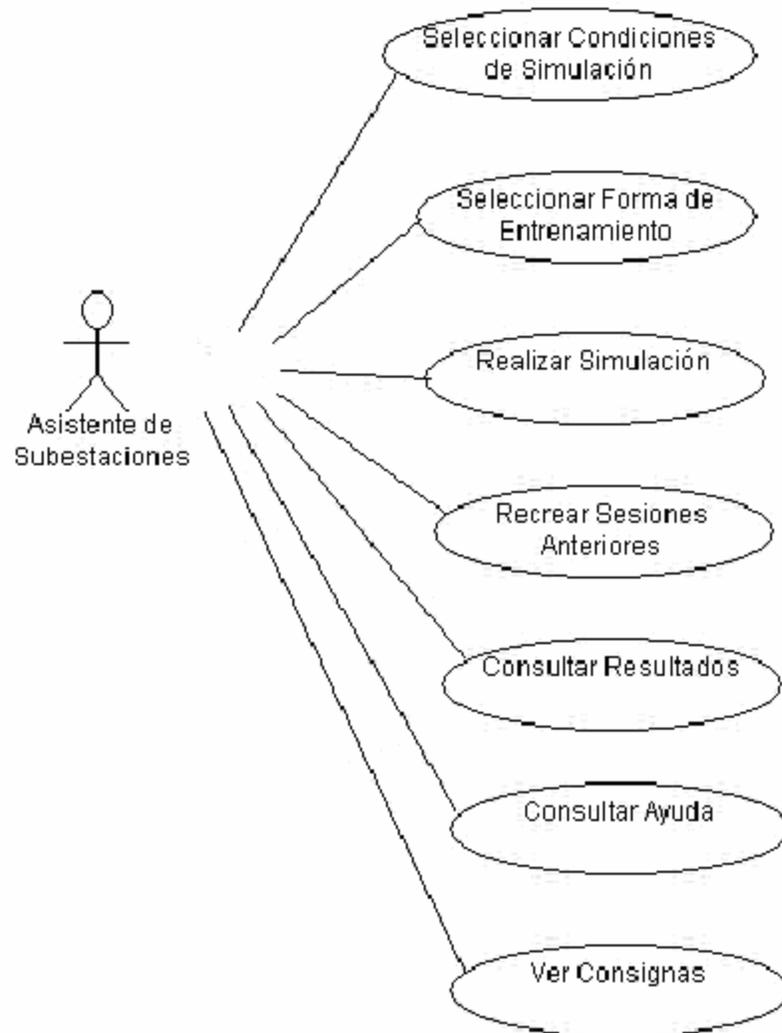


**Figura 59 Modelo de Casos de Uso – Actor Administrador**

Actor	Casos de Uso	Descripción
Administrador	Administrar Usuarios	El administrador utiliza este caso de uso para crear los usuarios del sistema de simulación.
Administrador	Administrar Condiciones de Simulación	El administrador utiliza este caso de uso para establecer las condiciones iniciales de los elementos que hacen parte de la subestación
Administrador	Ver Resultados	El administrador utiliza este caso de uso para ver los resultados de los usuarios en la simulación.

**Tabla 4 Casos de Uso – Actor Administrador**

### 4.5.3 Modelo de Casos de Uso Actor Asistente



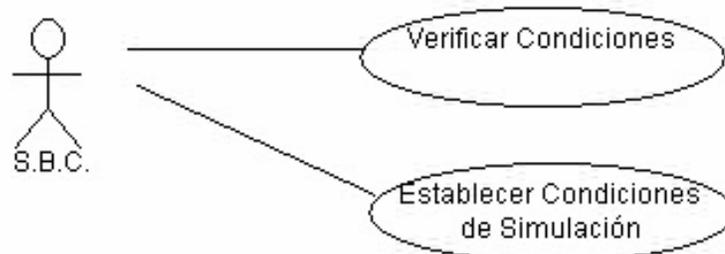
**Figura 60 Modelo de Casos de Uso – Actor Asistente**

Actor	Casos de Uso	Descripción
Asistente Administrador	Seleccionar Condiciones de Simulación	El actor utiliza este caso de uso para poner los elementos en las condiciones iniciales para la simulación de la operación de la

Actor	Casos de Uso	Descripción
		subestación.
Asistente Administrador	Seleccionar Forma de Entrenamiento	El actor utiliza este caso de uso para seleccionar la forma de entrenamiento en la simulación.
Asistente	Realizar Simulación	El asistente utiliza este caso de uso para simular la operación de la subestación.
Asistente	Recrear Sesiones Anteriores	El asistente utiliza este caso de uso para visualizar las acciones realizadas en una sesión anterior a la actual.
Asistente	Consultar Resultados	El asistente utiliza este caso de uso para ver los resultados en la simulación durante la sesión.
Asistente	Consultar Ayuda	El asistente utiliza este caso de uso para ver la ayuda del sistema.
Asistente	Ver Consignas	El asistente utiliza este caso de uso para ver la información referente a las consignas operativas y bajo falla.

**Tabla 5 Casos de Uso – Actor Asistente**

#### 4.5.4 Modelo de Casos de Uso Actor Base de Conocimiento



**Figura 61 Modelo de Casos de Uso – Actor Base de Conocimiento**

<b>Actor</b>	<b>Casos de Uso</b>	<b>Descripción</b>
S.B.C.	Verificar Condiciones	El S.B.C. utiliza este caso de uso para verificar que las condiciones de los elementos, después de realizar una acción, son iguales a las contenidas en la base de conocimiento.
S.B.C.	Establecer Condiciones de Simulación	El S.B.C. utiliza este caso de uso para poner los elementos en las condiciones iniciales para la simulación de la operación de la subestación.

**Tabla 6 Casos de Uso – Actor Base de Conocimiento**

#### 4.6 RIESGOS

En esta fase se deben identificar los factores que podrían retrasar o impedir la realización del proyecto. Estos riesgos críticos han de ser superados para poder garantizar la realización del proyecto.

A continuación en la Tabla 7 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.

<b>Descripción</b>	<b>Impacto</b>	<b>Contingencia</b>
Dificultades para lograr un diseño de la interfase de usuario.	La interfase de usuario es un elemento esencial para 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 interfase provisional.

Descripción	Impacto	Contingencia
Lenguaje de Programación	Dada la falta de experiencia en el manejo de las nuevas tecnologías “software” y “hardware”, se pueden presentar deficiencias en la calidad del producto.	Para mitigar este riesgo se consultaron fuentes (usuarios) relacionadas con el “software” a utilizar. Por otro lado, se han trazado estrategias para minimizar el tiempo de aprendizaje de dicha herramienta.
Integridad Referencial en la base de datos	Debido a la gran cantidad de información y a la estructura de la base de datos, es posible introducir datos que no se necesiten.	Para mitigar este riesgo se realizan pruebas de inserción, modificación y eliminación de registros de la base de datos con cada subsistema.
Cantidad y calidad de la documentación del producto	En muchos casos la falta o exceso de documentación dificulta el uso de la aplicación. En muchos casos la documentación es abundante pero no se encuentra bien estructurada y no ayuda en nada al usuario.	Con el fin de evitar la desactualización del sistema y problemas generados en la administración del mismo, se elaborará la documentación que oriente y facilite la realización de estas actividades.

**Tabla 7 Riesgos Críticos Identificados**

#### 4.7 ANÁLISIS

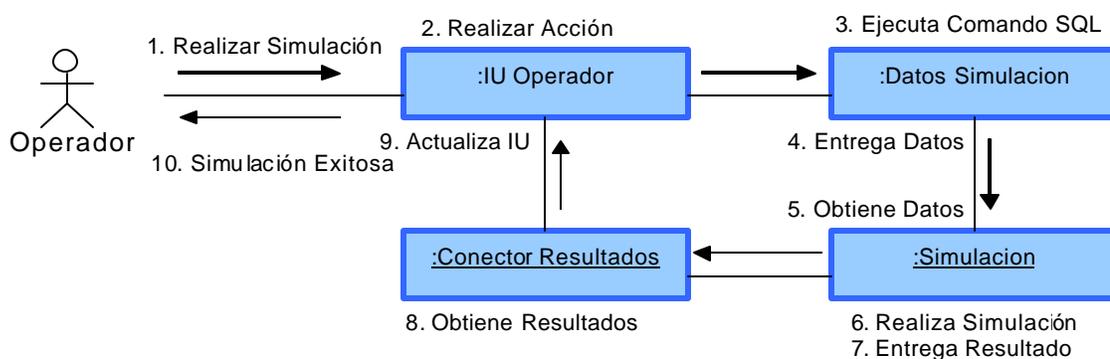
Tomando las características generales del sistema, los actores y los casos de uso, se pasó a realizar un análisis de los mismos. Las principales funcionalidades del sistema se descomponen en los diferentes procesos que interactúan para llevarlas a cabo. Posteriormente se analizaron dichos procesos para agrupar en paquetes los casos de uso que tuvieran características similares y adicionalmente se eligió el lenguaje de programación a utilizar para el desarrollo del sistema

Los paquetes de análisis y los requisitos no funcionales proporcionan la arquitectura candidata sobre la cual se desarrolla el sistema.

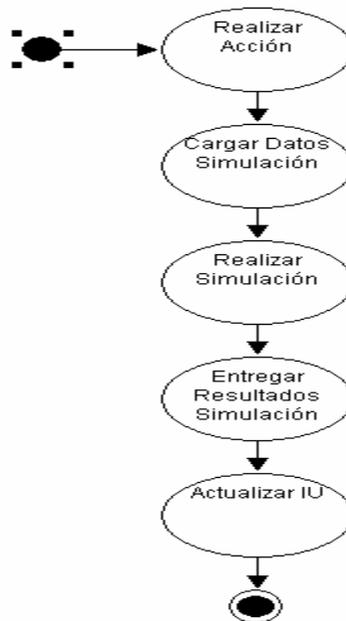
#### 4.7.1 Modelo de Análisis

##### 4.7.1.1 Diagrama de Colaboración para la realización del Caso de Uso Realizar Simulación.

El diagrama de colaboración presentado en la Figura 62 muestra el proceso que se lleva a cabo para realizar la simulación.



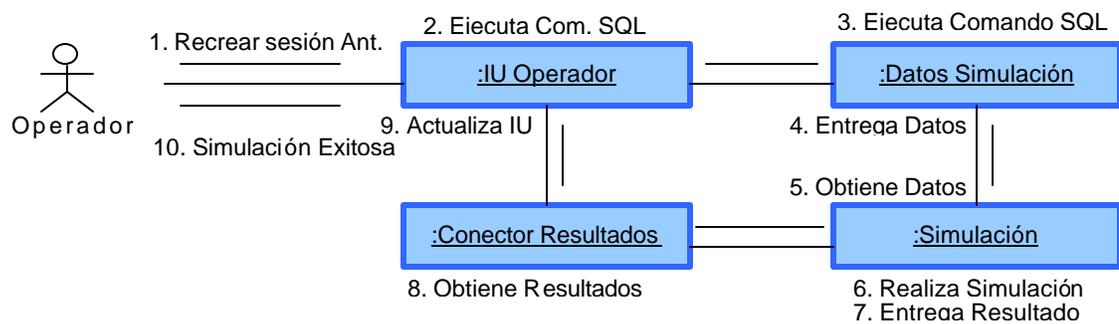
**Figura 62 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Realizar Simulación**



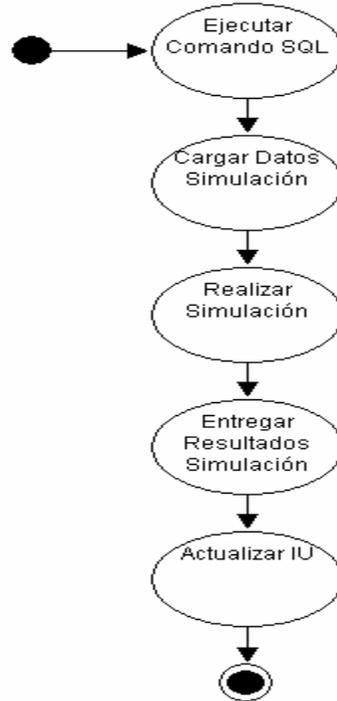
**Figura 63 Diagrama de Actividades Caso de Uso Realizar Simulación**

#### 4.7.1.2 Diagrama de Colaboración para la realización del Caso de Uso Recrear Sesión Anterior

El diagrama de colaboración presentado en la Figura 64 muestra el proceso que se lleva a cabo para recrear la sesión anterior.



**Figura 64 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Recrear Sesión Anterior**

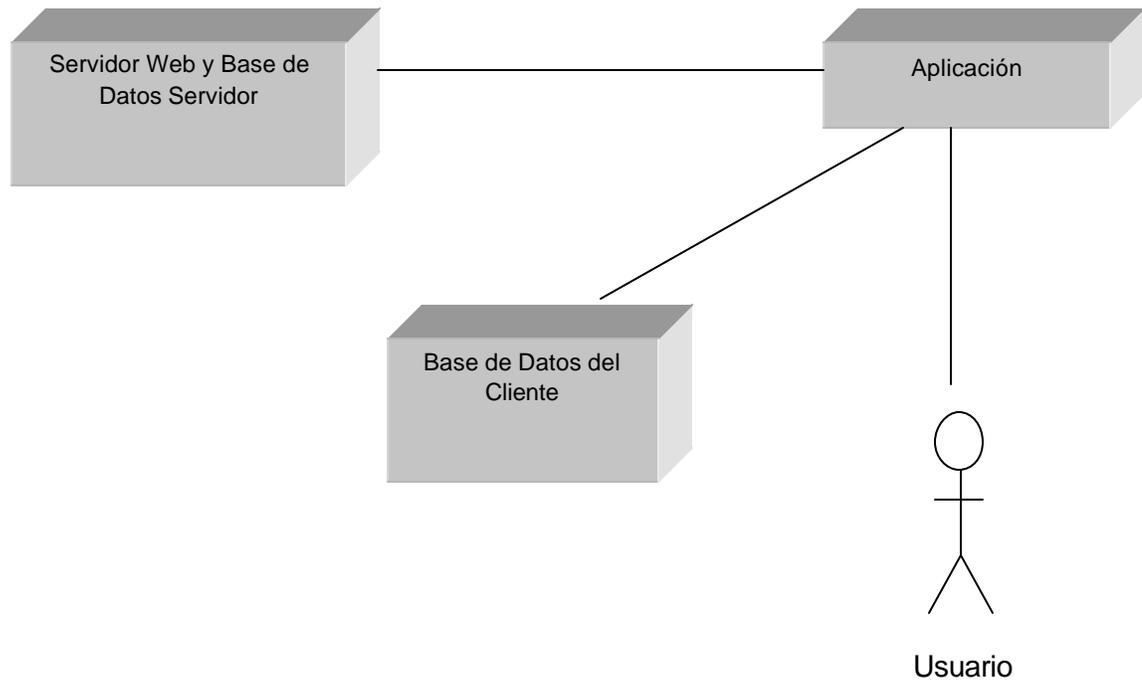


**Figura 65 Diagrama de Actividades Caso de Uso Recrear Sesión Anterior**

#### 4.8 ARQUITECTURA CANDIDATA

El sistema funciona 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.

El sistema se descarga desde un servidor por medio de una página Web. La lógica de negocios y la funcionalidad de la base de datos se ejecuta tanto en el servidor como en el cliente, mientras que la capa de presentación de la interfase se ejecuta en el cliente. La conexión entre el servidor y el cliente se da utilizando el protocolo http para la descarga de la aplicación desde la red interna de la Universidad, o desde Internet y a través de la conexión JDBC-ODBC entre la aplicación y la base de datos. La Figura 66 presenta el diagrama de despliegue del sistema.



**Figura 66 Diagrama de despliegue del sistema**

#### **4.8.1 Identificación Paquetes de Análisis**

##### **4.8.1.1 Paquete de Análisis Administrar Usuarios**

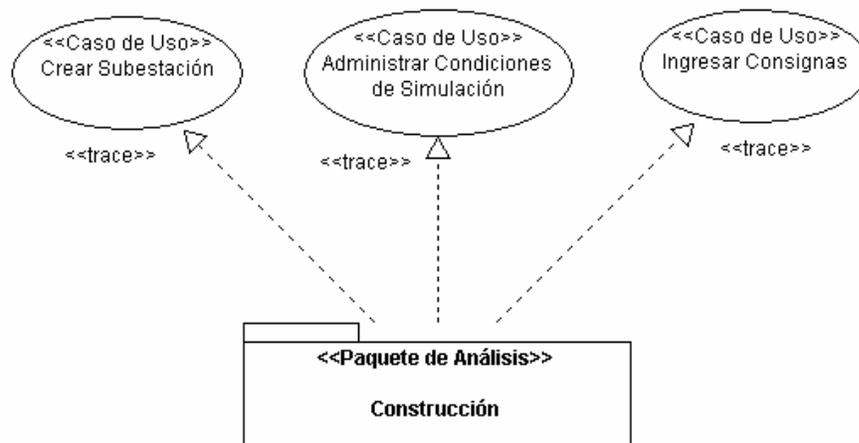
En este paquete de análisis están los casos de uso implicados en la administración de usuarios (actores) que interactúan con el sistema.



**Figura 67 Paquete de Análisis: Administrar Usuarios**

#### **4.8.1.2 Paquete de Análisis Construcción**

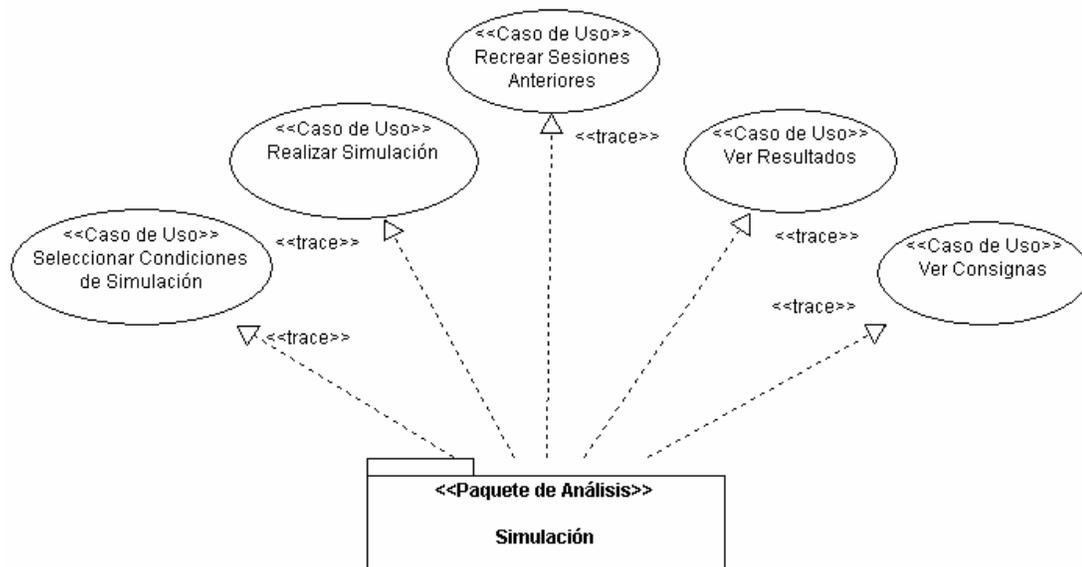
En el paquete de análisis Construcción se contemplan los casos de uso implicados en el proceso de construcción de la subestación y sus condiciones iniciales. Además, se contempla el ingreso de las consignas operativas y bajo falla para su seguimiento. En este caso particular solo el administrador es el actor involucrado en el proceso.



**Figura 68 Paquete de Análisis: Construcción**

#### 4.8.1.3 Paquete de Análisis Simulación

En este paquete de análisis están los casos de uso implicados en la simulación de la operación de la subestación.



**Figura 69 Paquete de Análisis: Simulación**

## 4.8.2 Requisitos Adicionales

En este grupo se encuentran los requisitos no funcionales que no se asocian a ningún caso de uso en concreto, es decir, tienen impacto en varios casos de uso, en todos o en ninguno. Entre estos están:

### 4.8.2.1 Hardware

Los requisitos de plataforma “hardware” son los siguientes:

- Servidor de prueba con las siguientes características:
  - Procesador Pentium III de 1000MHz o superior
  - Memoria RAM de 512MB
  - Disco Duro de 80G
  - Tarjeta de Red
  
- Dirección válida en Internet que permita a los usuarios utilizar el sistema desde fuera del campus universitario
  
- Cliente de prueba con las siguientes características:
  - Procesador Pentium de 1000MHz o superior
  - Memoria RAM de 256MB
  - Tarjeta de Red

Acceso a la red de área local (LAN) de la UIS.

### 4.8.2.2 Software

- Servidor
  - Sistema Operativo Microsoft Windows 2000

- Microsoft SQL Server 2000
- Servidor Web (Internet Information Server – IIS)
  
- Cliente
  - Cualquier sistema operativo compatible con la Plataforma Java
  - Java 2 Runtime Environment (JRE)
  - Controladores de Bases de Datos (Microsoft Access, Microsoft SQL Server)
  - Microsoft Internet Explorer 5.0 o Netscape 4.0 o superior

#### **4.9 VIABILIDAD DEL PROYECTO**

Para la ejecución de este proyecto, se dispone de una serie de recursos que garantizan un entorno de trabajo estable y apropiado para desarrollar un trabajo de calidad. Se cuenta con el apoyo de expertos relacionados con el sector energético y tecnologías de simulación. Además de la experiencia y soporte conceptual de grupos de investigación en estas áreas, ofreciendo los equipos necesarios pertinentes para la investigación que se pretende llevar a cabo. En el aspecto económico, se tiene el apoyo de entidades como COLCIENCIAS y la UIS quienes financian la investigación.

#### **4.10 RESULTADO DE LA FASE DE INICIO**

Con el flujo de trabajo de análisis se pudieron apreciar con más detalle los procesos más importantes involucrados en el sistema, para esto se elaboró el modelo de análisis que en este punto permite ver el funcionamiento de los casos de uso más importantes, se agruparon dichos casos de uso en los paquetes de análisis con el fin de facilitar el manejo del sistema y por último se identificaron los requisitos especiales comunes bajo los cuales se desarrolla el sistema.

Dada la gran importancia de los casos de uso para el desarrollo del proyecto, se presenta a modo de resumen la Tabla 8 con los casos de uso que hasta el momento han sido identificados. Para cada uno de ellos, se define el grado de conocimiento que se tiene de él y si esto es suficiente para su total comprensión.

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 paso 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.

Casos de Uso Identificados	Identificado	Descrito	Analizado	Diseñados e Implementados	¿Se comprende completamente?
Administrar Usuarios	Fase Inicio	Fase Inicio			No
Administrar Condiciones de Simulación	Fase Inicio				No
Ver Resultado	Fase Inicio				No
Seleccionar Condiciones de Simulación	Fase Inicio				No

Casos de Uso Identificados	Identificado	Descripción	Analizado	Diseñados e Implementados	¿Se comprende completamente?
Seleccionar Forma de Entrenamiento	Fase Inicio				No
Realizar Simulación	Fase Inicio				No
Recrear Sesiones Anteriores	Fase Inicio				No
Consultar Resultados	Fase Inicio				No
Consultar Ayuda	Fase Inicio				No
Ver Consignas	Fase Inicio				No
Verificar Condiciones	Fase Inicio				No
Establecer Condiciones de Simulación	Fase Inicio				No

**Tabla 8 Casos de Uso identificados en la Fase de Inicio**

Además, a modo de resumen se describe en la Tabla 9 la vista de la arquitectura contenidas en la Fase de Inicio.

Flujo	Sección	Vista	Comentario
Captura de Requisitos	Casos de Uso en Detalle	Figura 58 Modelo General de Casos de Uso del negocio Figura 59 Modelo de Casos de Uso – Actor	Presenta los actores y casos de uso más importantes del sistema, además de proporcionar una vista de la arquitectura a través de los

Flujo	Sección	Vista	Comentario
		Administrador Figura 60 Modelo de Casos de Uso – Actor Asistente Figura 61 Modelo de Casos de Uso – Actor Base de Conocimiento	casos de uso relevantes para la creación de la arquitectura candidata.
Análisis	Diagramas de colaboración y actividades y Paquetes de Análisis.	Figura 62 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Realizar Simulación Figura 63 Diagrama de Actividades Caso de Uso Realizar Simulación Figura 64 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Recrear Sesión Anterior Figura 65 Diagrama de Actividades Caso de Uso Recrear Sesión Anterior Figura 67 Paquete de Análisis – Administrar Usuarios Figura 68 Paquete de Análisis – Construcción Figura 69 Paquete de Análisis – Simulación	Principales diagramas de colaboración y paquetes de análisis encontrados.

**Tabla 9 Vista de la arquitectura contenida en la Fase de Inicio**

## 5 FASE DE ELABORACIÓN

En esta parte se presenta una estructuración más formal de las funcionalidades del sistema. Para esto se toma como base la conceptualización que se llevó a cabo en la fase de inicio. En primer lugar se identifican casi en su totalidad los requisitos restantes, y se complementan los diferentes modelos presentados en el capítulo anterior. En este momento el modelo del dominio ofrece una estructura sobre la cual el sistema se va a apoyar, ya que se han identificado claramente tanto las entidades que lo conforman como las relaciones existentes entre dichas entidades. Igualmente el modelo de casos de uso se ha complementado teniendo en cuenta los requisitos identificados, posteriormente se realiza el proceso de análisis en donde se agrupan los casos de uso, según su funcionalidad y se toman los más importantes para mostrar su estructura y funcionamiento interno, complementando de esta manera el modelo de análisis.

Con base en el análisis, se inicia el proceso de diseño, en el cual se modela una estructura que soporte tanto las acciones que el sistema va a realizar, como las propiedades y restricciones del mismo, esto es, se especifica qué recursos “hardware” y “software” se van a utilizar, así como las diferentes relaciones entre los subsistemas identificados.

En este punto, la implementación se enfoca solo a instalar y configurar el “software” del sistema así como de asignar los componentes necesarios a cada uno de los nodos detallados en el diagrama de despliegue.

## 5.1 LISTADO DE REQUISITOS FALTANTES

Los requisitos faltantes se detallan en la Tabla 10 que contiene los siguientes campos:

- Nombre del requisito candidato
- Corta descripción o explicación del requisito
- Estado: Propuesto ó Aprobado.
- Prioridad: Crítico, Importante ó Secundario.
- Nivel de Riesgo: Crítico, Significativo ó Rutinario.

Nombre	Descripción	Estado	Prioridad	Nivel de riesgo
Construir Sistemas	Se debe contar con un módulo que permita la construcción de una subestación con sus principales sistemas (sistema de potencia y control, servicios auxiliares) para su simulación.	Aprobado	Crítico	Crítico
Visualizar Acciones	Se debe contar con un módulo que permita visualizar las acciones hechas por el usuario durante las diferentes sesiones de simulación.	Aprobado	Secundario	Rutinario

**Tabla 10 Requisitos Faltantes del sistema**

### 5.1.1 Modelo del Dominio

En la Tabla 11 se presentan las diferentes entidades involucradas en el modelo del dominio, así como una breve descripción del contenido de las mismas.

Entidad	Descripción
Usuario	Quienes utilizan el sistema
Subestación	Datos correspondientes a la identificación de la subestación.
Consigna	Procedimientos que se pueden realizar en la subestación.
Elemento	Dispositivos que hacen parte de la subestación.
Control	Donde se validan las acciones realizadas en la subestación.
Configuración	Forma como están distribuidos los elementos dentro de la subestación.
Servicios Auxiliares	Elementos para el suministro de la energía necesaria para el funcionamiento de los elementos de la subestación.

**Tabla 11 Entidades del modelo del dominio.**

El modelo del dominio, sus objetos y relaciones se encuentran en la Figura 70.

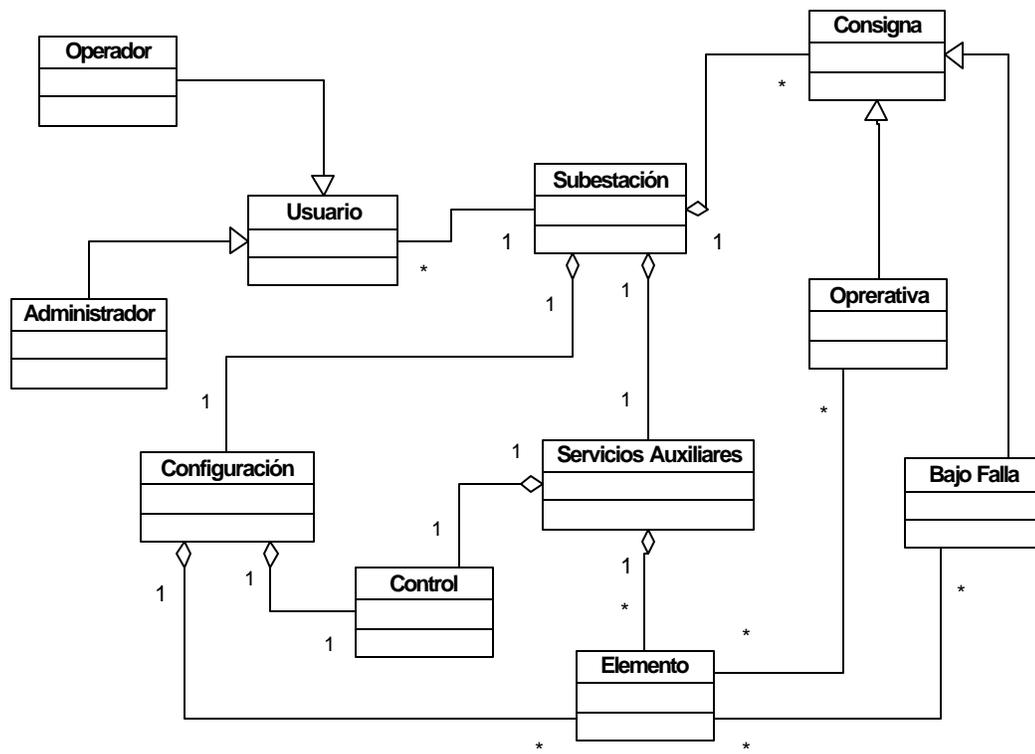
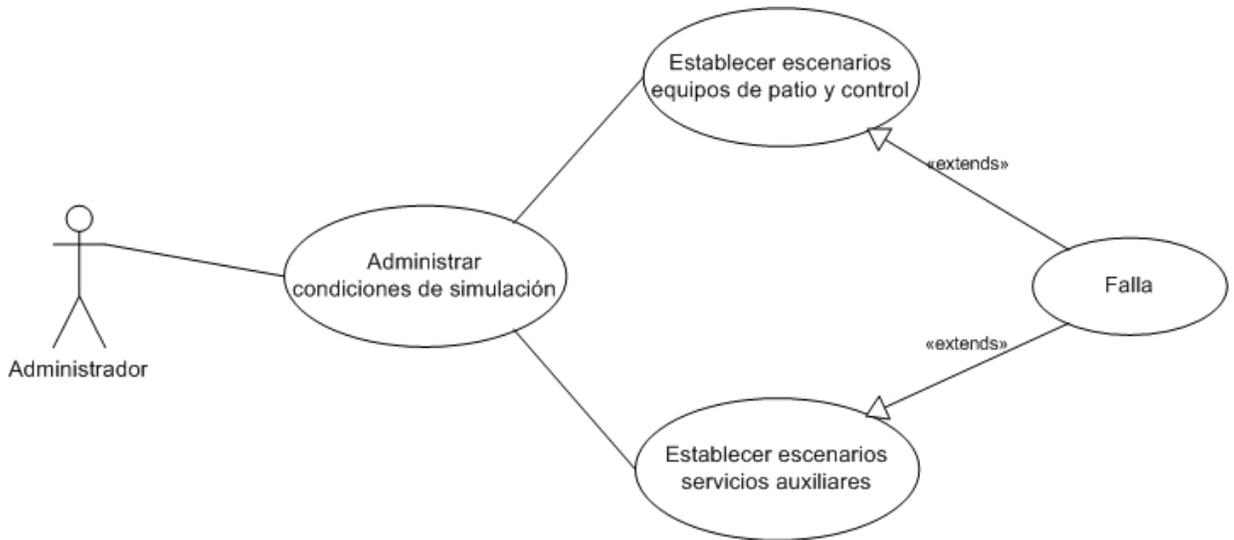


Figura 70 Modelo del Dominio



## 5.1.2 Nuevos Casos de Uso Encontrados

### 5.1.2.1 Modelo de Casos de Uso *Administrar Condiciones de Simulación*

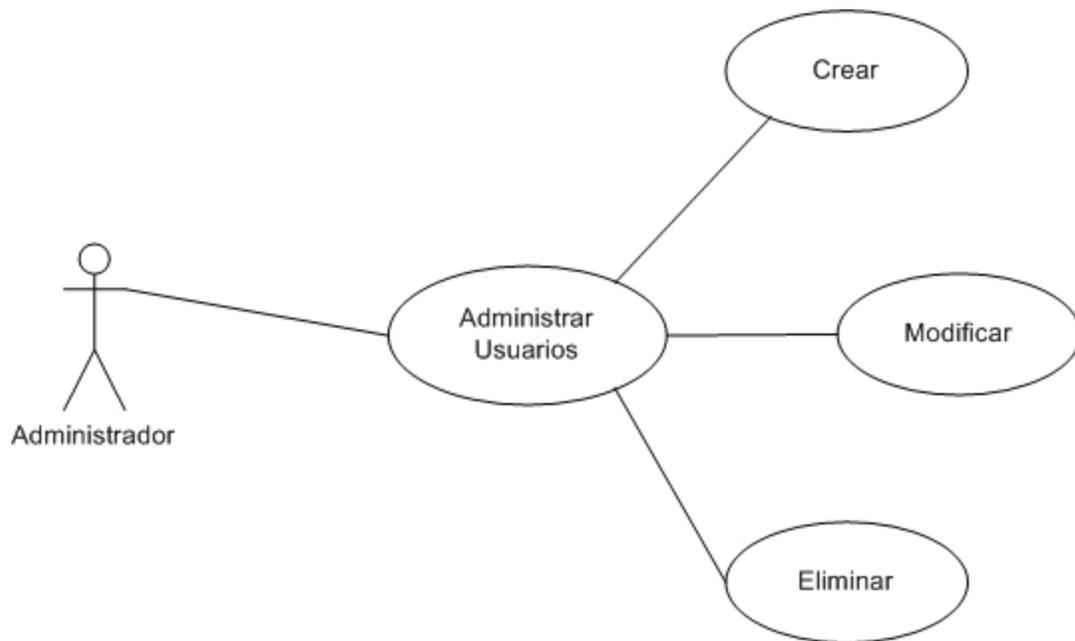


**Figura 72 Modelo de Casos de Uso *Administrar Condiciones de Simulación***

Actor	Casos de Uso	Descripción
Administrador	Administrar Condiciones de Simulación	El administrador utiliza este caso de uso para establecer las condiciones iniciales de los elementos que hacen parte de la subestación
Administrador	Establecer Escenarios <i>Equipos de patio y control</i>	El administrador utiliza este caso de uso para establecer las condiciones iniciales de los equipos de patio y control de la subestación
Administrador	Establecer Escenarios <i>Servicios Auxiliares</i>	El administrador utiliza este caso de uso para establecer las condiciones iniciales de los elementos que hacen parte de los servicios auxiliares en la subestación

**Tabla 12 Casos de Uso *Administrar Condiciones de Simulación***

### 5.1.2.2 Modelo de Casos de Uso *Administrar Usuarios*

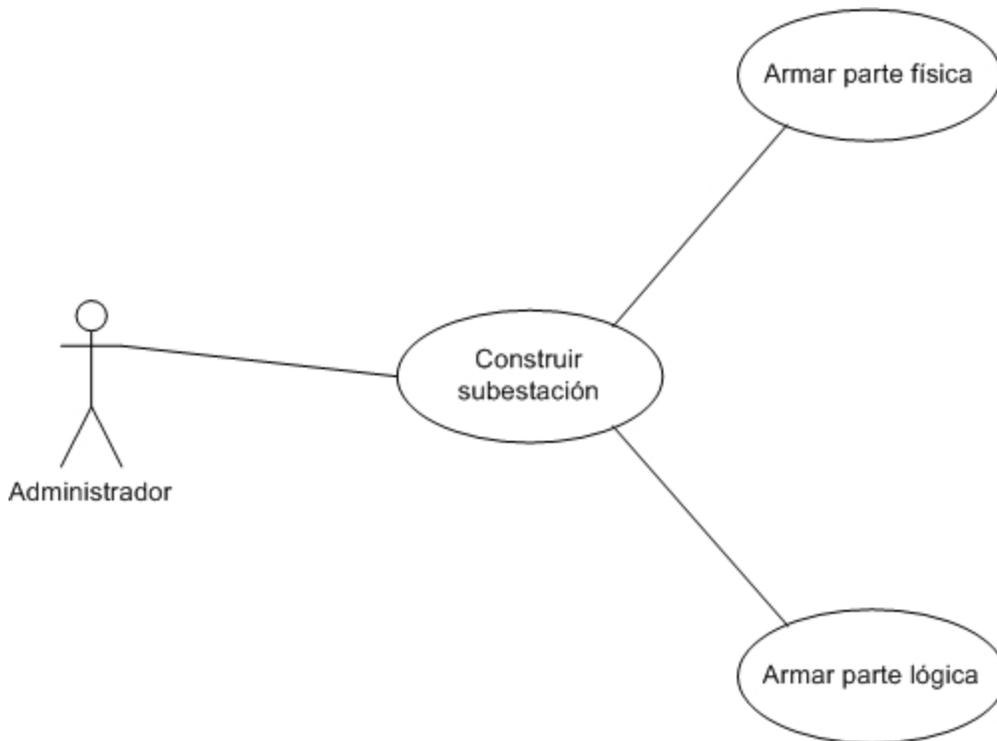


**Figura 73 Modelo de Casos de Uso *Administrar Usuarios***

Actor	Casos de Uso	Descripción
Administrador	Administrar Usuarios	El administrador utiliza este caso de uso para crear los usuarios del sistema de simulación
Administrador	Crear	El administrador utiliza este caso de uso para crear los usuarios del sistema de simulación
Administrador	Modificar	El administrador utiliza este caso de uso para modificar los usuarios del sistema de simulación
Administrador	Eliminar	El administrador utiliza este caso de uso para eliminar los usuarios del sistema de simulación

**Tabla 13 Casos de Uso *Administrar Usuarios***

### 5.1.2.3 Modelo de Casos de Uso *Construir Subestación*

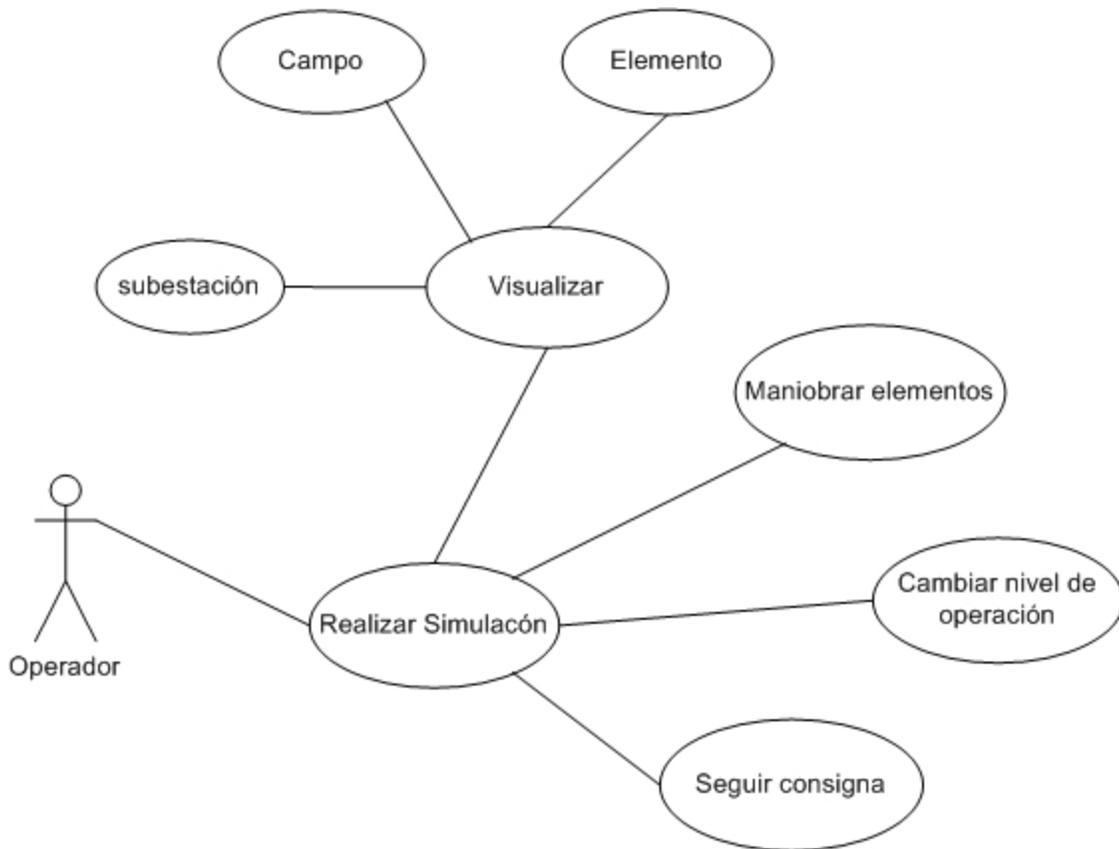


**Figura 74 Modelo de Casos de Uso *Construir Subestación***

Actor	Casos de Uso	Descripción
Administrador	Construir Subestación	El administrador utiliza este caso de uso para construir la subestación a simular
Administrador	Armar Parte Física	El administrador utiliza este caso de uso para construir la parte física de la subestación a simular (ubicar elementos de patio y control).
Administrador	Armar Parte Lógica Operativa	El administrador utiliza este caso de uso para construir la Parte Lógica Operativa de la subestación a simular (esquemas de enclavamientos)

**Tabla 14 Casos de Uso *Construir Subestación***

#### 5.1.2.4 Modelo de Casos de Uso *Realizar Simulación*



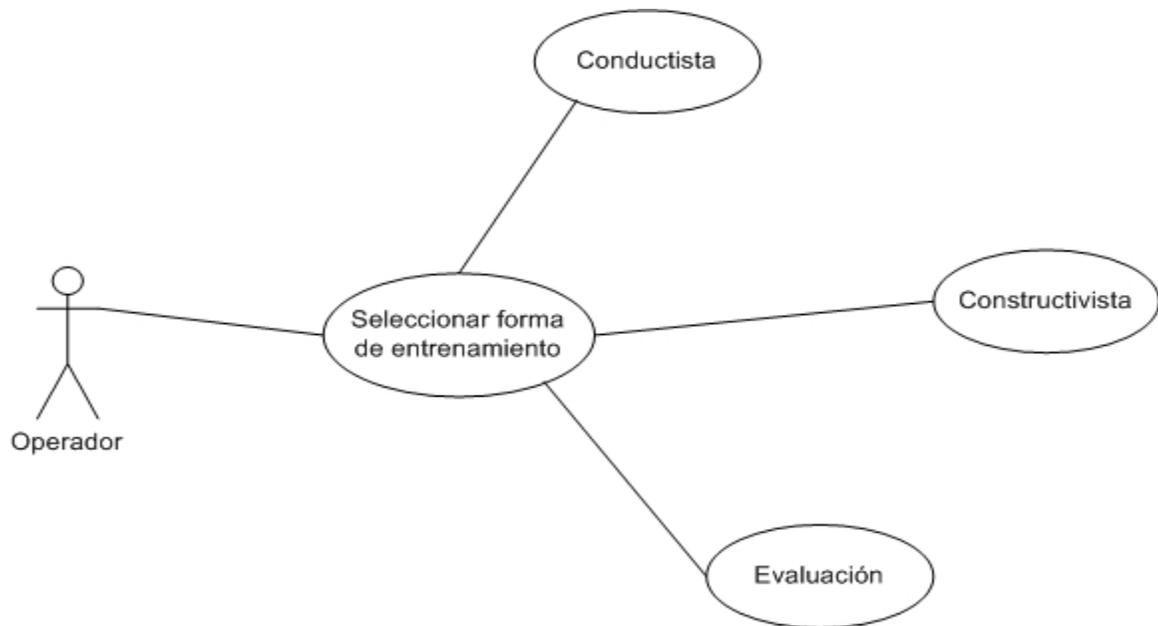
**Figura 75 Modelo de Casos de Uso *Realizar Simulación***

Actor	Casos de Uso	Descripción
Asistente	Realizar Simulación	El asistente utiliza este caso de uso para simular la operación de la subestación.
Asistente	Visualizar	El asistente utiliza este caso de uso para visualizar los diferentes elementos de la subestación.
Asistente	Visualizar – Subestación	El asistente utiliza este caso de uso para visualizar la subestación.
Asistente	Visualizar – Campo	El asistente utiliza este caso de uso para visualizar los campos que hacen parte de la subestación.

Actor	Casos de Uso	Descripción
Asistente	Visualizar – Elemento	El asistente utiliza este caso de uso para visualizar los diferentes elementos de la subestación.
Asistente	Maniobrar Elementos	El asistente utiliza este caso de uso para operar los diferentes elementos que conforman la subestación.
Asistente	Cambiar Nivel de Operación	El asistente utiliza este caso de uso para permitir el paso a otro nivel operativo de la subestación.
Asistente	Seguir Consigna Operativa	El asistente utiliza este caso de uso para ver el seguimiento en la subestación de una consigna, sea operativa o bajo falla.

**Tabla 15 Casos de Uso *Realizar Simulación***

#### 5.1.2.5 Modelo de Casos de Uso *Seleccionar Forma de Entrenamiento*



**Figura 76 Modelo de Casos de Uso *Seleccionar Forma de Entrenamiento***

Actor	Casos de Uso	Descripción
Asistente	Seleccionar Forma de Entrenamiento.	El actor utiliza este caso de uso para seleccionar la forma de entrenamiento en la simulación.
Asistente	Conductista	El actor utiliza este caso de uso para seleccionar el entrenamiento conductista.
Asistente	Constructivista	El actor utiliza este caso de uso para seleccionar el entrenamiento constructivista.
Asistente	Evaluación	El actor utiliza este caso de uso para seleccionar el entrenamiento con evaluación.

**Tabla 16 Casos de Uso *Seleccionar Forma de Entrenamiento***

## 5.2 ANÁLISIS

Las actividades que aquí se efectúan son muy similares a la etapa de análisis de la fase de inicio, sólo que se hace una profundización mayor, debido a que se tiene una mayor complejidad sobre la labor que el sistema va realizar.

Al identificar nuevos casos de uso se hace indispensable analizarlos individualmente y analizar la interacción con los ya existentes, para generar una nueva versión de los paquetes de análisis. A partir de lo cual, se procede a tomar los casos de uso más importantes de cada paquete, descomponerlos en sus procesos internos, y permitir comprender aspectos a tener en cuenta para incluirlos.

### 5.2.1 Modelo de Análisis

El modelo de análisis incluye el análisis de la arquitectura, de los casos de uso, de las clases de análisis y de los paquetes del sistema.

### 5.2.1.1 Análisis de la Arquitectura

Agregar nuevos casos de uso a cada uno de los paquetes existentes, conlleva el rediseño o la creación de nuevos paquetes de acuerdo con los criterios de la fase de inicio. A continuación se presenta la nueva versión de dichos paquetes.

#### ➤ Paquete de Análisis “Administrar Usuarios”

En este paquete de análisis están los casos de uso implicados en la administración de usuarios (actores) que interactuarán con el sistema. A este paquete se le han agregado los casos de uso de modificación y eliminación de los usuarios.

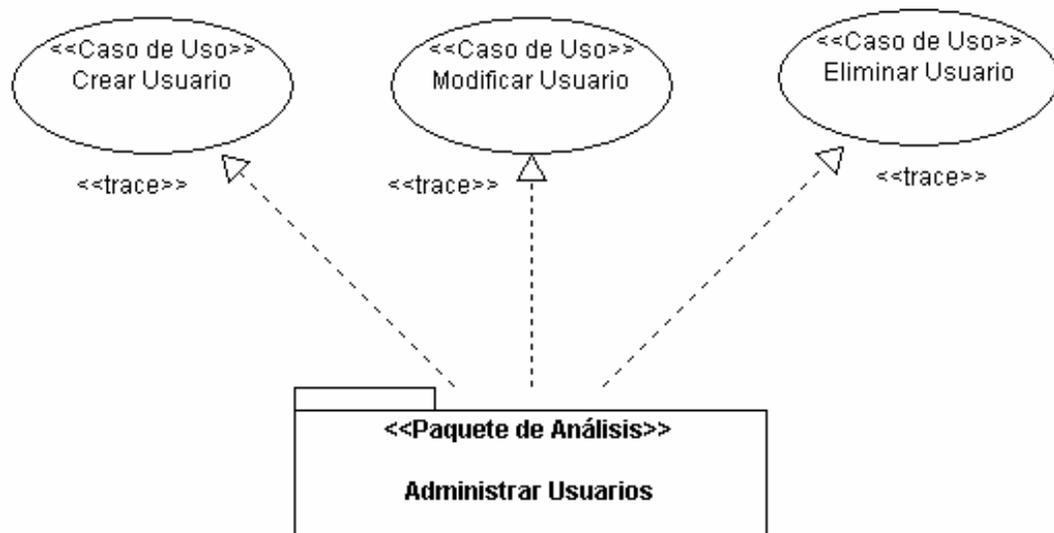
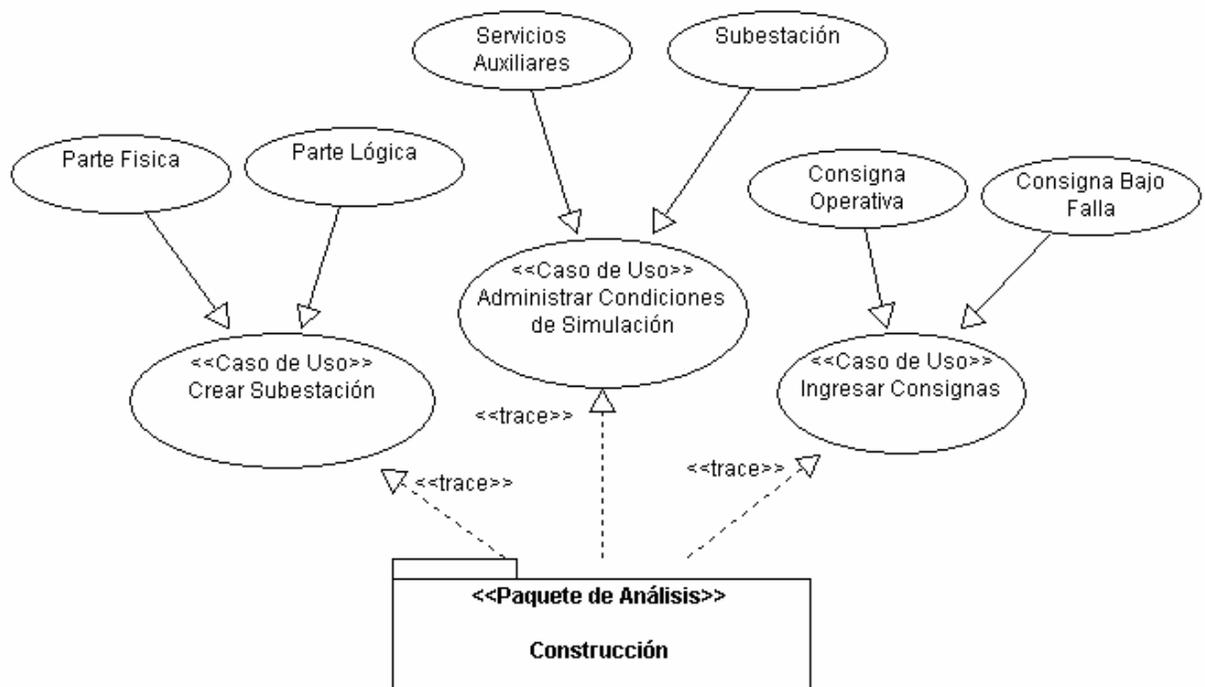


Figura 77 Paquete de Análisis “Administrar Usuarios”

### ➤ Paquete de Análisis “Construcción”

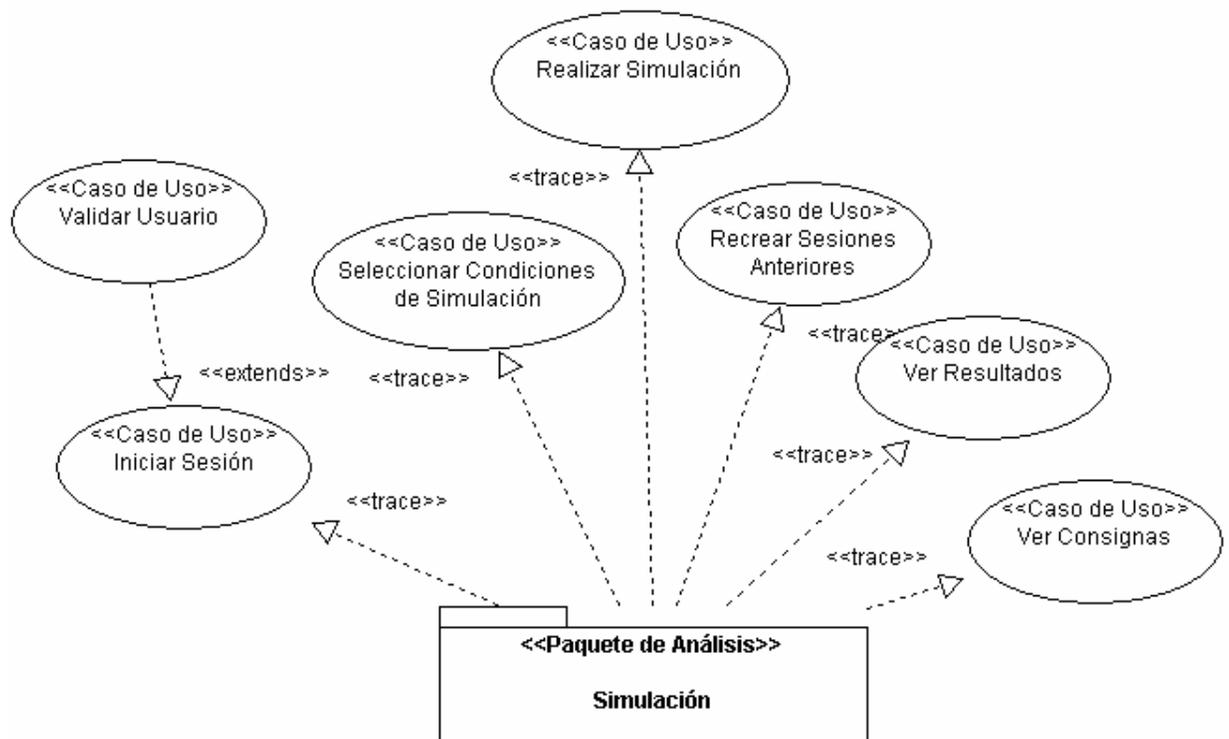
En el paquete de análisis “Construcción” se contemplan los casos de uso implicados en el proceso de construcción de la subestación (parte física (equipos de patio) y la Parte Lógica Operativa (enclavamientos)) y sus condiciones iniciales (tanto para los elementos de la subestación como para los elementos de servicios auxiliares), y el ingreso de las consignas operativas y bajo falla para su seguimiento. En este caso particular sólo el administrador es el actor involucrado en el proceso.



**Figura 78 Paquete de Análisis “Construcción”**

### ➤ Paquete de Análisis “Simulación”

En este paquete de análisis están los casos de uso implicados en la simulación de la operación de la subestación.



**Figura 79 Paquete de Análisis “Simulación”**

### 5.2.2 Análisis de Casos de Uso

Muchos casos de uso no son claramente comprensibles tal y como están descritos en el modelo de casos de uso, por tanto deben ser mejorados en función de las clases del análisis, pero los casos de uso que deben ser mejorados son sólo aquellos importantes para la comprensión de los requisitos.

Para realizar este análisis, primero se identifican las clases del análisis (entidad, control e interfase) y 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, ya que el objetivo es identificar requisitos y responsabilidades sobre las clases y no tanto identificar secuencias de interacción detalladas y ordenadas cronológicamente, caso en el cual se utilizarían diagramas de secuencia.

Dado que ya se tienen unos paquetes de análisis, se continuarán utilizando durante el transcurso de esta fase. Para cada uno de estos paquetes se toman los casos de uso de importancia desde el punto de vista de la arquitectura y que aportan para crear la línea base de la misma.

### 5.2.2.1 Paquete de Análisis “Administración de Usuarios”

De este paquete se ha seleccionado el caso de uso “Crear Usuario”

#### ➤ Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Usuario”

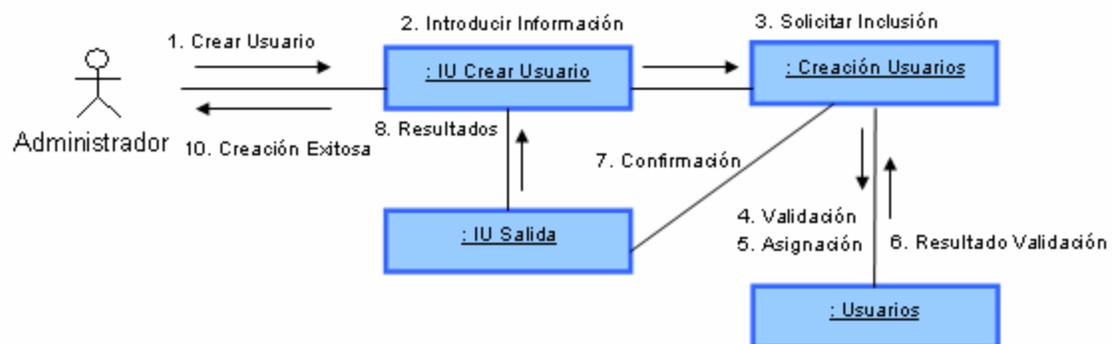


Figura 80 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Usuario”

### 5.2.2.2 Paquete de Análisis “Construcción”

De este paquete se han seleccionado los casos de uso: “Crear Subestación – Parte física”, “Crear Subestación – Parte Lógica Operativa” y “Administrar Condiciones de Simulación”.

➤ Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Subestación – Parte física”

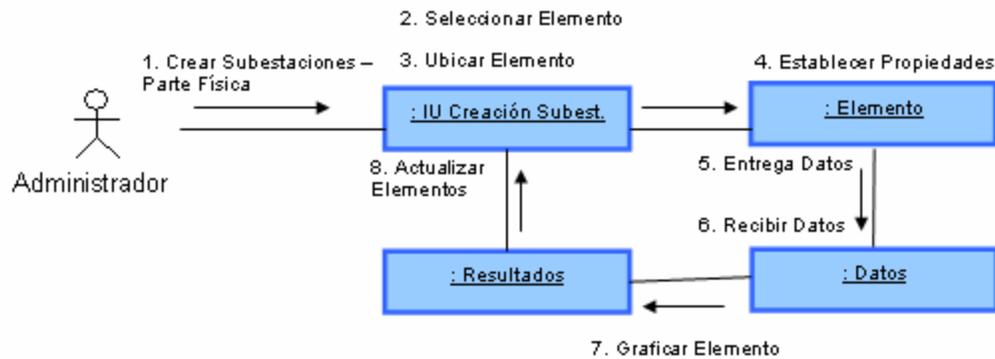


Figura 81 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Subestación – Parte física”

➤ Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Subestación – Parte Lógica Operativa”

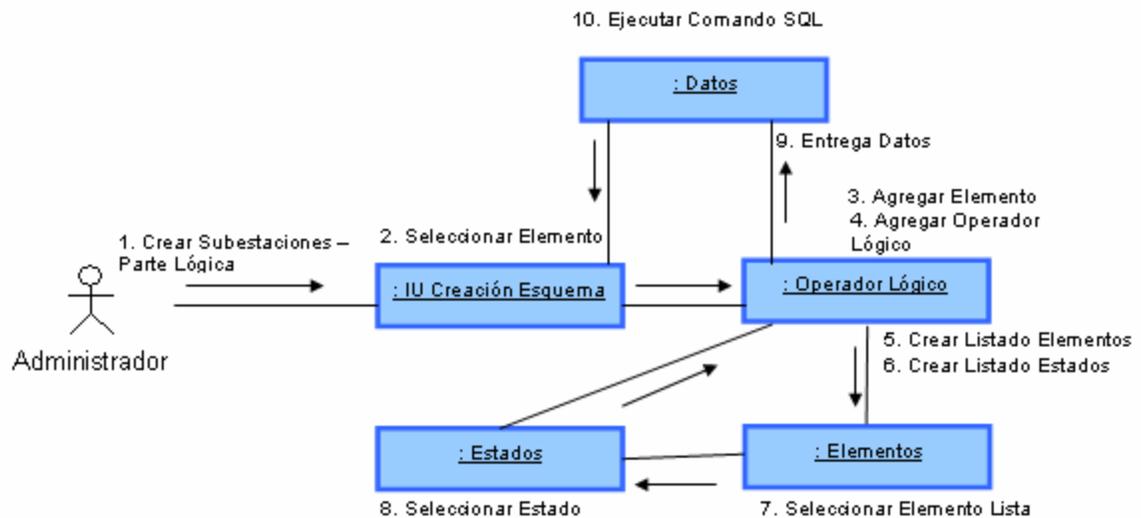
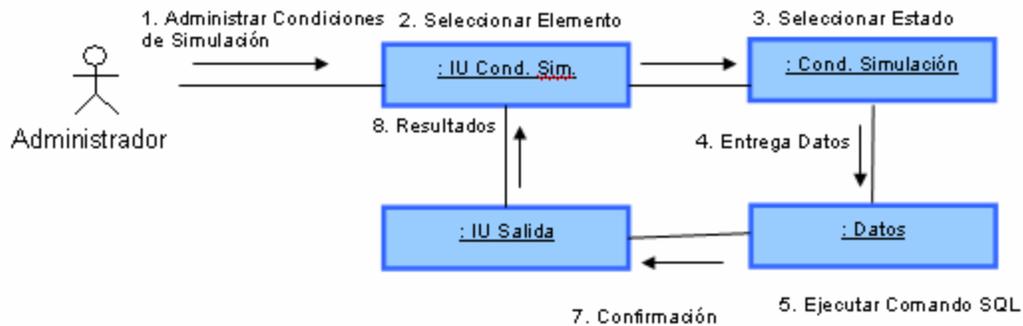


Figura 82 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Crear Subestación – Parte Lógica Operativa”

➤ **Diagrama de Colaboración del caso de uso “Administrar Condiciones de Simulación”**

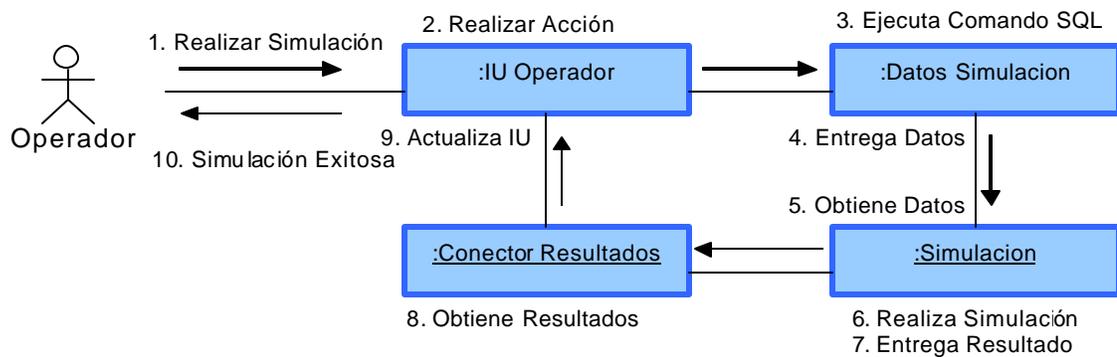


**Figura 83 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Administrar Condiciones de Simulación”.**

**5.2.2.3 Paquete de Análisis “Simulación”**

De este paquete se han seleccionado los casos de uso: “Realizar Simulación” y “Recrear Sesiones Anteriores”.

➤ **Diagrama de Colaboración del caso de uso “Realizar Simulación”**



**Figura 84 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Realizar Simulación”**

➤ **Diagrama de Colaboración del caso de uso “Recrear Sesiones Anteriores”.**



**Figura 85 Diagrama de Colaboración del caso de uso “Recrear Sesiones Anteriores”**

## 5.3 DISEÑO

En este aparte se presenta el modelo de diseño, que en esta fase tiene en cuenta (casi en su totalidad) los requisitos y restricciones necesarias para alcanzar las metas del proyecto; específicamente se establece el diseño de la arquitectura, el cual tiene en cuenta aspectos como los nodos y configuraciones de red. Asimismo se identifican los subsistemas necesarios para soportar los requisitos; además se desarrollan las interfases necesarias tanto para el usuario como entre los mismos subsistemas; por último se definió el modelo de arquitectura en capas.

### 5.3.1 Modelo de Diseño

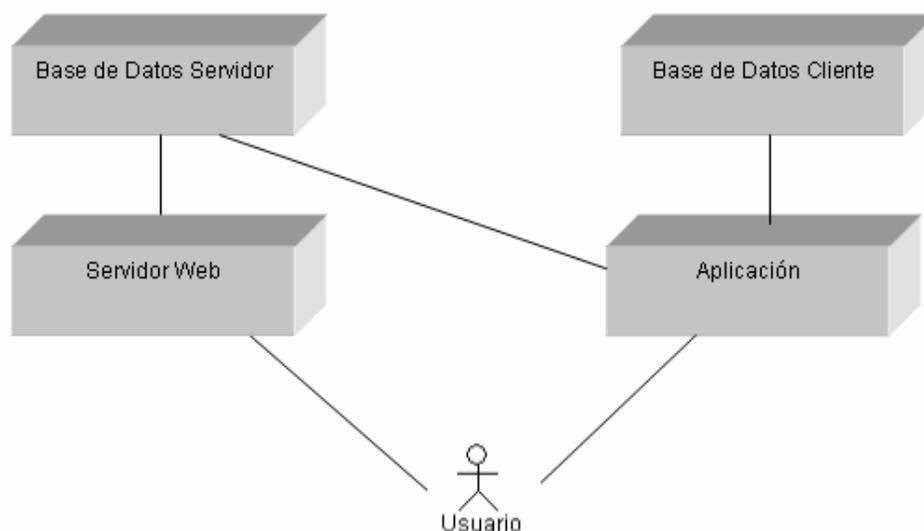
#### 5.3.1.1 Diseño de la Arquitectura

El objetivo del diseño de la arquitectura es esbozar los modelos de diseño y despliegue y su arquitectura mediante la identificación de los siguientes elementos:

➤ **Nodos y sus configuraciones de red (diagrama de despliegue) y Arquitectura en capas**

Las configuraciones físicas de red suelen tener una gran influencia sobre la arquitectura del “software”. Las configuraciones habituales utilizan un patrón de tres capas en el cual los clientes (las interacciones de los usuarios) se dejan en una capa, la funcionalidad de base de datos en otra y la lógica del negocio o de la aplicación en una tercera. Este tipo de configuración es la utilizada en el presente proyecto.

El sistema se descarga desde un servidor por medio de una página Web. La lógica de negocios y la funcionalidad de la base de datos se ejecutan tanto en el servidor como en el cliente, mientras que la capa de presentación de la interfase se ejecuta en el cliente. La conexión entre el servidor y el cliente se da utilizando el protocolo http para la descarga de la aplicación desde la red interna de la Universidad, o desde Internet y a través de la conexión JDBC-ODBC entre la aplicación y la base de datos. La Figura 86 presenta el diagrama de despliegue del sistema.



**Figura 86 Diagrama de despliegue del sistema**

La página Web está basada en ASP (Active Server Pages) que es un lenguaje interpretado de alto nivel embebido en páginas HTML y ejecutado en el servidor, que permite recuperar la información que los usuarios digitan en los formularios para introducirla en la base de datos y para el manejo de base de datos se utiliza Microsoft SQL Server 2000.

Para el desarrollo de la aplicación, se usa el lenguaje de programación Java 2. Es una aplicación de escritorio, lo que permite ejecutarla desde el escritorio ó desde el menú Inicio (para el caso de Windows) y no requiere que el navegador de Internet esté corriendo. La velocidad y respuesta de la aplicación no dependen de la velocidad de conexión, ya que solamente requiere de la conexión a Internet cuando se descarga la aplicación o se actualiza la base de datos del servidor. Para el manejo de la base de datos local se utiliza Microsoft Access 2000.

#### ➤ **Subsistemas y sus interfases**

Para el desarrollo de la aplicación se han tenido en cuenta los siguientes subsistemas:

- Subsistema de Inicio de Sesión
- Subsistema de Información de la Subestación
- Subsistema de Creación de la Subestación – Parte física
- Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa
- Subsistema de Administración de Condiciones de Simulación - Subestación
- Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte física
- Subsistema de Administración de Condiciones de Simulación – Servicios Auxiliares
- Subsistema de Operación de la Subestación
- Subsistema de Seguimiento de Consignas

## 5.3.2 Diseño de Subsistemas

### 5.3.2.1 Subsistema de “Inicio de Sesión”

Este subsistema valida el ingreso al sistema por parte de un actor, según tenga permiso para acceder a una zona o subsistema determinado, así como a un caso de uso en particular. Además, asigna al usuario un identificador usado como referencia cada vez que se hace un registro en el sistema.

El diseño de la interfase para este subsistema se muestra en la Figura 87.

El diagrama muestra una interfaz de usuario para el inicio de sesión. Está contenida dentro de un recuadro rectangular. En la parte superior izquierda, hay el texto "Login" y "Contraseña". A la derecha de "Login" hay un campo de entrada rectangular. A la derecha de "Contraseña" hay otro campo de entrada rectangular. En la parte inferior izquierda hay un botón rectangular con el texto "Aceptar". En la parte inferior derecha hay un botón rectangular con el texto "Cancelar".

**Figura 87** Diseño de la interfase para el subsistema “Inicio de Sesión”

### 5.3.2.2 Subsistema de “Información de la Subestación”

En este subsistema se establece el nombre, tipo y descripción de la subestación. Debe tener en cuenta que dos subestaciones no pueden llamarse de la misma forma (el sistema valida el nombre de la subestación).

En el tipo de subestación (configuración), se muestra un listado con los diferentes tipos de subestación que existen en el CTE Oriente. Si el tipo no se encuentra en el listado, se le permite al usuario ingresar este nuevo tipo en la base de datos.

Además, permite seleccionar los niveles de control (niveles de operación) que posea la subestación. Puede seleccionar de una sola vez todos los niveles con la opción “Todos los Niveles” o seleccionar uno a uno.

El diseño de la interfase para este subsistema se muestra en la Figura 88.

El diagrama muestra una interfaz de usuario con los siguientes elementos:

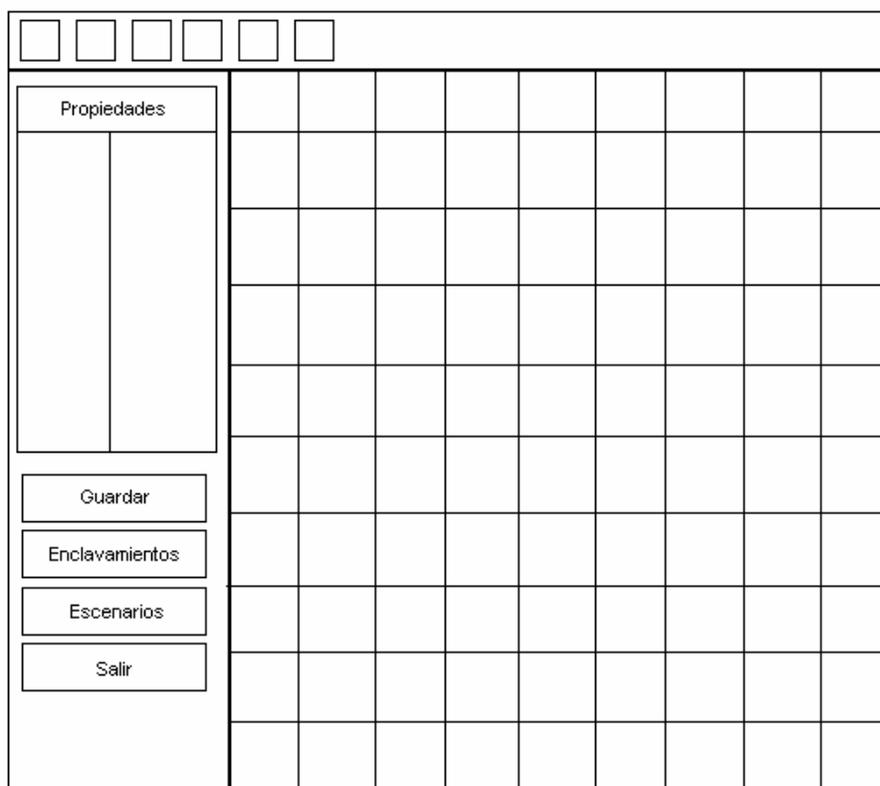
- Un campo de texto etiquetado "Nombre".
- Un cuadro de lista desplegable con las opciones: "Todos los Niveles", "Nivel 0", "Nivel 1", "Nivel 2" y "Nivel 3".
- Botones de navegación "<<" y ">>" situados entre el cuadro de lista y un cuadro vacío.
- Un campo de texto etiquetado "Tipo de Configuración".
- Un campo de texto etiquetado "Descripción" con un área de entrada grande.
- Botones "Aceptar" y "Cancelar" en la parte inferior.

**Figura 88** Diseño de la interfase para el subsistema “Información de la Subestación”

### 5.3.2.3 Subsistema de “Creación de la Subestación – Parte física”

En este subsistema se construye la subestación (parte física – equipos de patio). En él existe un cuadrícula en la cual se ubican los elementos disponibles en la barra de elementos que se encuentra en la parte superior.

En primera instancia, únicamente esta activo el elemento “Barra”. Una vez ubicado el primer elemento “Barra”, se activará el elemento “Campo”. Al ser ubicado el primer elemento “Campo”, se activarán todos los demás elementos (seccionador, interruptor, tierra, conector, línea,...), los cuales sólo pueden ubicarse sobre el elemento “Campo”.



**Figura 89** Diseño de la Interfase para el subsistema “Creación de la Subestación – Parte física”

En la parte izquierda, se ubica el listado de propiedades más relevantes de cada elemento.

Cuando se ubica un elemento “Campo” sobre la cuadrícula, el sistema crea un selector de campo para este elemento. Cuando se ubica un elemento “Interrupción” o “Seccionador”, el sistema crea un selector y el modelo del respectivo elemento.

#### 5.3.2.4 Subsistema de “Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa”

En este subsistema se construye la Parte Lógica Operativa de la subestación.

El diagrama muestra la interfaz de usuario para la creación de la parte lógica operativa de una subestación. El diseño se divide en varias secciones:

- Elementos:** Un panel vertical a la izquierda que sirve como lista de elementos disponibles.
- Formulario de Configuración:**
  - Una tabla con dos columnas: "Elemento" y "Estado", con dos filas de campos de entrada.
  - Una sección "And" que contiene una fila de campos "Elemento" y "Estado".
  - Una sección "Or" que contiene dos filas de campos "Elemento" y "Estado".
- Botones de Acción:**
  - Un botón "Guardar" ubicado dentro del formulario de configuración.
  - Botones "Aceptar" y "Cancelar" ubicados en la parte inferior del panel principal.

**Figura 90** Diseño de la Interfase para el Subsistema de “Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa”

En la parte izquierda se ubica el listado de los diferentes elementos (equipos de patio: Interruptores y Seccionadores) que necesitan esquema de enclavamiento.

En la parte derecha se muestra un panel en donde se irán ubicando los grupos elemento-estado y los diferentes operadores lógicos (And y Or).

### 5.3.2.5 Subsistema de “Administración de Condiciones de Simulación – Subestación”

En este subsistema se establece el estado de cada uno de los elementos de la subestación. Esto permite que para una misma subestación, se establezcan diferentes valores iniciales para los elementos de la subestación.

El diagrama muestra una interfaz de usuario con los siguientes componentes:

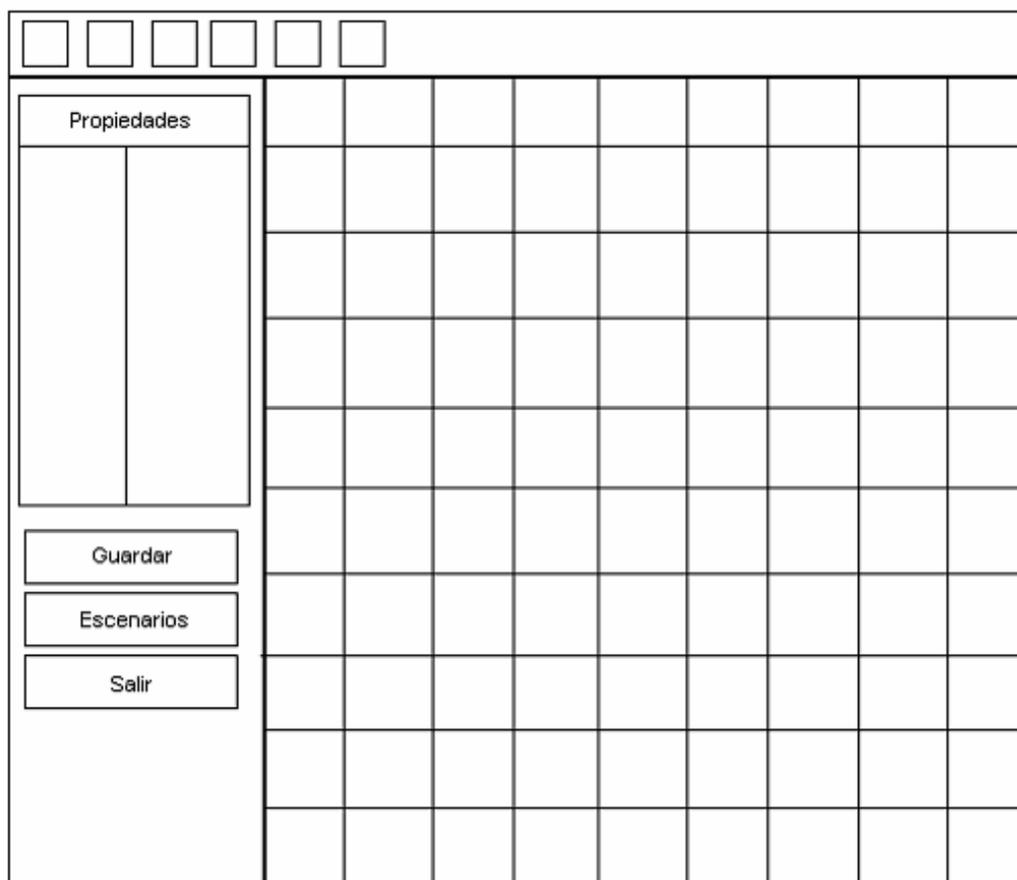
- Un campo de texto etiquetado "Nombre" en la parte superior.
- Un panel principal dividido en dos secciones:
  - A la izquierda, un área etiquetada "Elementos" que contiene un recuadro vacío para el listado de elementos.
  - A la derecha, un formulario con dos campos de entrada:
    - Un campo etiquetado "Elemento" para seleccionar un elemento.
    - Un campo etiquetado "Estado" para seleccionar un estado.
- Un botón "Guardar" ubicado en la parte inferior derecha del panel principal.
- Botones "Aceptar" y "Cancelar" ubicados en la parte inferior del formulario.

**Figura 91** Diseño de la Interfase para el Subsistema de “Administración de Condiciones de Simulación – Subestación”

En la parte izquierda se ubica el listado de los elementos de la subestación, que al ser seleccionado despliega en el panel de la derecha el nombre del elemento y una lista desplegable con los diferentes estados que el elemento puede tener.

### 5.3.2.6 Subsistema de “Creación de los Servicios Auxiliares – Parte física”

En este subsistema se construye el diagrama unifilar de los servicios auxiliares. En él existe una cuadrícula en la cual se ubican los diferentes elementos disponibles en la barra de elementos que se encuentra en la parte superior.



**Figura 92** Diseño de Interfase Subsistema de “Creación de los Servicios Auxiliares – Parte física”

### 5.3.2.7 Subsistema de “Administración de Condiciones de Simulación – Servicios Auxiliares”

En este subsistema se establece el estado de cada uno de los elementos de servicios auxiliares. Esto permite que para un mismo esquema de servicios auxiliares, se establezcan diferentes valores iniciales para los elementos.

En la parte izquierda se ubica el listado de los elementos de servicios auxiliares. Al ser seleccionado uno despliega en el panel de la derecha el nombre del elemento y una lista con los estados que el elemento puede tener.

Nombre

Elementos	Elemento
<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Estado <input type="text"/>

Guardar

Aceptar Cancelar

**Figura 93** Diseño de la Interfase para el Subsistema de “Administración de Condiciones de Simulación – Servicios Auxiliares”

### 5.3.2.8 Subsistema de “Operación de la Subestación”

En este subsistema se realiza la simulación de la subestación. El usuario puede trabajar sobre cada uno de los niveles que posee la subestación.

Niveles									
Campos									
Elementos									
Salir									

**Figura 94 Diseño de Interfase para el Subsistema de “Operación de la Subestación”**

En la parte izquierda se encuentran 3 listas en donde se muestran respectivamente los niveles de la subestación, los campos de la subestación y los elementos (equipos de patio: Interruptores y Seccionadores) pertenecientes a cada campo.

Al dar “clic” sobre la primera lista, se mostrará en la cuadrícula, la subestación en el nivel seleccionado. Al dar “clic” sobre la segunda lista, se mostrará en la cuadrícula el campo seleccionado.

Después se puede seleccionar el elemento y realizar las acciones que se pueden hacer sobre él.

### 5.3.2.9 Subsistema de “Seguimiento de Consignas”

Este subsistema realiza el seguimiento de las consignas que se encuentran en la base de datos. Las acciones de las consignas son leídas una a una desde la base de datos y el simulador las interpreta y las muestra en la interfase para que el usuario pueda ver que pasa cuando se realiza esa acción.

## 5.4 RESULTADO DE LA FASE DE ELABORACIÓN

En esta parte se identificaron los requisitos del sistema, y con base en estos se complementó el modelo del dominio, identificando por tanto las entidades y relaciones necesarias para soportar el sistema. Se detalló además, gran parte de los casos de uso, de ellos se analizaron los más importantes a fin de tener una visión global de dicho sistema; posteriormente se realizó el proceso de diseño, en el cual se tuvieron en cuenta los recursos “hardware” y “software” a utilizar, el modelo de arquitectura en capas, los subsistemas identificados y las interfases a utilizar. Por último, en esta parte se realizó una parte de la implementación relacionada con la instalación y configuración del “software” del sistema además de la asignación de los componentes necesarios a cada uno de los nodos especificados en el diagrama de despliegue mostrado en la figura “diagrama de despliegue”

De esta manera se concluye la fase de elaboración, al final de la cual se pueden apreciar los siguientes casos de uso:

Casos de Uso Identificados	Identificado	Descrito	Analizado	Diseñados e Implementados	¿Se comprende completamente?
Administrar Usuarios	Fase Inicio	Fase Inicio	Fase Elaboración		Si
Crear Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Modificar	Fase	Fase	Fase		Si

<b>Casos de Uso Identificados</b>	<b>Identificado</b>	<b>Descrito</b>	<b>Analizado</b>	<b>Diseñados e Implementados</b>	<b>¿Se comprende completamente?</b>
Usuario	Elaboración	Elaboración	Elaboración		
Eliminar Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Administrar Condiciones de Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Establecer Escenarios Equipos de Patio y control	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Establecer Escenarios Servicios Auxiliares	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Ver Resultado	Fase Inicio				Si
Seleccionar Condiciones de Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración			Si
Seleccionar Forma de Entrenamiento	Fase Inicio	Fase Elaboración			Si
Realizar Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Recrear Sesiones Anteriores	Fase Inicio	Fase Elaboración			Si
Consultar Resultados	Fase Inicio				Si
Consultar Ayuda	Fase Inicio				Si
Ver Consignas	Fase Inicio				Si
Verificar	Fase Inicio				Si

<b>Casos de Uso Identificados</b>	<b>Identificado</b>	<b>Descrito</b>	<b>Analizado</b>	<b>Diseñados e Implementados</b>	<b>¿Se comprende completamente?</b>
Condiciones					
Establecer Condiciones de Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Construir Subestación – Parte física	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Construir Subestación – Parte Lógica Operativa	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Maniobrar Elementos	Fase Elaboración	Fase Elaboración			Si
Cambiar Nivel de Operación	Fase Elaboración	Fase Elaboración			Si
Seguir Consigna	Fase Elaboración	Fase Elaboración			Si
Ingresar Consigna Operativa	Fase Elaboración	Fase Elaboración			Si
Ingresar Consigna Bajo Falla	Fase Elaboración	Fase Elaboración			Si
Iniciar Sesión	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Si
Validar Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración			Si
Forma de Entrenamiento Conductista	Fase Elaboración	Fase Elaboración			No
Forma de Entrenamiento	Fase Elaboración	Fase Elaboración			No

<b>Casos de Uso Identificados</b>	<b>Identificado</b>	<b>Descrito</b>	<b>Analizado</b>	<b>Diseñados e Implementados</b>	<b>¿Se comprende completamente?</b>
Constructivista					
Forma de Entrenamiento evaluación	Fase Elaboración	Fase Elaboración			No

**Tabla 17 Casos de Uso identificados en la Fase de Elaboración**

Además, a modo de resumen se describe en la tabla la vista de la arquitectura contenida en la Fase de Elaboración.

<b>Flujo</b>	<b>Sección</b>	<b>Vista</b>	<b>Comentario</b>
Captura de Requisitos	Casos de Uso en Detalle	Figura 72 Modelo de Casos de Uso – Administrar Condiciones de Simulación Figura 73 Modelo de Casos de Uso – Administrar Usuarios. Figura 74 Modelo de Casos de Uso – Construir Subestación Figura 75 Modelo de Casos de Uso – Realizar Simulación Figura 76 Modelo de Casos de Uso – Seleccionar Forma de Entrenamiento	Presenta los actores y casos de uso más importantes del sistema, además de proporcionar una vista de la arquitectura a través de los casos de uso relevantes para la arquitectura candidata.
Análisis	Diagramas de colaboración y actividades y Paquetes de Análisis.	Figura 77 Paquete de Análisis – Administrar Usuarios Figura 78 Paquete de Análisis – Construcción Figura 79 Paquete de Análisis – Simulación	Principales diagramas de colaboración y paquetes de análisis encontrados.

Flujo	Sección	Vista	Comentario
		<p>Figura 80 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Crear Usuario</p> <p>Figura 81 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Crear Subestación – Parte física</p> <p>Figura 82 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Crear Subestación – Parte Lógica Operativa</p> <p>Figura 83 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Administrar Condiciones de Simulación.</p> <p>Figura 84 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Realizar Simulación</p> <p>Figura 85 Diagrama de Colaboración Caso de Uso Recrear Sesión Anterior</p>	
Diseño		<p>Figura 86 Diagrama de despliegue del sistema</p> <p>Figura 87 Diseño de la interfase para el subsistema Inicio de Sesión</p> <p>Figura 88 Diseño de la interfase para el subsistema de Información de la Subestación</p> <p>Figura 89 Diseño de la interfase para el subsistema de Creación de la Subestación – Parte física</p>	Aquí se presentan los diagramas que ilustran el diseño de la arquitectura proyectada para el sistema.

Flujo	Sección	Vista	Comentario
		<p>Figura 90 Diseño de la interfase para el subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa</p> <p>Figura 91 Diseño de la interfase para el subsistema de Administración de Condiciones de Simulación - Subestación</p> <p>Figura 92 Diseño de la interfase para el subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte física</p> <p>Figura 93 Diseño de la interfase para el subsistema de Administración de Condiciones de Simulación – Servicios Auxiliares</p> <p>Figura 94 Diseño de la interfase para el subsistema de Operación de la Subestación</p>	

**Tabla 18 Vista de la arquitectura contenida en la Fase de Elaboración**

## 6. FASE DE CONSTRUCCION

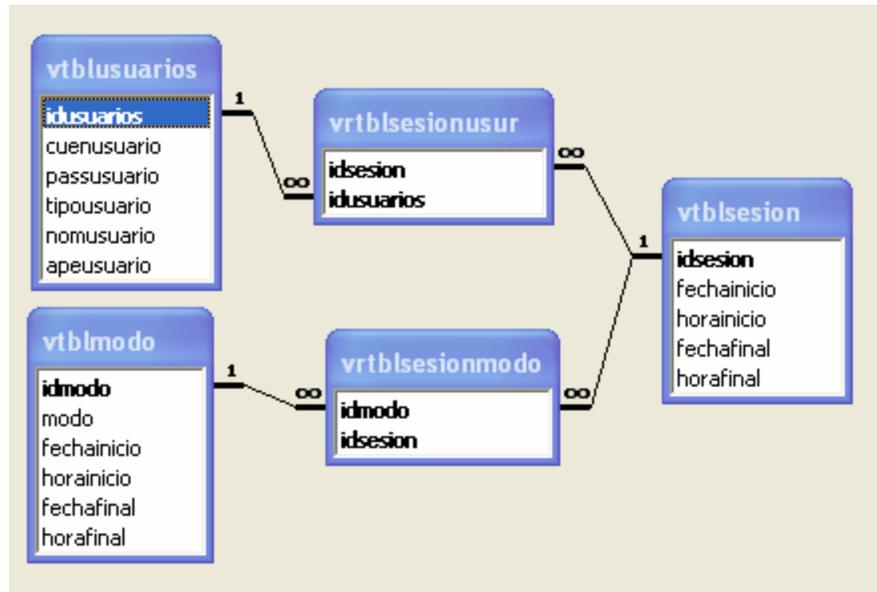
Después de satisfacerse las fases anteriores, de Inicio y Elaboración, la identificación de las características, la estructuración de los requisitos, la definición de la arquitectura y el análisis de funcionalidad de la herramienta “software” son estables. El énfasis en esta fase se centra, entonces en la implementación y pruebas del “software”, hasta conseguir una versión ejecutable con capacidad operativa lo suficientemente satisfactoria como para permitir la primera entrega de la herramienta a los usuarios. Adicionalmente, durante la fase de construcción se crean documentos que complementan la herramienta, tales como la guía del usuario final. La construcción del sistema se considera terminada cuando se pueda garantizar la realización de todos los casos de uso y además, cuando no surjan riesgos incontrolables al utilizar la aplicación.

En pocas palabras, en la fase de elaboración, se analizan los casos de uso, y paquetes significativos desde el punto de vista de la arquitectura y se obtiene al final, un modelo del análisis al que sólo se le añaden actualizaciones menores, en la fase de construcción. Con respecto al modelo de diseño se tiene una situación semejante, ya que no se añaden nuevos subsistemas sino que se conservan los existentes en forma de esqueleto en la línea base de la arquitectura.

En la fase de elaboración se identifican los subsistemas de aplicación. Durante esta fase se implementan estos subsistemas con el fin de asegurar que cumplen su papel en cada construcción. Posteriormente se presentan las pruebas que permiten verificar el funcionamiento de los mismos.

## 6.1 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS

### 6.1.1 Subsistema de Inicio de Sesión



**Figura 95 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Inicio de Sesión**

En la Tabla 19 se describe cada una de las tablas que se relaciona en la Figura 95.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
vtblsesion	Tabla perteneciente a Varios. Se almacena la información de la sesión de simulación.	<b>idsesion</b> (Entero): identificador de la sesión. <b>fechainicio</b> (Fecha): Fecha de inicio de la sesión. <b>horainicio</b> (Hora): Hora de inicio de la sesión. <b>fechafinal</b> (Fecha): Fecha de finalización de la sesión. <b>horafinal</b> (Hora): Hora de finalización de la sesión.
vtblusuarios	Tabla perteneciente a Varios. Se	<b>idusuarios</b> (Entero): identificador

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
	almacena la información de los usuarios del sistema de simulación.	<p>del usuario.</p> <p><b>cuusuario</b> (String): Nombre de la cuenta de usuario.</p> <p><b>passusuario</b> (String): Contraseña de acceso del usuario.</p> <p><b>tipousuario</b> (String): Tipo de usuario del sistema (Administrador o Usuario).</p> <p><b>nomusuario</b> (String): Nombres del usuario.</p> <p><b>apeusuario</b> (String): Apellidos del usuario.</p>
vtblmodo	Tabla perteneciente a Varios. Se almacena la información de los modos de sesión de simulación.	<p><b>idmodo</b> (Entero): identificador del modo de sesión.</p> <p><b>modo</b> (String): Modo de sesión.</p> <p><b>fechainicio</b> (Fecha): Fecha de inicio de la sesión.</p> <p><b>horainicio</b> (Hora): Hora de inicio de la sesión.</p> <p><b>fechafinal</b> (Fecha): Fecha de finalización de la sesión.</p> <p><b>horafinal</b> (Hora): Hora de finalización de la sesión.</p>
vrtblsesionusur	Tabla perteneciente a Varios. Relaciona cada sesión de simulación con un usuario del sistema.	<p><b>idsesion</b> (Entero): identificador de sesión.</p> <p><b>idusuarios</b> (Entero): identificador del usuario.</p>
vrtblsesionmodo	Tabla perteneciente a Varios. Relaciona cada modo de sesión de simulación con una sesión de simulación.	<p><b>idmodo</b> (Entero): identificador del modo de sesión.</p> <p><b>idsesion</b> (Entero): identificador de la sesión.</p>

**Tabla 19 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Inicio de Sesión**

### 6.1.2 Subsistema de Información de la Subestación



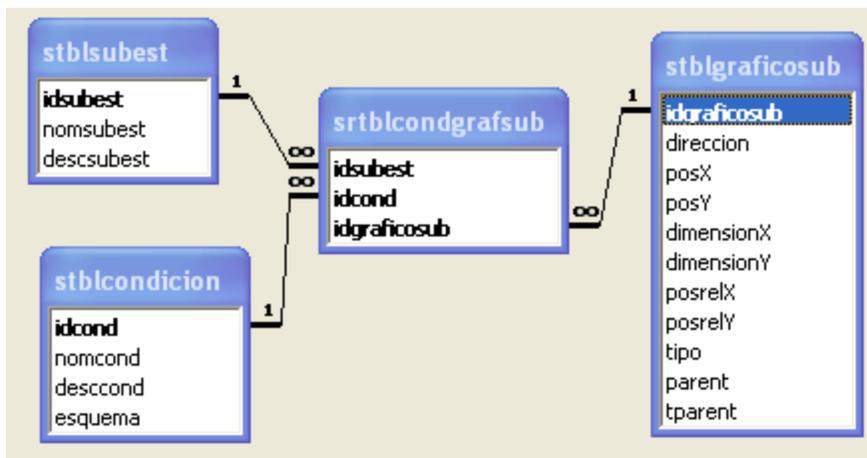
**Figura 96 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Información de la Subestación**

En la Tabla 20 se describen las tablas relacionadas en la Figura 96.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
stblsubest	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacena la información de la subestación.	<b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación. <b>nomsubest</b> (String): Nombre de la subestación. <b>descsubest</b> (Memo): Descripción de la subestación.
stblnivel	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacenan los posibles niveles que puedan tener las subestaciones.	<b>idnivel</b> (Entero): identificador del nivel <b>nomnivel</b> (String): Nombre del nivel. <b>descnivel</b> (Memo)
srtblnivelesubest	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona cada subestación con los niveles que presenta.	<b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación. <b>idnivel</b> (Entero): identificador del nivel.

**Tabla 20 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Información de la Subestación**

### 6.1.3 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física



**Figura 97 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física**

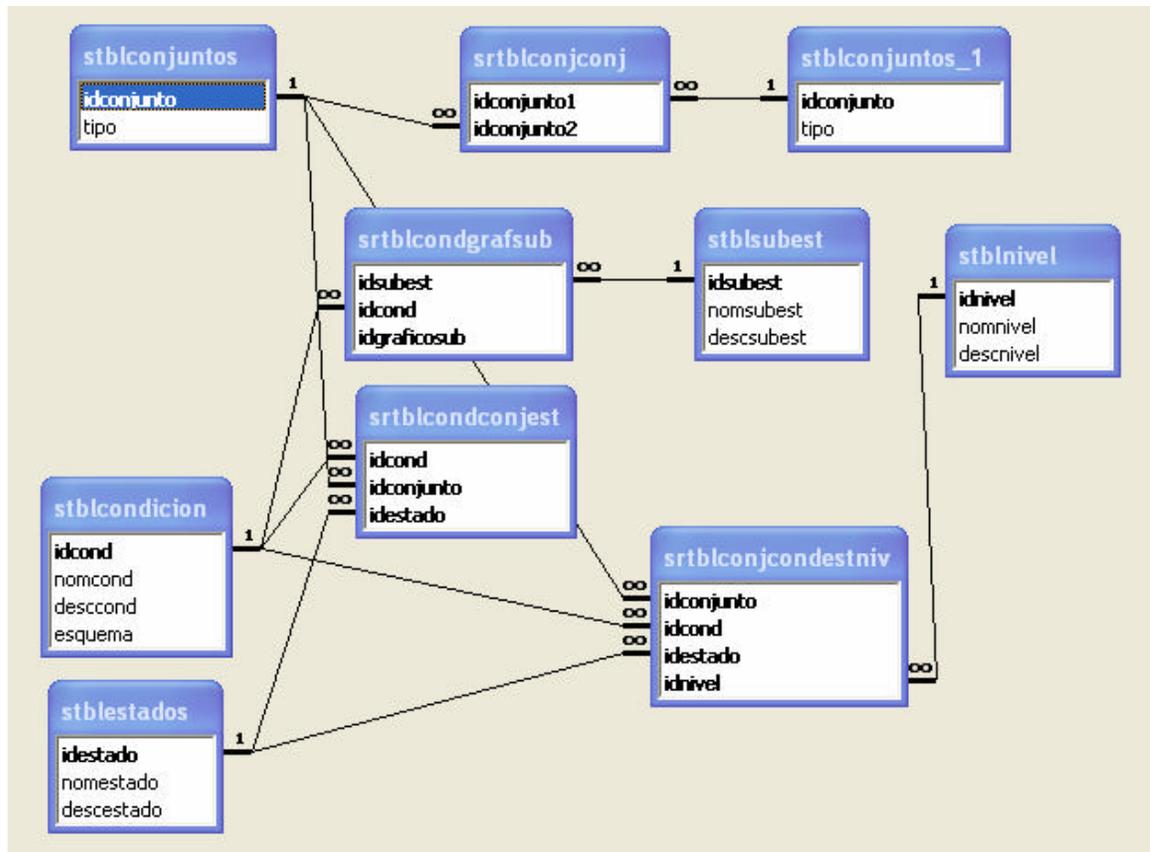
En la Tabla 21 se describen las tablas relacionadas en la Figura 97.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
stblsubest	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacena la información de la subestación.	<b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación. <b>nomsubest</b> (String): Nombre de la subestación. <b>descsubest</b> (Memo): Descripción de la subestación.
stblcondicion	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacena la información de los elementos de la subestación.	<b>idcond</b> (Entero): identificador del elemento. <b>nomcond</b> (String): Nombre de la subestación. <b>desccond</b> (Memo): Descripción de la subestación. <b>esquema</b> (Entero): indica si el

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
		elemento requiere esquema de enclavamiento.
stblgraficosub	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacena la información sobre como los elementos de la subestación deben ser graficados.	<p><b>idgraficosub</b> (Entero): identificador del elemento en la subestación.</p> <p><b>direccion</b> (Entero): Indica la dirección del elemento.</p> <p><b>posX</b> (Entero): indica la posición del elemento en el eje X.</p> <p><b>posY</b> (Entero): indica la posición del elemento en el eje Y.</p> <p><b>dimensionX</b> (Entero): indica la dimensión del elemento en el eje X.</p> <p><b>dimensionY</b> (Entero): indica la dimensión del elemento en el eje X.</p>
srtblcondgrafsub	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona la subestación con los elementos que hacen parte de ella y como estos deben ser graficados.	<p><b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación.</p> <p><b>idcond</b> (Entero): identificador del elemento.</p> <p><b>idgraficosub</b> (Entero): identificador del elemento en la subestación.</p>

**Tabla 21 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física**

### 6.1.4 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa



**Figura 98 Diagrama de Base de Datos para el Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa**

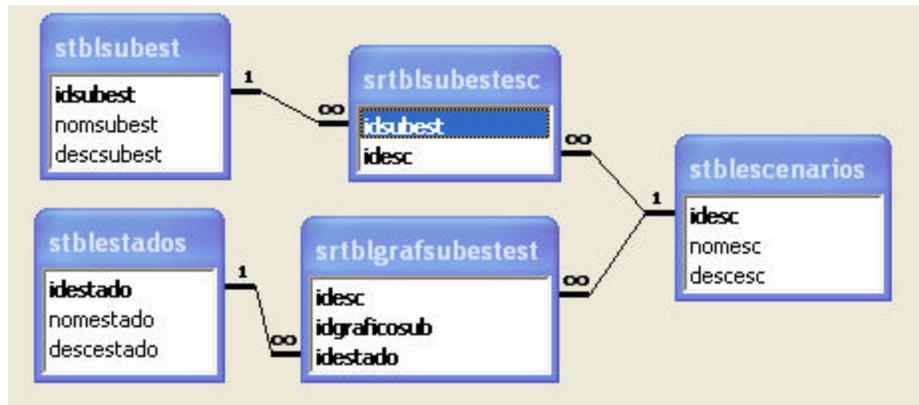
En la Tabla 22 se describen las tablas relacionadas en la Figura 98.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
stblconjuntos	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacenan los operadores lógicos que hacen parte de un esquema de enclavamientos	<b>idconjunto</b> (Entero): identificador del conjunto <b>tipo</b> (String): Tipo de Operador Lógico.
srtblconjconj	Tabla perteneciente al sistema de	<b>Idconjunto1</b> (Entero):

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
	simulación. Relaciona los diferentes conjuntos para formar el esquema de enclavamiento.	identificador del esquema de enclavamiento. <b>idconjunto2</b> (Entero): identificador del esquema de enclavamiento.
srtblcondconjest	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona el elemento con un esquema de enclavamiento.	<b>idcond</b> (Entero): identificador del elemento <b>idconjunto</b> (Entero): identificador del esquema de enclavamiento. <b>idestado</b> (Entero): identificador del estado del elemento.
srtblconjcondest	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona los elementos que se encuentran en un conjunto que hace parte de un esquema de enclavamiento.	<b>idconjunto</b> (Entero): identificador del esquema de enclavamiento. <b>idcond</b> (Entero): identificador del elemento <b>idestado</b> (Entero): identificador del estado del elemento.

**Tabla 22 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa**

### 6.1.5 Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación



**Figura 99 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación**

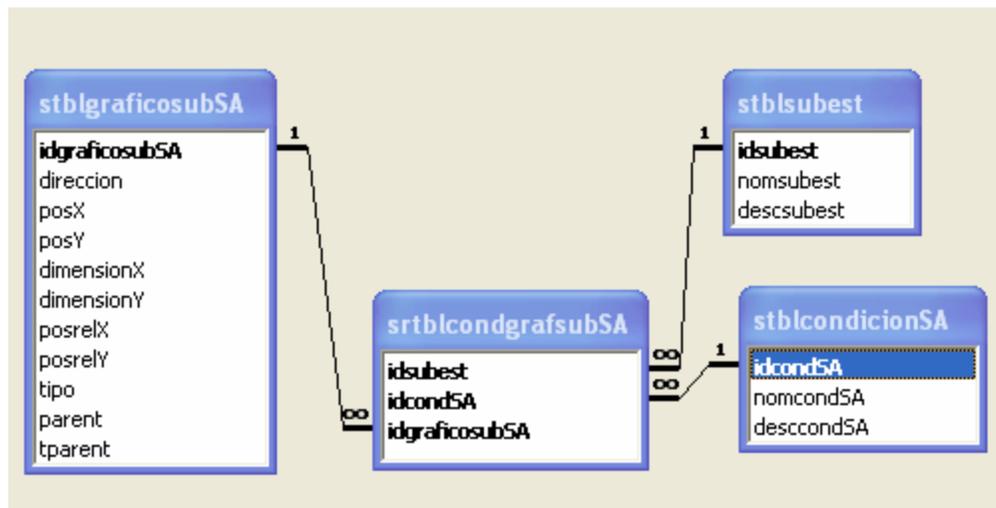
En la Tabla 23 se describen las tablas relacionadas en la Figura 99.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
stblescenarios	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacena la información sobre las condiciones iniciales de la subestación.	<b>idesc</b> (Entero): identificador del escenario. <b>nomesc</b> (String): Nombre del escenario. <b>descesc</b> (Memo): Descripción del escenario.
srtblsubestesc	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona los escenarios con las subestaciones.	<b>idesc</b> (Entero): identificador del escenario. <b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación.
srtblgrafsubestest	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona el escenario con los elementos de la subestación y establece su estado inicial.	<b>idesc</b> (Entero): identificador del escenario. <b>idgraficosub</b> (Entero): identificador del elemento de la subestación. <b>idestado</b> (Entero): identificador

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
		del estado.

**Tabla 23 Descripción de tablas usadas en el subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación**

### 6.1.6 Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física



**Figura 100 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física**

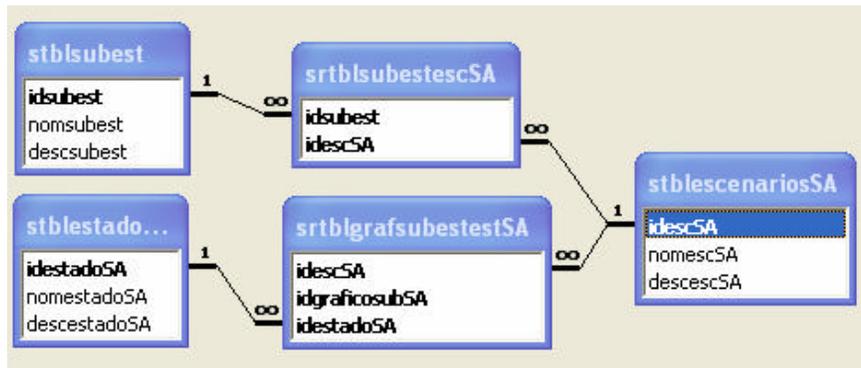
En la Tabla 24 se describen las tablas relacionadas en la Figura 100.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
stblcondicionSA	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacena la información de los elementos de la subestación.	<b>idcondSA</b> (Entero): identificador del elemento. <b>nomcondSA</b> (String): Nombre de la subestación. <b>desccondSA</b> (Memo): Descripción de la subestación.
stblgraficosubSA	Tabla perteneciente al sistema de	<b>idgraficosubSA</b> (Entero):

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
	simulación. Se almacena la información sobre como los elementos de Servicios Auxiliares deben ser graficados.	<p>identificador del elemento en Servicios Auxiliares.</p> <p><b>direccion</b> (Entero): Indica la dirección del elemento.</p> <p><b>posX</b> (Entero): indica la posición del elemento en el eje X.</p> <p><b>posY</b> (Entero): indica la posición del elemento en el eje Y.</p> <p><b>dimensionX</b> (Entero): indica la dimensión del elemento en el eje X.</p> <p><b>dimensionY</b> (Entero): indica la dimensión del elemento en el eje X.</p>
srtblcondgrafsubSA	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona la subestación con los elementos que hacen parte de Servicios Auxiliares y como estos deben ser graficados.	<p><b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación.</p> <p><b>idcondSA</b> (Entero): identificador del elemento.</p> <p><b>idgraficosubSA</b> (Entero): identificador del elemento en Servicios Auxiliares.</p>

**Tabla 24 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física**

### 6.1.7 Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – SSAA



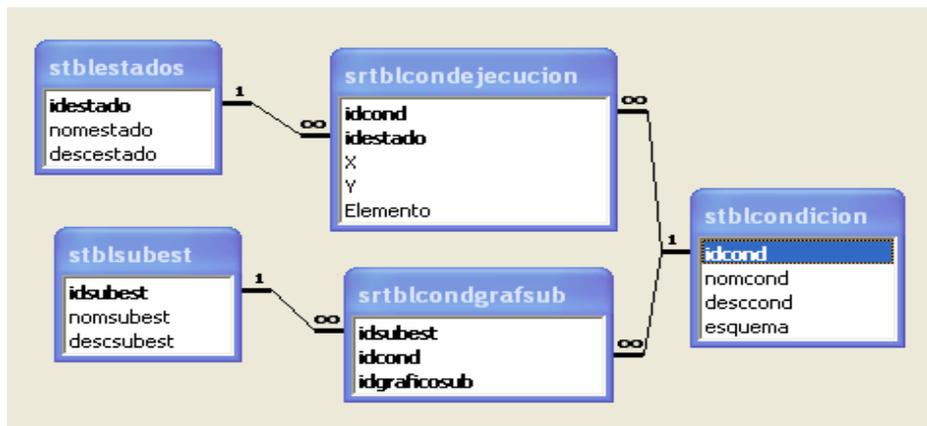
**Figura 101 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Servicios Auxiliares**

En la Tabla 25 se describen las tablas relacionadas en la Figura 101.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
stblescenariosSA	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Se almacena la información sobre las condiciones iniciales de Servicios Auxiliares.	<b>idescSA</b> (Entero): identificador del escenario. <b>nomescSA</b> (String): Nombre del escenario.
srtblsubestescSA	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona los escenarios con las subestaciones.	<b>idescSA</b> (Entero): identificador del escenario. <b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación.
srtblgrafsubestestSA	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona el escenario con los elementos de Servicios Auxiliares y establece su estado inicial.	<b>idescSA</b> (Entero): identificador del escenario. <b>idgraficosubSA</b> (Entero): identificador del elemento de Servicios Auxiliares. <b>idestado</b> (Entero): identificador del estado.

**Tabla 25 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Servicios Auxiliares**

### 6.1.8 Subsistema de Operación de la Subestación



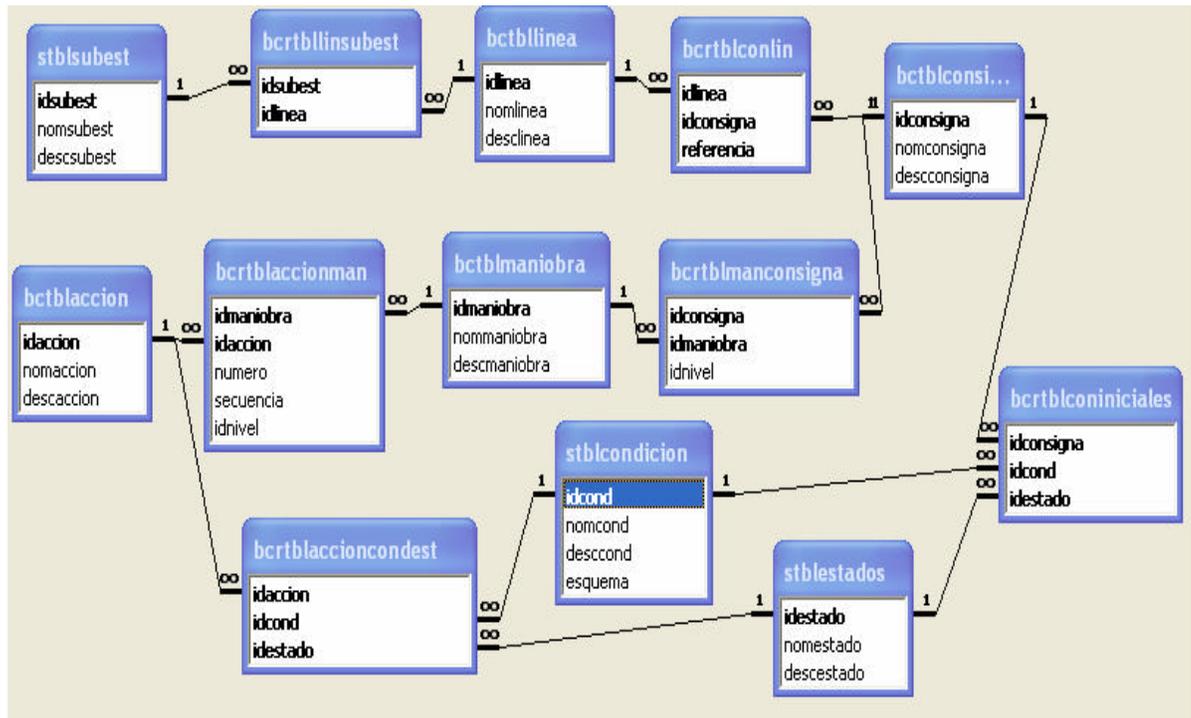
**Figura 102 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Operación de la Subestación**

En la Tabla 26 se describen las tablas relacionadas en la Figura 102.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
srtblcondejecucion	Tabla perteneciente al sistema de simulación. Relaciona los elementos con su estado durante la ejecución del sistema de simulación.	<b>idcond</b> (Entero): identificador del elemento. <b>idestado</b> (Entero): identificador del estado del elemento.

**Tabla 26 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Operación de la Subestación**

### 6.1.9 Subsistema de Seguimiento de Consignas



**Figura 103 Diagrama de Base de Datos del Subsistema de Seguimiento de Consignas**

En la Tabla 27 se describen las tablas relacionadas en la Figura 103.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
bctbllinea	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Se almacena la información sobre los campos o líneas existentes en las subestaciones.	<b>idlinea</b> (Entero): identificador del campo o línea. <b>nomlinea</b> (String): Nombre del campo o línea. <b>desclinea</b> (Memo): Descripción del campo o línea.
bctblconsignas	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Se almacena la información sobre las consignas	<b>idconsigna</b> (Entero): identificador de la consigna operativa.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
	operativas de las subestaciones.	<b>nomconsigna</b> (String): Nombre de la consigna operativa. <b>descconsigna</b> (Memo): Descripción de la consigna operativa.
bctblmaniobra	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Se almacena la información sobre las maniobras que se realizan en las consignas operativas de las subestaciones.	<b>idmaniobra</b> (Entero): identificador de la maniobra. <b>nommaniobra</b> (String): Nombre de la maniobra. <b>descmaniobra</b> (Memo): Descripción de la maniobra.
bctblaccion	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Se almacena la información sobre las acciones que se realizan en las consignas operativas de las subestaciones.	<b>idaccion</b> (Entero): identificador de la acción. <b>nomconsigna</b> (String): Nombre de la acción. <b>descconsigna</b> (Memo): Descripción de la acción.
bcrtblinsubest	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Relaciona los campos con las subestaciones.	<b>idsubest</b> (Entero): identificador de la subestación. <b>idlinea</b> (Entero): identificador del campo o línea.
bcrtblconlin	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Relaciona las consignas operativas con los campos de las subestaciones.	<b>idlinea</b> (Entero): identificador del campo o escenario. <b>idconsigna</b> (Entero): identificador de la consigna operativa. <b>referencia</b> (String): referencia de la consigna operativa para determinado campo.
bcrtblcondiniciales	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Establece las condiciones iniciales en las consignas operativas.	<b>idconsigna</b> (Entero): identificador de la consigna. <b>idcond</b> (Entero): identificador del elemento de la subestación.

Nombre de la Tabla	Descripción	Campos
		<b>idestado</b> (Entero): identificador del estado.
bcrtblmanconsigna	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Relaciona las maniobras con las consignas operativas.	<b>idconsigna</b> (Entero): identificador de la consigna <b>idmaniobra</b> (Entero): identificador de la maniobra.
bcrtblaccionman	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Relaciona acciones con las maniobras de las consignas operativas.	<b>idmaniobra</b> (Entero): identificador de la maniobra. <b>idaccion</b> (Entero): identificador de la acción. <b>secuencia</b> (Entero): secuencia de la acción en la maniobra.
bcrtblaccioncondest	Tabla perteneciente a la base de conocimiento. Establece el cambio de estado para un elemento al ejecutar la acción.	<b>idaccion</b> (Entero): identificador de la acción. <b>idcond</b> (Entero): identificador del elemento. <b>idestado</b> (Entero): identificador del estado.

**Tabla 27 Descripción de tablas usadas en el Subsistema de Seguimiento de Consignas**

## 6.2 SUBSISTEMAS DE APLICACIÓN

Para llevar a cabo estos subsistemas, se utiliza el lenguaje de programación JAVA 2 Standard Edition (J2SE) (vease Anexo C), incluido en el ambiente de desarrollo Oracle JDeveloper Versión 10g.

## 6.2.1 Subsistema de Inicio de Sesión

Este subsistema valida el ingreso al sistema por parte de un actor, según tenga permiso para acceder a una zona o subsistema determinado, así como a un caso de uso en particular.

### 6.2.1.1 Implementación

Este subsistema se implementó en el archivo *InicioSesion.java*. Se ha elegido presentar el siguiente segmento de código, el cual permite la validación de los usuarios.

```

SQL = "SELECT * FROM vtblusuarios where cuenusuario="+ TNombre.getText() +"" ;
.....
while(rs.next()){
    idtemp = rs.getInt(1);
    nomtemp = rs.getString(2);
    nomtemp1 = rs.getString(3);
    nomtemp2 = rs.getString(4);
    TContrasena2.setText(nomtemp1);
    if (TContrasena2.getText().equals(TContrasena.getText()))
    {
        System.out.println("Contraseña Valida");
        ValidUser =true;
        GregorianCalendar FechaActual = new GregorianCalendar();
        dia = FechaActual.get(Calendar.DAY_OF_MONTH);
        mes = FechaActual.get(Calendar.MONTH)+1;
        agno = FechaActual.get(Calendar.YEAR);
        hora = FechaActual.get(Calendar.HOUR);
        minutos = FechaActual.get(Calendar.MINUTE);
        SQL1 = "SELECT max(idsesion) FROM vtblsesion" ;
        .....
        idtemp1=0;
        while(rs1.next()){

```

```

idtemp1 = rs1.getInt(1);
}
idtemp1++;
SQL2 = "INSERT INTO vtblsesion VALUES (" + idtemp1 + "," + ..... + "','')";
.....
SQL2 = "INSERT INTO vrtblsesionusur VALUES (" + idtemp1 + "," + idtemp + ")";
.....
}
else
{
System.out.println("Contraseña No Valida");
}
}
}

```

**Tabla 28 Segmento de código Subsistema de Inicio de Sesión**

**Figura 104 Interfase que permite el inicio de sesión**

### 6.2.2 Subsistema de Información de la Subestación

En este subsistema se establece el nombre, tipo, descripción y los niveles de operación de la subestación.

### 6.2.2.1 Implementación

Este subsistema se implementó en el archivo *CrearSub.java*. Se ha elegido presentar el siguiente segmento de código, el cual permite la creación de la nueva subestación (solo información) y establecer sus niveles de operación.

```

SQL01 = "SELECT MAX(idsubest) FROM stblsubest";
.....
while(rs01.next())
{
    idtemp01 = rs01.getInt(1);
}
idtemp01++;
SQL01 = "INSERT INTO stblsubest VALUES (" + idtemp01 + "," + T1.getText() + ",.....)";
.....
for (i = 0 ; i < List2.getItemCount() ; i++ )
{
    SQL01 = "SELECT idnivel FROM stblnivel WHERE nomnivel = " + List2.getItem(i) + """;
    .....
    while(rs01.next())
    {
        idtemp02 = rs01.getInt(1);
    }
    SQL01 = "INSERT INTO srtblnivelest VALUES (" + idtemp01 + "," + idtemp02 + ")";
    .....
}

```

**Tabla 29 Segmento de código Subsistema de Información de la Subestación**

SEOS - Construyendo la Subestación - Paso 1

Nombre

Presenta Nivel 2 (Sala de Control) ?  Si  No

**Campos**

Nombre

Tipo

Nomenclatura

Agregar

--	--	--

Aceptar Cancelar

**Figura 105** Interfase que permite introducir la información de una nueva subestación

#### 6.2.2.2 Pruebas

##### ➤ Casos de Pruebas

Los casos de prueba que se efectúan por ser comunes a todos los subsistemas de aplicación se nominan a continuación:

- Correcto almacenamiento de información en la base de datos

- Conexión y selección correcta de la base de datos

➤ **Procedimiento de Pruebas**

En este subsistema se muestra el caso de prueba “Correcto almacenamiento de información en la base de datos”, el cual se puede observar en la tabla.

<b>Datos de Entrada</b>	Nombre	<input type="text" value="Guatiguara"/>									
	Presenta Nivel 2 (Sala de Control) ?	<input checked="" type="radio"/> Si <input type="radio"/> No									
<b>Campos</b>											
Nombre	<input type="text" value="Campo Sochagota 1"/>										
Tipo	<input type="text" value="Circuito de Línea"/>										
Nomenclatura	<input type="text" value="L"/>	<input type="text" value="14"/>									
<input type="button" value="Agregar"/>											
<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td>Campo Bucaramanga</td><td>L</td><td>12</td></tr><tr><td>Campo Primavera</td><td>L</td><td>13</td></tr><tr><td>Campo Sochagota 1</td><td>L</td><td>14</td></tr></table>			Campo Bucaramanga	L	12	Campo Primavera	L	13	Campo Sochagota 1	L	14
Campo Bucaramanga	L	12									
Campo Primavera	L	13									
Campo Sochagota 1	L	14									

<b>Registro en la Base de Datos</b>	<b>stblsubest : Tabla</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>idsubest</th> <th>nomsuubest</th> <th>descsubest</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>17</td> <td>Guatiguara</td> <td>Guatiguara</td> </tr> </tbody> </table> Registro: 18 de 18	idsubest	nomsuubest	descsubest	17	Guatiguara	Guatiguara									
	idsubest	nomsuubest	descsubest													
	17	Guatiguara	Guatiguara													
	<b>stblnivel : Tabla</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>idnivel</th> <th>nomnivel</th> <th>descnivel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Nivel 0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Nivel 1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Nivel 2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Nivel 3</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Registro: 1 de 4	idnivel	nomnivel	descnivel	1	Nivel 0		2	Nivel 1		3	Nivel 2		4	Nivel 3	
	idnivel	nomnivel	descnivel													
1	Nivel 0															
2	Nivel 1															
3	Nivel 2															
4	Nivel 3															
<b>srtblnivelesubest : Tabla</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>idsubest</th> <th>idnivel</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>17</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> Registro: 61 de 64	idsubest	idnivel	17	1	17	2	17	3	17	4						
idsubest	idnivel															
17	1															
17	2															
17	3															
17	4															
<b>bctbllinea : Tabla</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>idlinea</th> <th>nomlinea</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>181</td> <td>Campo Bucaramanga</td> <td>L12</td> </tr> <tr> <td>182</td> <td>Campo Primavera</td> <td>L13</td> </tr> <tr> <td>183</td> <td>Campo Sochagota 1</td> <td>L14</td> </tr> </tbody> </table> Registro: 55 de 55	idlinea	nomlinea		181	Campo Bucaramanga	L12	182	Campo Primavera	L13	183	Campo Sochagota 1	L14				
idlinea	nomlinea															
181	Campo Bucaramanga	L12														
182	Campo Primavera	L13														
183	Campo Sochagota 1	L14														
<b>bcrtblinsubest : Tabla</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>idsubest</th> <th>idlinea</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>17</td> <td>181</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>182</td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>183</td> </tr> </tbody> </table> Registro: 53 de 55	idsubest	idlinea	17	181	17	182	17	183								
idsubest	idlinea															
17	181															
17	182															
17	183															

**Tabla 30 Prueba para Correcto almacenamiento de información en la base de datos**

### 6.2.3 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física

En este subsistema se construye la subestación (parte física – equipos de patio).

#### 6.2.3.1 Implementación

Este subsistema se implementó con los archivos que se listan en la Tabla 31

Archivo	Descripción
Constructor.java	Se muestra los elementos en una barra de herramientas y permite ubicar en la cuadrícula los elementos que hacen parte de la subestación
Cuadro.java	Dibuja la cuadrícula en donde se ubican los elementos
Barra.java	Elemento Barra.
Campo.java	Elemento Campo
Conector.java	Elemento Conector
Interruptor.java	Elemento Interruptor
Linea.java	Elemento línea
Seccionador.java	Elemento Seccionador
Tierra.java	Elemento Tierra
PropCampo.java	Permite establecer ciertas propiedades indispensables para graficar el elemento Campo
PropSecc.java	Permite establecer ciertas propiedades indispensables para graficar el elemento Seccionador
Info.java	Almacena información sobre todas las propiedades de los elementos

**Tabla 31 Listado de Archivos usados en la implementación del subsistema  
Creación de la Subestación – Parte Física**

Se ha elegido presentar el siguiente segmento de código del archivo *Constructor.java*, el cual permite la creación de la nueva subestación (equipos de patio y control).

```

SQL01 = "SELECT max(idgraficosub) FROM stblgraficosub";
.....
while(rs01.next())
{
    idtemp01 = rs01.getInt(1);
}
SQL01 = "SELECT valor1 FROM vtblpropiedad WHERE propiedad='subestacion";
.....

```

```

while(rs01.next())
{
    idtemp02 = rs01.getInt(1);
}
SQL01 = "SELECT max(idcond) FROM stblcondicion";
.....
while(rs01.next())
{
    idtemp03 = rs01.getInt(1);
}
//Guardando las BARRAS
for ( i = 1 ; i <= ContBarra ; i++ )
{
    idtemp01++;
    SQL01 = "INSERT INTO stblgraficosub VALUES (" + idtemp01 + "," + ..... + ")";
    .....
    idtemp03++;
    SQL01 = "INSERT INTO stblcondicion VALUES (" + idtemp03 + "," + Barras[i].INFO.Condicion +
    "," + 0)";
    .....
    SQL01 = "INSERT INTO srtblsubestgrafsub VALUES (" + idtemp02 + "," + idtemp01 + ")";
    .....
    SQL01 = "INSERT INTO srtblcondgrafsub VALUES (" + idtemp02 + "," + idtemp03 + "," + idtemp01 +
    ")";
    .....
    for ( int j = 1 ; j <= Barras[i].NumEstados ; j++ )
    {
        idtemp04 = 0;
        SQL01 = "SELECT idestado FROM stblestados WHERE nomestado=" + Barras[i].Estados[j] + "" ;
        .....
        while(rs01.next())
        {
            idtemp04 = rs01.getInt(1);
        }
        if (idtemp04 == 0)
        {
            SQL02 = "SELECT max(idestado) FROM stblestados";
            .....
            while(rs02.next())
            {

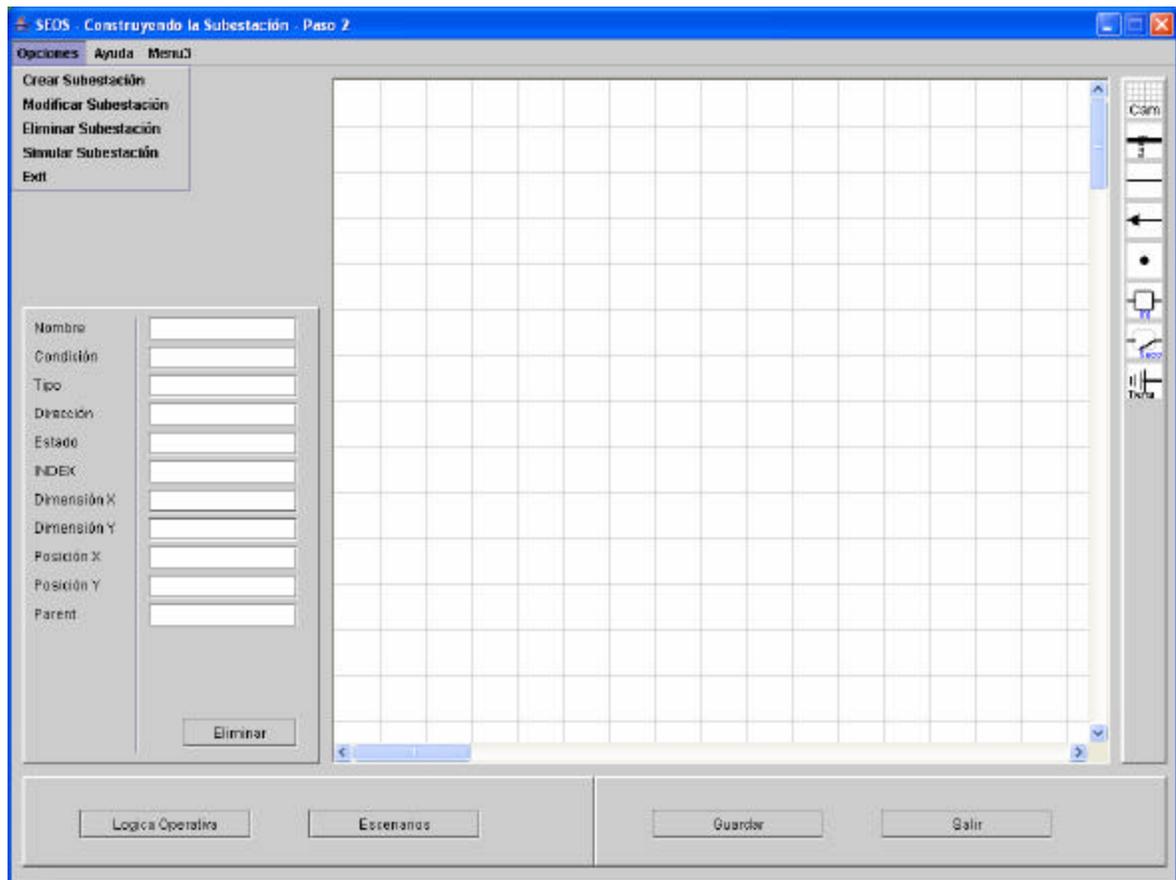
```

```

    idtemp04 = rs02.getInt(1);
}
idtemp04++;
SQL02 = "INSERT INTO stblestados VALUES (" + idtemp04 + "," + Barras[i].Estados[j] + "," + ")";
.....
}
SQL02 = "INSERT INTO srtblcondest VALUES (" + idtemp03 + "," + idtemp04 + "," + j + ")";
.....
}
}
//Guardando los CAMPOS
.....
//Guardando el Selector para el Campo
if (Subestacion.Nivel1 == true)
{
    Selectores = new Selector(3);
    idtemp01++;
    SQL01 = "INSERT INTO stblgraficosub VALUES (" + idtemp01 + "," + ..... + ")";
.....
    idtemp03++;
    SQL01 = "INSERT INTO stblcondicion VALUES (" + idtemp03 + ..... + "," + ",0)";
.....
//Guardando los Interruptores
.....
//Guardando el Selector para el Interruptor
.....
//Guardando los Seccionadores
.....
//Guardando el Selector para el Seccionador
.....
//Guardando las LINEAS
.....
//Guardando los CONECTORES
.....
//Guardando las TIERRAS
.....

```

**Tabla 32 Segmento de código Subsistema de Creación de la Subestación –  
Parte Física**



**Figura 106** Interfase que permite la creación de una nueva subestación (elementos de patio y control)

### 6.2.3.2 Pruebas

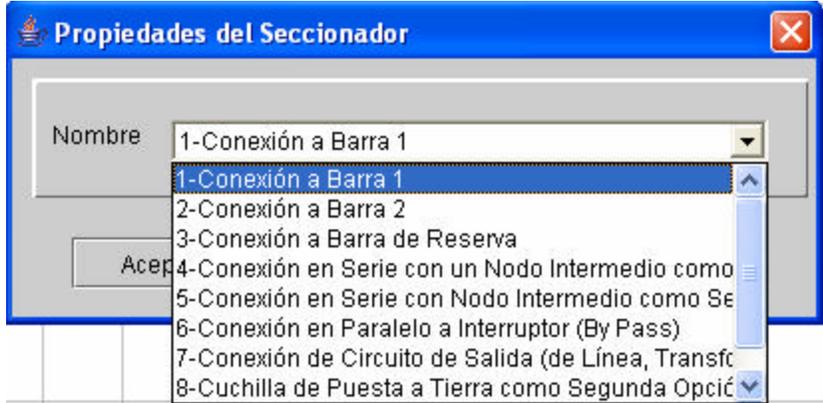
#### ➤ Casos de Pruebas

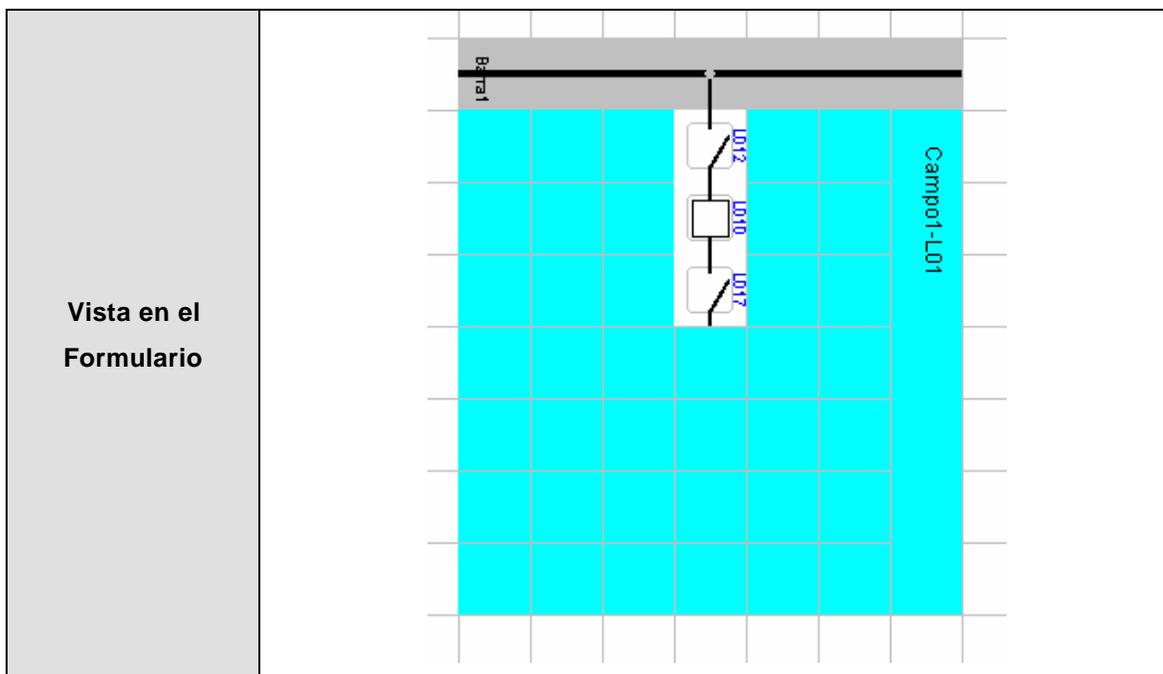
Los casos de prueba que se efectúan por ser comunes a todos los subsistemas de aplicación se nominan a continuación:

- Correcto almacenamiento de información en la base de datos
- Conexión y selección correcta de la base de datos
- Correcta ubicación de los elementos
- Correcta representación grafica de los elementos

### ➤ Procedimiento de Pruebas

En este subsistema se muestra el caso de prueba “Correcta ubicación de los elementos” y “Correcta representación grafica de los elementos”, los cuales se pueden observar en la Tabla 33

<b>Datos de Entrada</b>	<p>Se selecciona el elemento seccionador de la barra de herramientas y se da clic sobre la cuadrícula (sobre el campo: PosX = 4, PosY = 1) y se muestra el siguiente formulario.</p>  <p>Para la opción <i>Nombre</i>, se selecciona “2-Conexión a Barra 2”.</p>
-------------------------	---



**Tabla 33 Prueba para Correcta ubicación de los elementos y Correcta representación grafica de los elementos**

#### 6.2.4 Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa

En este subsistema se construye la Parte Lógica Operativa de la subestación.

##### 6.2.4.1 Implementación

Este subsistema se implementó en el archivo *Esquema.java*. Se ha elegido presentar el siguiente segmento de código, el cual permite la creación de los esquemas de enclavamiento para los elementos de la subestación (sólo equipos de patio: Interruptores y Seccionadores).

```
SQL01 = "SELECT max(idconjunto) FROM stblconjuntos";
.....
```

```

while(rs01.next())
{
    idtemp01 = rs01.getInt(1);
}

for (int i = 1 ; i <= List1.getItemCount() ; i++)
{
    SQL01 = "SELECT idcond FROM stblcondicion WHERE nomcond="+ ..... + " ";
    .....
    while(rs01.next())
    {
        idtemp02 = rs01.getInt(1);
    }
    idtemp01++;
    SQL01 = "INSERT INTO stblconjuntos VALUES (" + idtemp01 + ", 'And')";
    .....
    idBD[i][0] = idtemp01;
    SQL01 = "SELECT idestado FROM stblestados WHERE nomestado=" + "Abierto" + """;
    .....
    while(rs01.next())
    {
        idtemp03 = rs01.getInt(1);
    }
    SQL01 = "INSERT INTO srtblcondconjest VALUES (" + idtemp02 + "," + idBD[i][0] + "," + idtemp03
+ ")";
    .....
    SQL01 = "SELECT idestado FROM stblestados WHERE nomestado=" + "Cerrado" + """;
    .....
    rs01 = stmt01.getResultSet();
    while(rs01.next())
    {
        idtemp03 = rs01.getInt(1);
    }
    SQL01 = "INSERT INTO srtblcondconjest VALUES (" + idtemp02 + "," + idBD[i][0] + "," + idtemp03
+ ")";
    .....
}
for (int i = 1 ; i <= List1.getItemCount() ; i++)
{
    for (int j = 1 ; j <= ContPaneles[i] ; j++)

```

```

{
  if ( SPaneles[i][j].getName().equals("And"))
  {
    idtemp01++;
    SQL01 = "INSERT INTO stblconjuntos VALUES (" + idtemp01 + ", 'And')";
    .....
    idBD[i][j] = idtemp01;

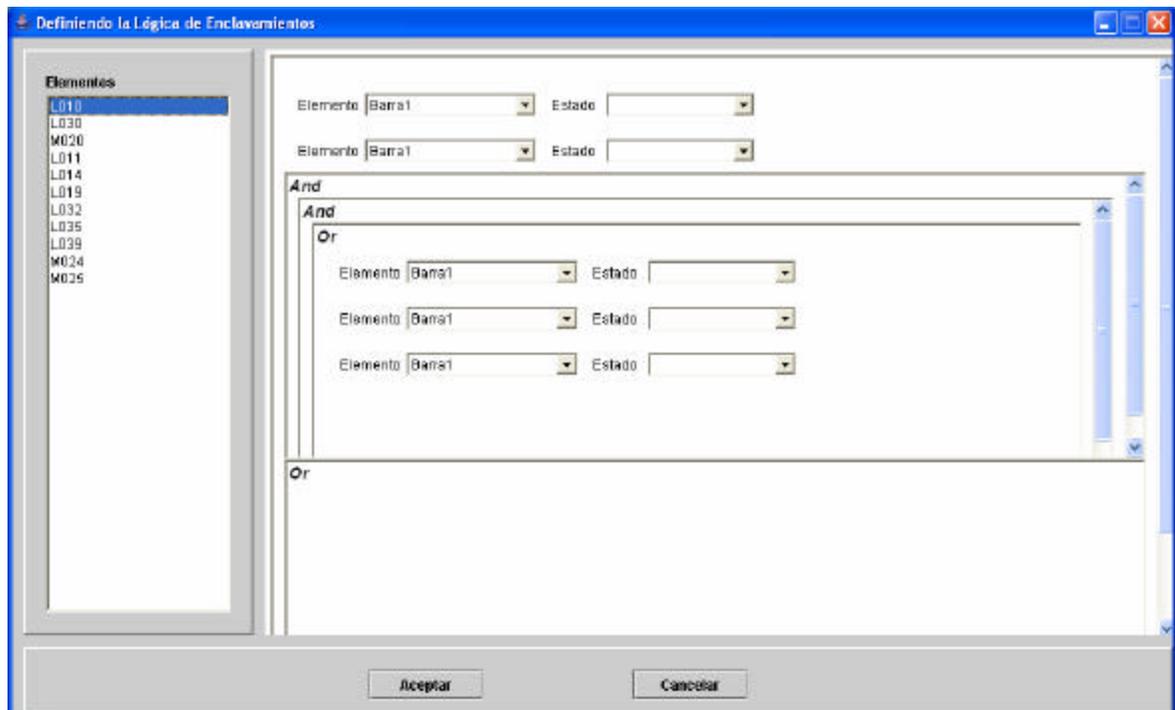
    SQL01 = "INSERT INTO srtblconjconj VALUES (" + idBD[i][Contenedor[i][j]] + ", " + idBD[i][j] + ")";
    .....
  }

  if ( SPaneles[i][j].getName().equals("Or"))
  {
    .....
  }

  if ( SPaneles[i][j].getName().equals("Condicion"))
  {
    .....
  }
}
}
}

```

**Tabla 34 Segmento de código Subsistema de Creación de la Subestación –  
Parte Lógica Operativa**



**Figura 107** Interfase que permite introducir los esquemas de enclavamientos para una nueva subestación

#### 6.2.4.2 Pruebas

##### ➤ Casos de Pruebas

Los casos de prueba que se efectúan por ser comunes a todos los subsistemas de aplicación se nominan a continuación:

- Correcto almacenamiento de información en la base de datos
- Conexión y selección correcta de la base de datos

#### 6.2.5 Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación

En este subsistema se establece el estado de cada uno de los elementos de la subestación

## Implementación

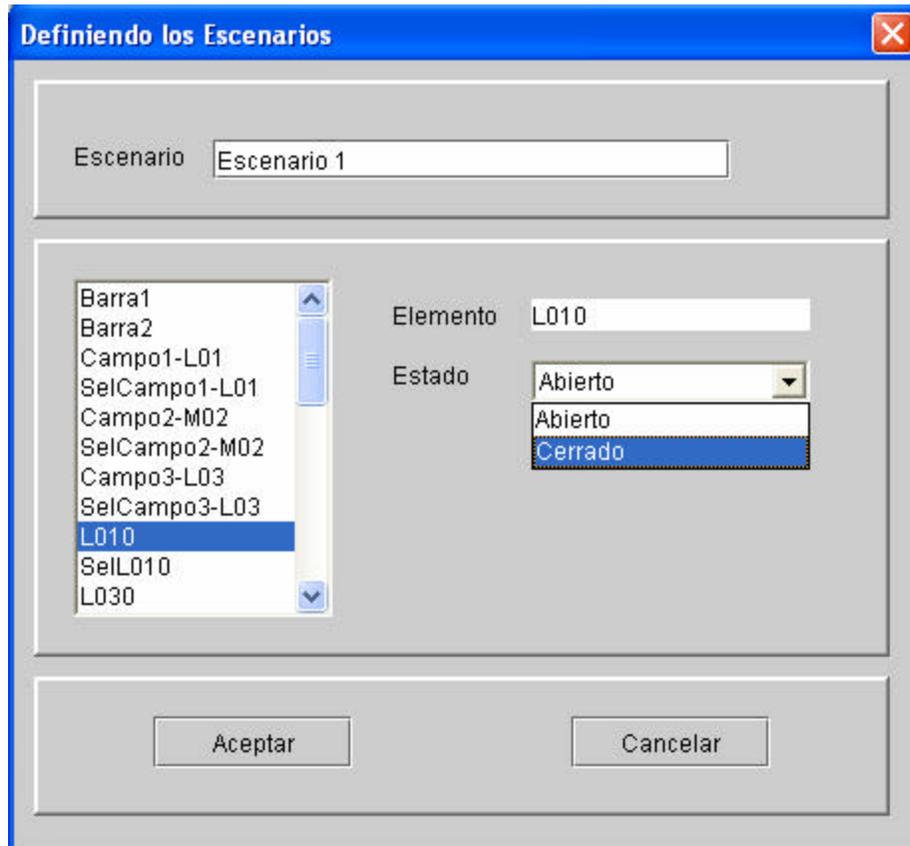
Este subsistema se implementó en el archivo *Escenarios.java*. Se ha elegido presentar el siguiente segmento de código, el cual permite la creación de los escenarios de la subestación, es decir, establecer los estados iniciales para los elementos de la subestación.

```

SQL01 = "SELECT max(idesc) FROM stblescenarios";
.....
while(rs01.next())
{
    idtemp01 = rs01.getInt(1);
}
idtemp01++;
SQL01 = "INSERT INTO stblescenarios VALUES (" + idtemp01 + "," + T1.getText() + "',' ' )";
.....
SQL01 = "INSERT INTO srtblsubestesc VALUES (" + IDsub + "," + idtemp01 + ")";
.....
for ( int i = 0 ; i < List1.getItemCount() ; i++ )
{
    SQL01 = "SELECT idcond FROM stblcondicion WHERE nomcond=" + ..... + ")";
    .....
    while(rs01.next())
    {
        idtemp03 = rs01.getInt(1);
        SQL02 = "SELECT idgraficosub FROM srtblcondgrafsub WHERE idsubest=" + ..... + """;
        .....
        while(rs02.next())
        {
            idtemp04 = rs02.getInt(1);
        }
        idtemp02++;
        SQL02 = "INSERT INTO srtblgrafsubestest VALUES (" + ..... + ")";
        .....
    }
}

```

**Tabla 35 Segmento de código Subsistema de Condiciones de simulación – Subestación**



**Figura 108** Interfase que permite introducir la información los escenarios para una nueva subestación

### 6.2.5.1 Pruebas

#### ➤ Casos de Pruebas

Los casos de prueba que se efectúan por ser comunes a todos los subsistemas de aplicación se nominan a continuación:

- Correcto almacenamiento de información en la base de datos
- Conexión y selección correcta de la base de datos

## 6.2.6 Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física

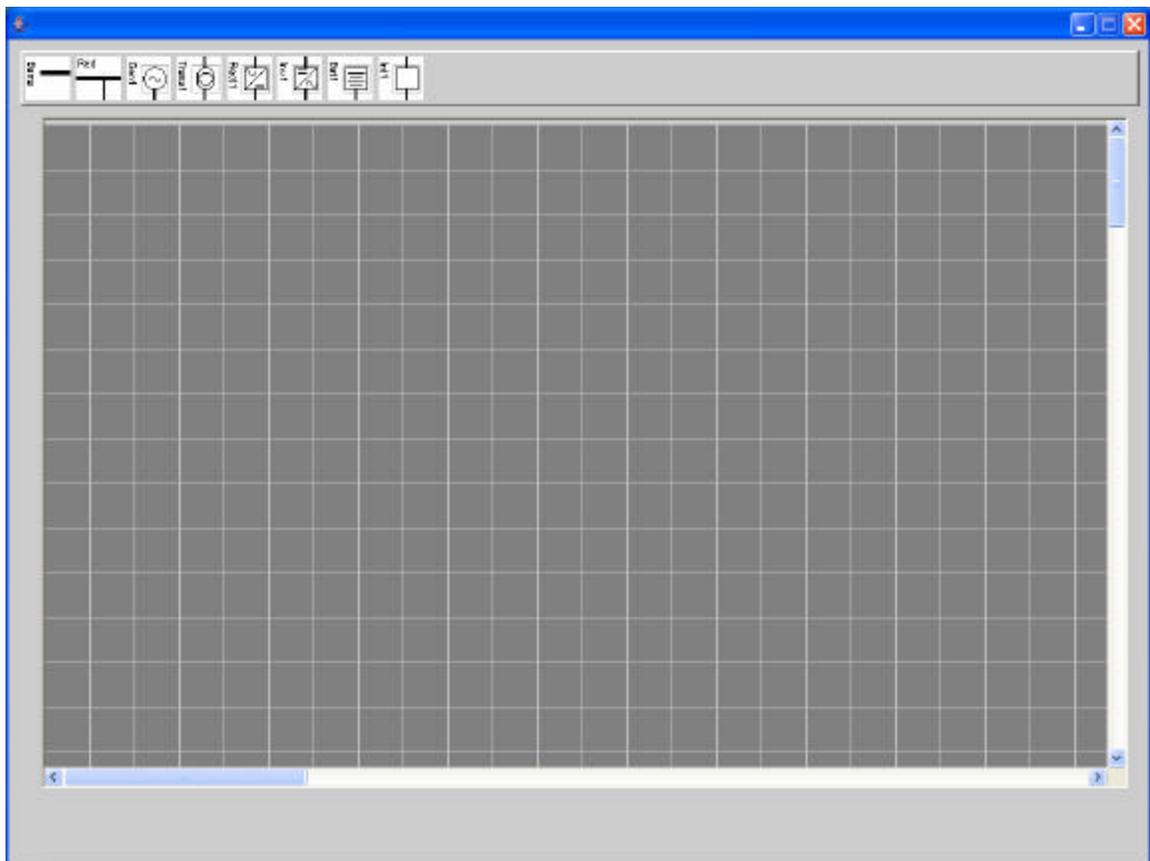
En este subsistema se construye el diagrama unifilar de los servicios auxiliares.

### 6.2.6.1 Implementación

Este subsistema se implementó con los archivos que se listan en la Tabla 36

Archivo	Descripción
ServAuxiliares.java	Se muestra los elementos en una barra de herramientas y permite ubicar en la cuadrícula los elementos que hacen parte de servicios auxiliares
SACuadro.java	Dibuja la cuadrícula en donde se ubican los elementos
SABarra.java	Elemento Barra
SAConector.java	Elemento Conector
SAGenerador.java	Elemento Generador
SAlnterruptor.java	Elemento Interruptor
SAlnversor.java	Elemento Inversor
SARectificador.java	Elemento Rectificador
SARed.java	Elemento Red Publica
SATransformador.java	Elemento Transformador
SASelectProp.java	Permite establecer ciertas propiedades indispensables para graficar los elementos
SAlnfo.java	Almacena información sobre todas las propiedades de los elementos

**Tabla 36 Listado de Archivos usados en la implementación del subsistema  
Creación de Servicios Auxiliares – Parte Física**



**Figura 109** Interfase que permite la creación de una nueva subestación (elementos de patio y control)

#### **6.2.6.2 Pruebas**

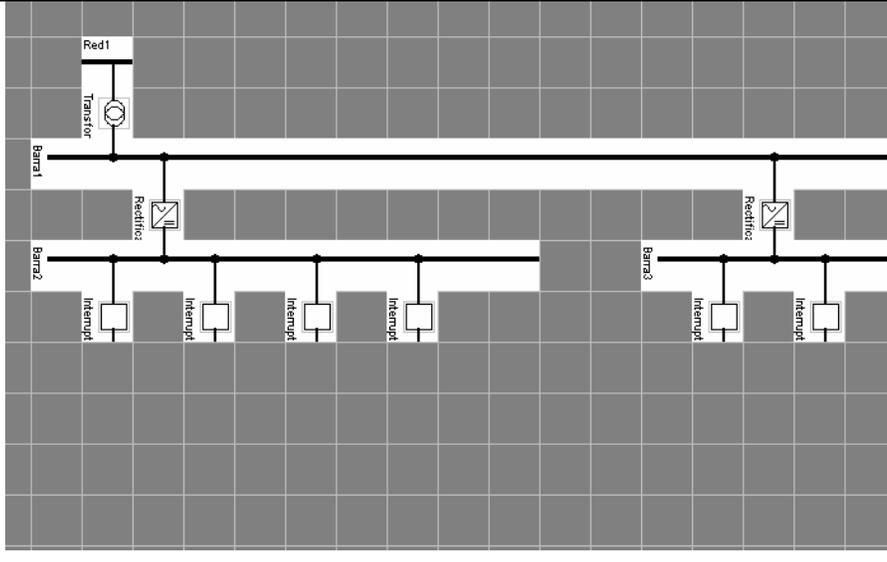
##### **➤ Casos de Pruebas**

Los casos de prueba que se efectúan por ser comunes a todos los subsistemas de aplicación se nominan a continuación:

- Correcto almacenamiento de información en la base de datos
- Conexión y selección correcta de la base de datos
- Correcta ubicación de los elementos
- Correcta representación grafica de los elementos

### ➤ Procedimiento de Pruebas

En este subsistema se muestra el caso de prueba “Correcta ubicación de los elementos” y “Correcta representación grafica de los elementos”, los cual se puede observar en la Tabla 37

<b>Datos de Entrada</b>	Se seleccionan los elementos de la barra de herramientas y se da clic sobre la cuadrícula.
<b>Vista en el Formulario</b>	

**Tabla 37 Prueba para Correcta ubicación de los elementos y Correcta representación grafica de los elementos**

### 6.2.7 Subsistema de Operación de la Subestación

En este subsistema se realiza la simulación de la subestación.

#### 6.2.7.1 Implementación

Este subsistema se implementó con los archivos que se listan en la Tabla 38

Archivo	Descripción
SelSubest.java	Selecciona la subestación
SelEsc.java	Selecciona el escenario para la subestación
Unifilar.java	Dibuja la subestación y muestra los diferentes niveles de operación
SelOperacion.java	Muestra que operaciones se pueden realizar sobre un elemento
Barra.java	Elemento Barra
Campo.java	Elemento Campo
Conector.java	Elemento Conector
Interruptor.java	Elemento Interruptor
Linea.java	Elemento línea
Seccionador.java	Elemento Seccionador
Tierra.java	Elemento Tierra
Selector.java	Elemento Selector
CircuitoInt.java	Circuito de Control del elemento Interruptor
CircuitoSecc.java	Circuito de Control del elemento Seccionador
SACuadro.java	Dibuja la cuadrícula Servicios Auxiliares
SABarra.java	Elemento Barra Servicios Auxiliares
SABateria.java	Elemento Batería Servicios Auxiliares
SAGenerador.java	Elemento Generador Servicios Auxiliares
SAConector.java	Elemento Conector Servicios Auxiliares
SAInterruptor.java	Elemento Interruptor Servicios Auxiliares
SAInversor.java	Elemento Inversor Servicios Auxiliares
SARectificador.java	Elemento Rectificador Servicios Auxiliares
SARed.java	Elemento Red Pública Servicios Auxiliares
SATransformador.java	Elemento Transformador Servicios Auxiliares
Info.java	Almacena información sobre todas las propiedades de los elementos
SAInfo.java	Almacena información sobre todas las propiedades de los elementos Servicios Auxiliares

**Tabla 38 Listado de Archivos usados en la implementación del subsistema Operación de la Subestación**

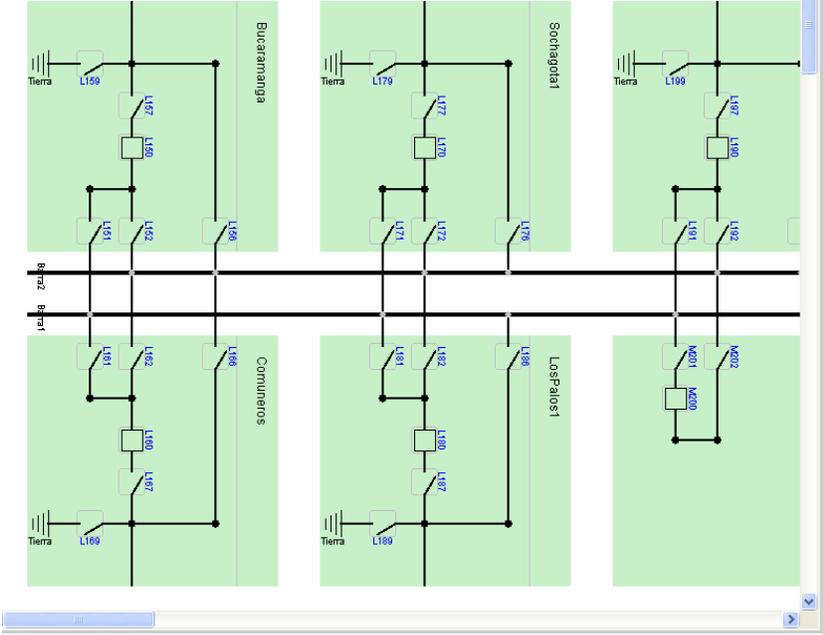
## Pruebas

### ➤ Casos de Pruebas

- Correcta lectura de información de la base de datos
- Conexión y selección correcta de la base de datos
- Correcta ubicación de los elementos
- Correcta representación grafica de los elementos

### ➤ Procedimiento de Pruebas

En este subsistema se muestran los casos de prueba “Correcta lectura de información de la base de datos”, “Correcta ubicación de los elementos” y “Correcta representación grafica de los elementos”, los cuales se pueden observar en la Tabla 39

<b>Datos de Entrada</b>	Información leída de la base de datos sobre como armar la subestación seleccionada
<b>Vista en el Formulario</b>	

**Tabla 39 Prueba para Correcta ubicación de los elementos y Correcta representación grafica de los elementos**

### 6.3 ELABORACIÓN DE MANUALES DEL SISTEMA

El manual de usuario, que se entrega con el “software” consta de dos partes, la primera está dirigida al administrador del sistema, y contiene las recomendaciones básicas para la instalación del sistema y las pautas que permiten el mantenimiento de la información a través del sistema; la segunda parte está dirigida a los usuarios del sistema, y por tanto orientada a los casos de uso que realizan los diferentes usuarios.

### 6.4 RESULTADO DE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN

En esta fase se realizó la mayoría de implementación y pruebas al sistema, consiguiendo una versión ejecutable de la herramienta. Por cuestiones de espacio en el documento sólo se presentaron algunas funcionalidades específicas de cada subsistema para verificar que la capacidad operativa del sistema cumplió con los objetivos planteados en el presente trabajo de grado.

Para continuar con el esquema llevado durante las fases de inicio y elaboración, se incluye el resumen de los casos de uso y la fase en las que se identificaron, describieron, analizaron, diseñaron e implementaron.

<b>Casos de Uso Identificados</b>	<b>Identificado</b>	<b>Descrito</b>	<b>Analizado</b>	<b>Diseñados e Implementados</b>
Administrar Usuarios	Fase Inicio	Fase Inicio	Fase Elaboración	Fase Construcción
Crear Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Modificar Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Eliminar Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción

<b>Casos de Uso Identificados</b>	<b>Identificado</b>	<b>Descrito</b>	<b>Analizado</b>	<b>Diseñados e Implementados</b>
Administrar Condiciones de Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Establecer Escenarios Equipos de Patio y control	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Establecer Escenarios Servicios Auxiliares	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Ver Resultado	Fase Inicio			Fase Construcción
Seleccionar Condiciones de Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración		Fase Construcción
Seleccionar Forma de Entrenamiento	Fase Inicio	Fase Elaboración		Fase Construcción
Realizar Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Recrear Sesiones Anteriores	Fase Inicio	Fase Elaboración		Fase Construcción
Consultar Resultados	Fase Inicio			Fase Construcción
Consultar Ayuda	Fase Inicio			Fase Construcción
Ver Consignas	Fase Inicio			Fase Construcción
Verificar Condiciones	Fase Inicio			Fase Construcción
Establecer Condiciones de Simulación	Fase Inicio	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Construir Subestación – Parte Física	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Construir Subestación – Parte Lógica Operativa	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Maniobrar Elementos	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción

<b>Casos de Uso Identificados</b>	<b>Identificado</b>	<b>Descrito</b>	<b>Analizado</b>	<b>Diseñados e Implementados</b>
Cambiar Nivel de Operación	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción
Seguir Consigna	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción
Ingresar Consigna Operativa	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción
Ingresar Consigna Bajo Falla	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción
Iniciar Sesión	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Elaboración	Fase Construcción
Validar Usuario	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción
Forma de Entrenamiento Conductista	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción
Forma de Entrenamiento Constructivista	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción
Forma de Entrenamiento Evaluación	Fase Elaboración	Fase Elaboración		Fase Construcción

**Tabla 40 Resumen de Casos de Uso**

Para finalizar se presenta la tabla que contiene un paralelo entre los subsistemas hallados en la fase de elaboración y sus equivalentes en la fase de construcción.

<b>Fase de Elaboración</b>	<b>Fase de Construcción</b>
Subsistema de Inicio de Sesión	
Subsistema de Información de la Subestación	CrearSub.java
Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Física	Constructor.java Cuadro.java Barra.java Campo.java Conector.java Interruptor.java

Fase de Elaboración	Fase de Construcción
	Linea.java Seccionador.java Tierra.java PropCampo.java PropSecc.java Info.java
Subsistema de Creación de la Subestación – Parte Lógica Operativa	Esquema.java
Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Subestación	Escenarios.java
Subsistema de Creación de los Servicios Auxiliares – Parte Física	ServAuxiliares.java SACuadro.java SABarra.java SABateria.java SAConector.java SAGenerador.java SAInterruptor.java SAInversor.java SAREctificador.java SARed.java SATransformador.java SASelectProp.java SAInfo.java
Subsistema de Administración de Condiciones de simulación – Servicios Auxiliares	SAEscenarios.java
Subsistema de Operación de la Subestación	SelSubest.java SelEsc.java Unifilar.java SelOperacion.java Cuadro.java Barra.java Campo.java Conector.java Interruptor.java

Fase de Elaboración	Fase de Construcción
	Linea.java Seccionador.java Tierra.java Selector.java CircuitoInt.java CircuitoSecc.java SACuadro.java SABarra.java SABateria.java SAConector.java SAGenerador.java SAInterruptor.java SAInversor.java SAREctificador.java SAREd.java SATransformador.java SAInfo.java Info.java
Subsistema de Seguimiento de Consignas	Unifilar.java

**Tabla 41 Equivalencia entre los subsistemas en las fases de elaboración y de construcción**

**PARTE III. CONCLUYENDO EL TRABAJO DE GRADO**

## 7 CONCLUSIONES

El desarrollo del Sistema de simulación para el entrenamiento de operadores de Subestaciones eléctricas SEOS 1.0 permite presentar las siguientes conclusiones:

- El desarrollo del presente trabajo de grado se realizó progresivamente, incluyendo requisitos, modelos y facilidades como lo estructura la metodología de desarrollo de software denominada Proceso Unificado de Desarrollo de Software. Al final se logró como resultado el Sistema de Simulación para el entrenamiento de operadores de subestaciones SEOS.
- El Lenguaje Unificado de Modelado –UML-, por otra parte, es una poderosa herramienta que permite visualizar, especificar, construir y documentar de manera sencilla los artefactos de un sistema que contiene un alto grado de complejidad. Su uso permitió tener una mayor claridad en el desarrollo de una estructura estable para la construcción del sistema de simulación, a pesar de la complejidad que tiene una subestación eléctrica real.
- La continuidad del suministro de energía implica cuatro factores que pueden alterarla: programas de mantenimiento, forma de operar los equipos (local/remoto), procedimientos de respuesta ante fallas y capacidad del personal. Este proyecto se enfocó al mejoramiento de la capacitación del personal, lo que conlleva a un mejoramiento en los índices de calidad del sector eléctrico.
- La simulación como herramienta de apoyo en los procesos de formación y entrenamiento, ofrece una alternativa eficiente para optimizar los programas de capacitación, debido a que permite el aprendizaje a través de la experiencia con un sistema simulado que representa el sistema real y proporciona los

mecanismos para realizar ejercicios y maniobras, en forma similar a como se hacen en la realidad. De esta forma, permite exponer al operador a escenarios de entrenamiento con una gran variedad de condiciones y situaciones, poco frecuentes en su labor normal.

- Las subestaciones son sistemas con un alto grado de complejidad; por ello el modelado de los elementos que la conforman y de sus características, se convierte en un trabajo dispendioso puesto que los elementos hacen parte de diversos grupos funcionales que varían por tanto, de acuerdo con su función y su comportamiento. Por ello, simular todos los sistemas funcionales de una subestación requiere un tiempo considerable de desarrollo e implementación.
- El sistema de simulación para el entrenamiento permite que los operadores adquieran habilidades y destrezas en el manejo de los equipos reales de una subestación, sin tener que usarlos directamente. Esto permite evitar inconvenientes como los elevados costos al dedicar equipos físicos sólo al aprendizaje, y realizar ejercicios que pueden conllevar un alto riesgo o ser irrealizables en un escenario real (fallas o maniobras que pueden ocasionar daños en el sistema o en el operador), convirtiéndose en una herramienta inapreciable en el marco de la prevención de riesgos y la seguridad laboral.

## 8 RECOMENDACIONES

La culminación del presente trabajo de grado no significa que la labor de investigación haya terminado, por el contrario marca el inicio de una etapa en la cual se debe avanzar ya que existe mucho por explorar, aprender y mejorar. Este trabajo ha permitido adquirir experiencia en el montaje de simuladores y permite recomendar lo siguiente:

- 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 a la toma de decisiones en el mismo momento de operación de las subestaciones, y otro es ayudar en su supervisión.
- La posibilidad de seguir desarrollando este tipo de herramientas, no sólo para el entrenamiento de asistentes de subestación, sino también a otros roles como el mantenimiento, se debe recalcar, como medio barato y seguro de entrenamiento.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

ABB, Asea Brown Boveri Ltda. "Network Partner AB. Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Control Coordinado". Documentos de Referencia. Fólder A194-III, 2000.

ABB, Asea Brown Boveri Ltda. "Network Partner AB. Sistema de Control Coordinado (Sochagota-Guatiguará). Especificaciones Funcionales". XR 321-160-MAA, 2000.

ALARCÓN, Raúl. "UML. Diseño orientado a objetos con UML". Grupo EIDOS Consultaría y Documentación Informática. Madrid, 2000.

ÁLVAREZ E., QUINTERO J. "Desarrollo del plan de contingencia para fallas destructivas de transformadores e interruptores de potencia de propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. ISA CTE Oriente". Proyecto de pregrado de Ingeniería Eléctrica, dirigido por: G. Carrillo, J.J. Mora. UIS. Bucaramanga. 2001. Tesis de grado. Director Gilberto Carrillo Caicedo. Codirectores Jorge Antonio Jaimes, Juan José Flórez.

ALVAREZ CASANOVA, Cesar Eduardo. "Desarrollo del plan de contingencia para equipo de la subestación San Mateo, propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - CTE Oriente y Centrales Elctricas del Norte de Santander CENS". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Juan José Mora Florez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

ANTELIZ BAYONA, Ramón. "Desarrollo del plan de contingencia para equipo de la subestación Ocaña propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - CTE Oriente". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo,

codirigida por Juan José Mora Florez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

ARIZA CASTILLO, Jorge Olmedo. SANTAMARIA CEPEDA, Lindon Antonio. “Desarrollo del plan de contingencia para equipos de la subestación Guatiguará propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - CTE Oriente”. Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Juan José Mora Florez, Jorge Antonio Jaimes Báez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

ARSHAM, Hossein. “Systems Simulation: The Shortest Path from Learning to Applications”. 7th Edition. 2001.  
<http://ubmail.ubalt.edu/~harsham/simulation/sim.htm>

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L. “Discrete – Event System Simulation”. Second Edition. Prentice – Hall. New Jersey, 1996.

BARCELÓ, Jaime. “Simulación de sistemas discretos”. Primera Edición. Isdefe. Madrid, 1996.

BELTRÁN ROA, Elizabeth; SANTOS SANCHEZ, Gustavo Adolfo; SEQUEDA ROJAS, Adriana Isabel. “Plan de contingencia para fallas destructivas en salas de control de subestaciones de interconexión Electrica S.A. E.S.P ISA CTE Oriente”. Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Jorge Antonio Jaimes. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2002.

BLACKBURN, J. Lewis. “Protective Relaying”. Editorial Marcel Dekker, Impreso en Estados Unidos de America, New York. 2001.

BLOCH, Joshua. “Effective Java Programming Language Guide”. First Edition. Addison Wesley. 2001.

CARRILLO CAICEDO, Gilberto. "Development of Under-fault Procedures and Contingency Plans to Restore Transmission Substations in the Colombian Power System". IASTED International Conference PowerCon 2003 Special Theme: BLACKOUT. New York, 2003.

CLEVELAND, Jeff I.; HERNDON, Sonia S.; HOUCK, Jacob A.; KIBLER, Kember S.; MEETZE, Lemuel E.; SIMMONS, Harold I. "Real-Time Simulation User's Guide". NASA Langley Research Center: Central Scientific Computing Complex, Document R-1d. 1997.

CODENSA S.A. E.S.P. "Capacitación para la operación de subestaciones de alta tensión, sobretensiones". Plan de contingencia. Bogotá, 1999.

COLOMER Juan, MELÉNDEZ Joaquín, AYZA Jodi. "Sistema de supervisión: introducción a la militarización y supervisión experta de posesos. Métodos y herramientas". Editorial CEA-IFAC primera edición. Barcelona, 2000.

COSS BU, Raúl. "Simulación: Un Enfoque Practico". Primera edición. Limusa. México, 1998.

CHECKLAND, Peter; HOLWELL, Sue. "Information, Systems and Information Systems: Parking Sense of the Field". John Wiley & Sons Ltd. England, 1998.

CHECKLAND, Peter. "Pensamiento de Sistemas, Práctica de sistemas". Megabyte: Noriega Editores. México, 1993.

CHECKLAND, Peter; SCHOLLES, Jim. "Soft System Methodology: A 30 year retrospective". John Wiley & Sons Ltd. England, 1998.

DE URRAZA TAVERNA, Juan Eduardo. "Utilización de agentes inteligentes dentro de un ámbito de simulación microscópica del tráfico autónomo". Tesis de grado de Ingeniería Informática dirigida por Sergio Aranda. Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción". Asunción, Paraguay, 2001.

DIAZ GONZALEZ, Liliana Clemencia; GUALDRON VASQUEZ, Betty Alexandra. "Software para Apoyar el Entrenamiento de los Operadores de las Subestaciones de Transmisión de Energía Eléctrica". Tesis de grado de Ingeniería de Sistemas dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Martha Vitalia Corredor Montagut. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2004.

DUARTE SALCEDO, Ayleen Smith; SANDOVAL SOTO, Marcela del Pilar. "Consignas bajo falla para los equipos de medición y equipos de telecomunicaciones PLP de las subestaciones de ISA - CTE Oriente" Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Jorge Olmedo Ariza Castillo, Jorge Antonio Jaimes Báez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2002.

ECKSTEIN, Robert; LOY, Marc; WOOD, Dave. "Java Swing". O`Reilly. United States of America, 1998.

ESPARZA, Javier; LAKOS, Charles. "Application and Theory of Petri Nets 2002: 23rd International Conference, ICATPN 2002, Adelaide, Australia, June 2002, Proceedings". Lecture notes in computer science; Vol. 2360. Springer. Berlin, 2002.

ESTUPIÑÁN ALVAREZ, Claudia Maritza; RIVERA BARRERA, Juan Pablo; RUGELES URIBE, José de Jesús. "Operación de subestaciones eléctricas: Sistema multimedia para entrenamiento y evaluación de operadores de subestaciones eléctricas". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Fernando Villabona Pérez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2000.

FERREIRA ESPARZA, Nancy Cristina. "Desarrollo del plan de contingencia para equipo de las subestaciones Toledo y Samore propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - CTE Oriente". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Juan José Mora Florez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

FISHER, Maydene; ELLIS, Jon; BRUCE, Jonathan. "JDBC API Tutorial and Reference". Addison Wesley. New York, 2003.

FISHMAN, George. "Conceptos y métodos en la simulación digital de eventos discretos". Limusa. México, 1978.

FISHWICK, P. A. "Computer Simulation: Growth Through Extension", European Simulation Multiconference. Barcelona, Spain, 1994.

GEARY, David. "Graphic JAVA 2. Mastering the JFC. Volume II, SWING". The Sun Microsystems Press, Java series. Prentice – Hall. USA, 1999.

GONZÁLEZ HERRENO, Jorge Orlando; REMOLINA ALVAREZ, Cristian Augusto. "Módulo digital para entrenamiento de operadores de subestaciones M.S.D". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Orlando Navas Ortiz. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1998.

GUTIERREZ BAUTISTA, Lany; NIÑO RUEDA, Jairo. "Desarrollo del plan de contingencia para fallas de equipos de las subestaciones Banadía, Caño Limón y Palos propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - CTE Oriente". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

GUTIERREZ, Xavier Franch. "Estructura de datos. Especificación, diseño e implementación". Cuarta Edición. Alfaomega. México, 2002.

HORSTMANN, Cay S.; CORNELL, Gary. "Core Java 2 Volume I – Fundamentals". Fifth Edition. Prentice Hall PTR. California, 2000.

HORSTMANN, Cay S.; CORNELL, Gary. "Core Java 2 Volume II – Advanced Features". Fifth Edition. Prentice Hall PTR. California, 2001.

Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - ISA. “Análisis de avería Parte – Causa – Defecto. Interruptores y Seccionadores”. Plan de contingencia. 2000.

Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - ISA. “Diseño de patios Subestación Tasajero”. Fólder B300.S.253.B.7701.001. Documento de trabajo en ISA – CTE Oriente. Bucaramanga.

Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - ISA. “Guía para atención de emergencias en líneas de transmisión”. Plan de contingencia.

Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - ISA. “Proyecto UPME 01 Subestación Guatiguará”. Fólder A200.S.241.B.2300.007. Documento de trabajo en ISA – CTE Oriente. Bucaramanga.

JACOBSON, Ivar; BOOCH, Grady; RUMBAUGH, James. “El Proceso Unificado de Desarrollo Software”. Primera Edición. Addison Wesley. Madrid, 2000.

JACKSON, Leroy; PEARMAN, Gerald; MCGINNIS, Michael. “Re-Hosting a Constructive Legacy Simulation With Modern Technologies”. In Proceedings of Fourth International Simulation Technology and Training Conference, (SimTecT '99). Melbourne, Australia, 1999.

JAIMES TORRADO, Juan Pablo; LEIVA ARDILA, Yogmar Alexander. “Desarrollo del plan de contingencia para equipo de la subestación Primavera propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - CTE Oriente”. Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Juan José Mora Florez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

KELTY, Luke; BECKETT, Paul; ZALCMAN, Lucien. “Desktop Simulation”. In Proceedings of Fourth International Simulation Technology and Training Conference. (SimTecT '99). Melbourne, Australia, 1999.

KNUDSEN, Jonathan. "Java 2D Graphics". First Edition. O`Reilly. United States of America, 1999.

LARA LIZARAZO, Leonardo. "Desarrollo del plan de contingencia para equipo de la subestación Comuneros propiedad de Interconexión Electrica S.A. E.S.P. ISA - CTE Oriente ".Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Juan José Mora Florez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David. "Simulation Modeling & Analysis". Second Edition. McGraw – Hill. New York, 1991.

LY, Thanh. "Synchronising Intelligent Agents Within a Simulation". In Proceedings of Fourth International Simulation Technology and Training Conference, (SimTecT '99). Melbourne, Australia, 1999.

MANUAL DE OPERACIÓN. "Interconexión Eléctrica S.A –ISA-, Gerencia de producción. Manual de operación. Guía de elaboración. Documento GP-015-99". Medellín, 1999.

MARTIN, R. "Diseño de Subestaciones Eléctricas". 1990.

McCONNELL, Steve. "Desarrollo y Gestión de Proyectos Informáticos". Primera Edición. McGraw – Hill. España, 1997.

MORA FLOREZ, Juan José. "Desarrollo del plan de contingencia para fallas de equipos críticos principales y sistemas de control y protección de subestaciones de interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. correspondientes al CTE Oriente". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

MORA FLOREZ, Juan José; CARRILLO, Gilberto. “Desarrollo del plan de contingencia para equipos críticos principales y equipos de subestaciones. Informe de Avance Correspondiente al 50%”. 2000.

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 -SNCFT-”. GISEL, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2002

O`DONAHUE, John. “Java Database Programming Bible”. John Wiley & Sons. 2002.

OLAVE CACERES, Yesid Alexander. “Propuesta de un modelo de evaluación de la administración de la información en las Organizaciones Empresariales”. Tesis de grado de Ingeniería de Sistemas dirigida por Luis Carlos Gómez Flórez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2002.

OLIVEROS MUÑOZ, Oscar Fernando; PAYARES VASQUEZ, Manuel Byron. “Validación de las consignas bajo falla para las subestaciones del Proyecto Línea Arauca (Toledo, Samore Banadía y Caño Limón) propiedad de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. - CTE Oriente”. Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Jorge Olmedo Ariza Castillo, Jorge Antonio Jaimes Báez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2003.

ORDOÑEZ PLATA, Gabriel; JAIMES ROJAS, Jairo; GAONA GALINDO, Pilar Marina; LATORRE BAYONA, Gerardo. “La continuidad del servicio de Energía Eléctrica en Colombia”. Mundo Eléctrico Vol. 18 No 54, Bogotá, 2004.

PATEL, Pratik. “Java Database Programming with JDBC”. The Coriolis Group. 1996.

PRESSMAN, Roger. "Ingeniería del Software, Un enfoque práctico". Quinta Edición. McGraw – Hill. Madrid, 2002.

PURSULA, Matti. "Simulation of Traffic Systems - An Overview". Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol.3, no.1, pp. 1-8, 1999.

QUINTERO DIAZ, Javier Hernando. ALVAREZ OSPINA, Elkin Darío. "Desarrollo del plan de contingencia para fallas de equipos críticos principales de Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. – CTE Oriente". Tesis de grado de Ingeniería Eléctrica dirigida por Gilberto Carillo Caicedo, codirigida por Juan José Mora Florez, Jorge Antonio Jaimes Báez. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

RAMÍREZ, Carlos F. "Subestaciones de alta y extra alta tensión". Editor Mejía Villegas S.A. Primera Edición, 1989.

RAMÍREZ, Carlos F. "Subestaciones de alta y extra alta tensión". Editorial Cadena. Medellín, 1991.

RÍOS INSUA, David. "Simulación: Métodos y aplicaciones". Ra – ma. Madrid, 2000.

ROSS, Sheldon. "Simulación". Segunda Edición. Prentice – Hall. México, 1999.

RUIZ DÍAZ, Fernando. "Simulación Digital: Un enfoque pragmático y clásico". Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1992.

RUMBAUGH, James; JACOBSON, Ivar; BOOCH, Grady. "El Lenguaje Unificado de Modelado. Manual de Referencia". Primera Edición. Addison Wesley. Madrid, 2000.

SCOTT, Angela. "Computer Generation Imaging". MSE540 - Modeling and Simulation. 1997.

SENGE, Peter. "La Quinta Disciplina en la Práctica: Como Construir una Organización Inteligente". Ediciones Granica. Barcelona, 1995.

SHANNON, Robert. "Systems Simulation. The Art and Science". Prentice – Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.

SHANNON, Robert. "Simulación de Sistemas. Diseño, Desarrollo e Implementación". Trillas. México, 1988.

SCHILDT, Herbert. "Java 2 Complete Reference". Third Edition. Osborne/McGraw-Hill. California, USA, 1999.

STEFLIK, Dick; SRIDHARAN, Prashant. "Advanced Java Networking". Second Edition. Prentice Hall PTR. New York, 2000.

THOMAS , Tood. "Java Data Access - JDBC, JNDI, and JAXP". First Edition. M&T Books. New York, 2002.

VILLABONA, Fernando. "Equipos de patio de subestaciones". Documento de trabajo en ISA – CTE Oriente. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2000.

VILLABONA, Fernando. "Nociones básicas de operación de Subestaciones". Documento de trabajo en ISA – CTE Oriente. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2000.

WALLACE, Philip; REGAN, Michal. "Case Study: Converting Human Factors Research Into Design Specifications For Instructional Simulation". In Proceedings of Third International Simulation Technology and Training Conference, (SimTecT '98). Adelaide, Australia, 1998.

WILSON, Brian. "Sistemas: Conceptos, Metodologías y Aplicaciones". Grupo Noriega Editores: Megabyte. México, 1993.

ZAMORA ENCISO, Ricardo. "Los Juegos de Simulación, una herramienta para la formación". ISAGA Proceedings Conference (Internacional Simulation and Gaming Association). Barcelona, 2001.

<http://www.traininggames.com/pdf/es/LaSimulacioncomoHerramientadeFormacion.pdf>

## ANEXO A PROCESO UNIFICADO Y UML

### Proceso Unificado de Desarrollo Software

El proceso unificado, siendo como lo afirman [Jacobson y Otros, 2000], *“un marco de trabajo genérico que puede especializarse para una gran variedad de sistemas software, para diferentes áreas de aplicación, diferentes tipos de organizaciones, diferentes niveles de aptitud y diferentes tamaños de proyecto”*, es un proceso de desarrollo de software que proporciona normas para el desarrollo eficiente de software de calidad dentro de los plazos y presupuestos planeados. Entendiendo proceso de desarrollo de software como el conjunto de actividades necesarias para transformar los requisitos de un usuario en un sistema “software”.

El Proceso unificado está dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura, y es iterativo e incremental.

- **Dirigido por casos de uso:** El desarrollo del software se centra en la importancia del desarrollo para el usuario y no en términos de funciones que debe cumplir el sistema. Los casos de uso dirigen el proceso durante todos los flujos de trabajo de las distintas fases. Un caso de uso es una descripción de un conjunto de secuencias de acciones que un sistema lleva a cabo, un fragmento de su funcionalidad y que proporciona a un resultado interés para un actor determinado, donde un actor puede ser un usuario, un sistema o un rol.
- **Centrado en la arquitectura:** Al describir la arquitectura se obtiene una mayor comprensión del sistema, se organiza el desarrollo y se fomenta la reutilización. Esta arquitectura abarca la organización del sistema “software”, los elementos estructurales que compondrán el sistema y sus interfaces, así como su comportamiento y colaboraciones entre elementos.

- **Es iterativo e incremental:** Un proceso iterativo permite una comprensión creciente de los requerimientos, a la vez que se va haciendo crecer el sistema abordando las tareas más riesgosas primero. El trabajo de desarrollo se divide de manera planeada en partes más pequeñas llamadas iteraciones lo cual genera progresivamente un incremento en el proyecto total. Si una iteración cumple sus objetivos el desarrollo continúa con la siguiente iteración, en caso contrario, se revisa las decisiones previas y se prueba un nuevo enfoque.

El Proceso Unificado divide el proceso de desarrollo en ciclos el cual se divide en cuatro Fases: Inicio, Elaboración, Construcción, y Transición. Cada una de estas fases concluye con un hito bien definido donde deben tomarse decisiones respecto al proyecto como la reestructuración del cronograma de trabajo. Cada una de éstas fases se divide a su vez en iteraciones. Cada iteración sigue la estructura de un pequeño ciclo de vida en cascada, pasando a través de los cinco flujos de trabajo fundamentales: requisitos, análisis, diseño, implementación y prueba. En la iteración también incluye la planificación que precede a los flujos de trabajo y la evaluación que va detrás de ellos. A continuación se presenta la Tabla 1, que resume las principales actividades que se realizan en cada flujo de trabajo durante las diferentes fases, así como una descripción de los aspectos más importantes a tener en cuenta en cada actividad de acuerdo en la fase donde se desarrolle. En la tabla 2, se anexan los productos resultantes de cada fase del ciclo de desarrollo del proyecto.

Flujo de Trabajo	Actividad	Inicio	Elaboración	Construcción	Transición
Requisitos	Enumerar los requisitos candidatos	Las características provenientes de todas las fuentes de información se convierten en requisitos candidatos.	Se capturan la mayoría de los requisitos restantes para poder estimar el tamaño del proyecto.	Se concluye la recopilación de requisitos	
	Comprender el contexto del sistema	Se usa el modelo de negocio para entender los procesos realizados dentro del ámbito del proyecto.			
	Capturar requisitos funcionales	Estos se representaran como casos de uso (CU)			
	Capturar requisitos no funcionales	Especifican propiedades del sistema, como dependencias de la plataforma, restricciones del entorno o de la implementación, etc.			
	Encontrar los actores y casos de uso	Solo los necesarios para describir el ámbito del sistema o la arquitectura candidata, ignorando las alternativas o caminos dentro de cada CU.	Su objetivo es comprender el 80% de los casos, buscando aquello que sea significativo desde el punto de vista de la arquitectura.	Conclusión de la descripción de los CU.	
	Priorizar los casos de uso	Se realiza en la medida que se encuentran los CU. Permite planificar iteraciones futuras.	Se prioriza de acuerdo al nuevo conjunto de CU, según los riesgos percibidos y el orden en que se decida seguir el desarrollo.	A medida que identificamos CU, los añadimos a la clasificación con el objetivo de establecer su prioridad.	
	Detallar los caso de uso	Solo aquellos necesarios para comprender el ámbito del sistema y los que sean de riesgo para la viabilidad del proyecto. Su detalle evitará pasar por alto los requisitos necesarios y críticos del sistema.	No se detallan en su totalidad CU seleccionados, sino que se limita el detalle a los CU y escenarios que necesitamos para esta fase.	Terminar el detalle de los CU faltantes.	
	Prototipar la interfaz de usuario			Este prototipo se convierte en la especificación de la interfaz de usuario del sistema.	
	Estructurar el modelo de casos de uso		En esta fase se buscan similitudes, simplificaciones y oportunidades para mejorar la estructura del modelo de CU.	Se pueden introducir mejoras sobre la estructura del modelo de CU, pero de aquellos que no se han desarrollados.	

<b>Análisis</b>	Análisis de la arquitectura	Utilizando el conjunto inicial de CU detallado, se construye la primera versión del modelo de análisis para estas partes del sistema.	Se extiende este análisis que puede servir de base para la arquitectura. Se realiza una partición del sistema en paquetes de análisis empleando la arquitectura de capas.		
	Análisis de caso de uso	Se busca determinar los recursos compartidos entre los CU de relevancia en esta fase.	Solo se analiza los CU que aporten a la arquitectura del sistema y aquellos que sean dependientes entre si.	En cada iteración de esta fase se ampliara el modelo de análisis con los CU que sean incluidos en esta.	
	Análisis de paquetes		Se busca garantizar que cada paquete de análisis cubran los CU analizados hasta esta fase. Así como que sean independientes entre si, tanto como sea posible.	Se refinan los paquetes que se identificaron en la anterior fase para acomodar los CU faltantes.	
<b>Diseño</b>	Diseño de la arquitectura	Se desarrolla un esbozo inicial de la vista de la arquitectura del modelo de diseño, que realice los CU de interés como colaboraciones entre subsistemas. Se elige el software del sistema.	Se incluye en el modelo de diseño la arquitectura en capas, los subsistemas, interfaces y realizaciones de CU de aquellos arquitectónicamente significativos.	Se determina la conveniencia de realizar subsistemas completos a pesar de que alguna de sus partes pertenezcan a CU de baja prioridad	
	Diseño de un caso de uso		Los CU importantes para esta fase se diseñan como subsistemas y se describen las interacciones entre estos.	Se diseñan los CU que surgen en esta fase como parte de los subsistemas existentes..	
	Diseño de subsistemas		Se diseñan los subsistemas resultantes del diseño de la arquitectura. Si es necesario, se actualiza la vista de la arquitectura del modelo de diseño	Normalmente no se añaden nuevos subsistemas pero si se incluyen mejoras a estos.	
<b>Implementación</b>	Implementación de la arquitectura		Se realiza la implementación de la arquitectura del sistema y se describe en la vista de arquitectura del modelo de implantación.		
	Integrar el sistema		Se integran las construcciones de los CU implementados en esta fase.	Se realizan e integran las capas inferiores de la arquitectura y luego las superiores.	
	Implementar un subsistema		Se inicia la implementación de las partes cruciales para la arquitectura del sistema.	Se implementan todos los subsistemas.	

<b>Prueba</b>	Realizar pruebas de unidad		Se realizan estas pruebas sobre los casos implementados.	Se realizan estas pruebas y se corrige el diseño y la implementación de cada componente de ser necesario.	
	Planificar prueba		Se seleccionan los objetivos que evaluarán la línea base de la arquitectura.	Se establecen objetivos para cada construcción resultante de una iteración y luego para el sistema total	Se planifica la fase de transición: se asigna el personal para la fase, se seleccionan lugares y se establecen los criterios de evaluación.
	Diseñar prueba		Con base en estos objetivos y en los CU implementados se diseña la prueba	Determinar como probar los requisitos del usuario en el programa.	Preparación e instalación de la versión beta o prueba de aceptación, de acuerdo con el personal y el entorno seleccionado.
	Realizar prueba de integración		se verifica las interfaces entre componentes implementados y que trabajen bien conjuntamente.	Se realizan pruebas de integridad añadiendo cada construcción y probando que todos los componentes trabajen correctamente de forma conjunta.	Mediante la creación de un entorno apropiado para clientes y producto, se realizan las pruebas.

**Tabla 42. Actividades de cada uno de los flujos de trabajo a través de las fases del Proceso Unificado.**

	Inicio	Elaboración	Construcción	Transición
<b>PRODUCTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una lista de características.</li> <li>• Un esbozo de los modelos que representan la primera versión del modelo de casos de uso, el modelo de análisis y el modelo de diseño.</li> <li>• Un primer esquema de la descripción de una arquitectura candidata.</li> <li>• Un primer borrador de un plan para el proyecto en su totalidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nueva versión de todos los modelos: casos de uso, análisis, diseño, despliegue e implementación.</li> <li>• Una línea base de la arquitectura.</li> <li>• Una descripción de la arquitectura, incluyendo vistas de los modelos de casos de uso, análisis, diseño, despliegue e implementación.</li> <li>• El plan de proyecto para las fases de construcción.</li> <li>• Versión inicial del manual de usuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema "software" ejecutable.</li> <li>• Todos los modelos del sistema</li> <li>• La descripción de la arquitectura.</li> <li>• Manuales de usuario, técnicos y administrativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe sobre si el sistema hace lo que demandan sus usuarios y el negocio.</li> <li>• Informe de riesgos inesperados.</li> <li>• Informe de problemas no resueltos.</li> <li>• Informe de fallos.</li> <li>• Informe sobre ambigüedades y lagunas en la documentación.</li> <li>• Informe sobre las áreas en las que los usuarios muestran deficiencias y necesitan información y formación.</li> <li>• Determinación de fecha para la finalización del proyecto.</li> </ul>

**Tabla 2. Productos de cada uno de los flujos de trabajo a través de las fases del Proceso Unificado.**

## Lenguaje Unificado de Modelado (UML)

A mediados de los noventa existían muchos métodos de análisis y diseño, lo que suponía que los mismos conceptos tenían distinta notación según el método de que se tratara. Ante esta situación, en 1994 Booch, Rumbaugh y Jacobson decidieron unificar sus métodos dando lugar a UML. Esta unificación fue promovida por el OMG de tal manera que UML se convirtió en la notación estándar para la descripción de métodos software. Según su definición, UML es un lenguaje para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema que involucra una gran cantidad de software, desde una perspectiva orientada a objetos:

- **Es un lenguaje:** Proporciona un vocabulario y unas reglas que se centran en la representación conceptual y física de un sistema, y que indican cómo crear y leer modelos bien formados. Sin embargo, no dice qué modelos crear ni cuándo se deberían crear, ésta es la tarea del proceso de desarrollo de software.
- **Es un lenguaje para visualizar:** Es un lenguaje gráfico que mezcla gráficos y texto, pero es algo más que un simple montón de símbolos. De hecho, detrás de cada símbolo en la notación UML hay una semántica bien definida, de manera que un desarrollador puede escribir un modelo en UML, y otro desarrollador, o incluso otra herramienta, puede interpretar ese modelo sin ambigüedad.
- **Es un lenguaje para especificar:** Cubre la especificación de todas las decisiones de análisis, diseño e implementación que deben realizarse al desarrollar y desplegar un sistema con gran cantidad de software.
- **Es un lenguaje para construir:** No es un lenguaje visual, pero sus modelos pueden conectarse de forma directa con una gran variedad de lenguajes de programación. Es posible establecer correspondencias desde un modelo UML a un lenguaje de programación como Java o C++, o incluso a tablas en una base de datos relacional o al almacenamiento persistente en una base de datos orientada a objetos. Permite ingeniería directa e inversa.

- **Es un lenguaje para documentar:** cubre toda la documentación de la arquitectura de un sistema y todos sus detalles. También proporciona un lenguaje para expresar requisitos y pruebas del software. Finalmente, UML proporciona un lenguaje para modelar las actividades de planificación de proyectos y gestión de versiones.

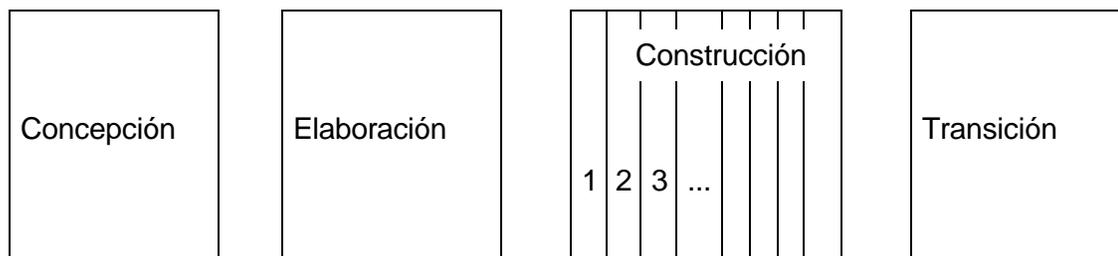
Desde la consolidación de UML como lenguaje estándar para el modelado se ha definido un buen número de procesos para el desarrollo de aplicaciones orientadas a objetos que utilizan este lenguaje como medio de expresión de los diferentes modelos que se crean durante el ciclo de vida. Las características principales deseables en cualquier proceso software basado en UML son:

- Un proceso debe ser iterativo e incremental, y debe centrarse en los aspectos críticos en las primeras iteraciones para minimizar riesgos.
- Debe estar guiado por los requisitos (casos de uso). Los requisitos cambian a lo largo del desarrollo del proyecto y el proceso debe estar preparado para identificar nuevos requisitos a lo largo de todo el ciclo de vida, ya que es muy difícil que puedan capturarse todos los requisitos antes de empezar la implementación.
- Debe utilizar arquitecturas basadas en componentes.
- Debe existir un control de cambios del software. La ausencia de un control de cambios hace que el proceso degenera rápidamente en un caos. Si se hace un control de cambios se solucionan parte de las dificultades principales del desarrollo de software, como la comunicación entre equipos de desarrollo, la consistencia, la interferencia entre miembros de un equipo que trabajan en paralelo, etc.

En todos los procesos basados en UML el concepto de caso de uso juega un papel primordial, ya que se emplea para definir los requisitos funcionales del sistema y en torno a ellos se articulan todas las etapas del proceso.

A continuación se presenta una somera descripción del proceso de desarrollo software basado en la utilización de los diagramas que resultan de la utilización del lenguaje unificado y en la tabla 3 se esquematizan. Cabe resaltar que la conveniencia de utilizar un determinado diagrama está determinada por el aporte que éste da al entendimiento del sistema. No está determinada ni por la metodología, ni por el propio lenguaje UML.

El UML es independiente del proceso que desee utilizar para el desarrollo del software y le puede servir para registrar las decisiones de análisis y diseño que resulten.



El software se libera por partes. La etapa de construcción consta de muchas iteraciones (las demás etapas también pueden contar con iteraciones), en cada una de las cuales se construye un software de calidad para producción, probado e integrado que cumple un subconjunto de los requerimientos del proyecto. La entrega puede ser externa (usuarios) o interna. Cada iteración contiene todas las etapas del ciclo de vida: análisis, diseño, implementación y experimentación. En principio puede comenzar por el inicio: seleccione cierta funcionalidad y constrúyala, escoja otra más, y así sucesivamente.

Las dos primeras etapas:

**Concepción ó inicio.** Se establece la razón de ser del proyecto y se determina su alcance.

**Elaboración.** Se tiene luz verde para iniciar el proyecto, se reúnen requerimientos más detallados, se hacen análisis y diseños de alto nivel, a fin de establecer una arquitectura base y se crea el plan de construcción.

Se presentarán riesgos clasificados como:

### **1. Riesgos de requerimientos. Requerimientos del sistema.**

Para estos riesgos son de gran utilidad los casos de uso, que son los motores de todo el proceso de desarrollo. Un caso de uso es una interacción típica entre el usuario y el sistema con el fin de lograr cierto objetivo. Su tamaño puede variar considerablemente. La clave es que cada uno indica una función que el usuario puede entender y tiene un valor para él. Los casos de uso son la base para la comunicación entre los patrocinadores y los desarrolladores durante la planificación del proyecto. Deben documentarse de manera que su idea central sea entendida por los usuarios y para que los desarrolladores tengan una idea general de lo que abarcan.

Además de los casos de uso, es necesario construir el esqueleto del modelo conceptual del dominio que comienza a contestar preguntas sobre “clientes”, “sitio” y “servicios”, y al mismo tiempo establece los fundamentos para el modelo de objetos con el que se presentarán los objetos del sistema. El término modelo del dominio se usa para describir cualquier modelo cuyo sujeto primario sea el mundo al que da apoyo el sistema de cómputo y cualquiera que sea la etapa del proceso de desarrollo en que se encuentre.

Los modelos del dominio en conjunto con los casos de uso capturan los requerimientos funcionales. El objetivo del modelo del dominio es explorar el vocabulario en términos comprensibles para los expertos del dominio.

Antes de realizar el modelo del diseño es necesario hacer un modelo del análisis con el que se pueden explorar las consecuencias de los requerimientos externos antes de tomar decisiones sobre el diseño.

Para realizar un modelo del diseño debe contar con un modelo de casos de uso y un modelo del dominio. Éste reconoce tanto la información en los objetos del dominio como el comportamiento de los casos de uso. Además agrega clases que proporcionan una arquitectura reutilizable para futuras extensiones.

Dos técnicas valiosas de UML para la construcción de modelos del dominio:

- Los diagramas de clases son excelentes para capturar el lenguaje del negocio. Sirven para establecer los conceptos de que se valen los expertos del negocio al pensar en él y para plantear cómo estos expertos vinculan los conceptos entre sí.
- Los diagramas de actividades complementan los diagramas de clase describiendo el flujo de trabajo del negocio. Lo fundamental de estos diagramas es la búsqueda de procesos paralelos, importante para eliminar secuencias innecesarias en los procesos del negocio.

Los diagramas de interacción pueden apoyar la investigación sobre la interacción entre las diversas actividades de la empresa. Con los diagramas de actividades primero se sabe qué hay que hacer y luego con los de interacción, quién se encarga de qué.

Una vez se tengan los diversos diagramas, deben consolidarse en un solo modelo del dominio consistente, con la ayuda de los expertos. Un modelo que maneje todos los requerimientos. El autor insiste en que este modelo del dominio será un esqueleto que servirá de punto de partida para la construcción de diagramas de clases e irá enriqueciéndose en la medida en la que se avance en el proyecto, consolidándose en la etapa de construcción.

El modelo del dominio deberá ser construido por un grupo pequeño, de dos a cuatro personas, que incluya desarrolladores y expertos. Con el propósito de evitar empantanarnos en la diagramación de casos de uso, es importante establecer una fecha límite para la entrega de los primeros.

En el modelo del dominio deberán resaltarse las áreas importantes que necesitan el desarrollo de prototipos.

## **2. Riesgos tecnológicos.**

- a. Uso de objetos.
- b. Uso de Java y Web. ¿Proporcionan las funciones que los usuarios necesitan a través de un explorador de Web conectado a una base de datos?

Para disminuir los riesgos tecnológicos es importante hacer un análisis exhaustivo de las herramientas tecnológicas que piensan utilizarse. Ente los aspectos que deben tenerse en cuenta como claves, están: el trabajo independiente de componentes del sistema, su comunicación, la contemplación de un sistema distribuido.

En esta etapa es importante hacer uso de los diagramas que ofrece UML. Ellos son: los diagramas de clase y de interacción que son útiles para mostrar la manera en que se comunican los componentes; los diagramas de paquetes y los diagramas de emplazamiento pueden proveer una visión panorámica de la distribución de piezas.

## **3. Riesgos de habilidades. Asesoría y expertos necesarios.**

Si se asume el proyecto orientado a objetos, el entrenamiento en la técnica es inminentemente necesario. La falta de entrenamiento puede ocasionar retrasos en la ejecución del proyecto y por ende aumento de costos. El autor recomienda la asesoría inicial de un experto que lo observe y ayude en lo que usted hace y da consejos. Otro consejo es la lectura y su análisis en conjunto, actividades a las que se les debe dedicar buena parte de tiempo a lo largo del desarrollo.

#### 4. Riesgos políticos. ¿Quiénes se pueden interponer en el camino?

Al final de la etapa de elaboración contaremos con una base arquitectónica que se compone de:

- La lista de casos de uso, que le dice cuáles son los requerimientos,
- El modelo del dominio, que contiene lo que usted ha entendido sobre el negocio y sirve de punto de partida para las clases claves del dominio.
- La plataforma tecnológica, que describe las partes claves de la tecnología de implementación y la manera como se acoplan.

Esta base tendrá que cambiar inevitablemente, sin que tenga que sufrir, sin embargo, muchos cambios importantes.

**La planificación.** La esencia de un plan es establecer una serie de iteraciones para la construcción y asignar los casos de uso a las iteraciones, además de sus fechas de inicio. Para ello, en primera instancia, los casos de uso deberán clasificarse por categorías: funciones vitales, importantes, menos importantes. En segunda instancia, considerar el riesgo arquitectónico asociado a los casos de uso; de nuevo aquí el autor sugiere clasificación, esta vez de riesgos. Por último el autor cita los riesgos de calendarización y es la estimación de tiempo para el desarrollo de cada caso de uso. Estimaciones que deben ser hechas por los desarrolladores y no por los gerentes ni expertos.

El siguiente paso es la determinación de la longitud de iteración. Se recomienda que las iteraciones tengan una longitud fija para todo el proyecto, de modo que se pueda lograr un ritmo regular de entrega. Deben ser lo suficientemente largas como para alcanzar a realizar varios casos de uso. También es importante considerar el esfuerzo por cada iteración, qué cantidad de horas se dedicará a cada una de ellas teniendo en cuenta el rendimiento de cada desarrollador y los tiempos asignados a cada una de ellas. Esto puede juntarse en un plan que el autor sugiere sea llamado Calendario de Compromisos.

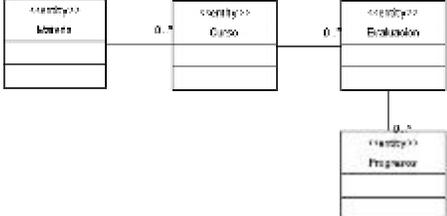
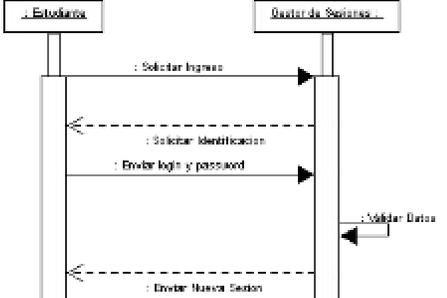
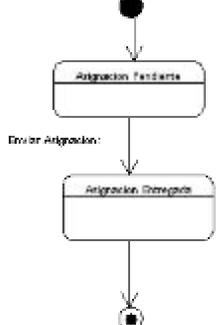
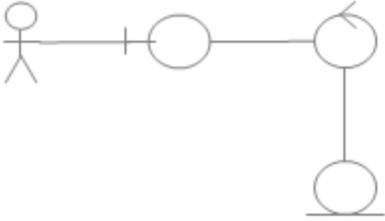
**Construcción.** La construcción confecciona el sistema a lo largo de una serie de iteraciones. Cada iteración es un miniproyecto. Se hace el análisis, diseño, codificación, pruebas e integración de los casos de uso asignados a cada iteración. Cada una de ellas termina con una demostración al usuario y haciendo pruebas del sistema con el fin de confirmar que se han construido correctamente los casos de uso.

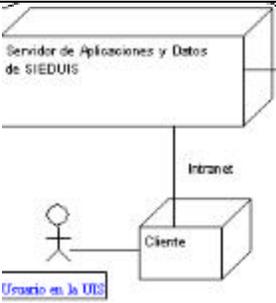
El proceso de pruebas debe ser continuo. No se debe escribir ningún código hasta saber cómo probarlo. Una vez escrito, haga sus pruebas. Hasta que éstas funcionen, no se podrá considerar que se haya terminado de escribir el código.

Las iteraciones dentro de la construcción son tanto incrementales como iterativas.

- Funcionalmente, las iteraciones son incrementales. Cada iteración se construye sobre los casos de uso desarrollados en las iteraciones anteriores.
- Son iterativas en términos del código base. Cada iteración implicará la reescritura de algún código ya existente con el fin de hacerlo más flexible. La reestructuración de factores es una técnica muy útil para la iteración de código. Es buena idea saber la cantidad de código desechado con cada iteración. Desconfíe si se descarta menos del 10% del código en cada ocasión.

Diagrama	Descripción	Ejemplo
De Casos de Uso	Representa las funciones del sistema desde el punto de vista del usuario. Se utilizan para la comunicación con los usuarios y para expresar de forma clara y sencilla los requisitos.	

De Clase	Bosquejan la arquitectura estática del sistema en función de clases y sus asociaciones.	
De Secuencia	Representan un conjunto de elementos de un sistema que interactúan entre ellos organizados en secuencias de tiempo.	
De Estado	Representan el estado de un elemento del sistema, las condiciones y respuestas que da a ciertos eventos a los que es expuesto.	
De Colaboración	Son parecidos a los diagramas de secuencia pero dan mayor libertad para distribuir los objetos. Representan la interacción entre elementos de un sistema y se organiza con respecto a espacio y tiempo. Es una representación espacial de los objetos, sus enlaces y sus interacciones. Junto con los de secuencias se denominan, diagramas de interacción.	

De Despliegue	Muestra un conjunto de nodos y sus relaciones. Representa el despliegue de los componentes y subsistemas sobre los dispositivos físicos.	
---------------	--	---

**Tabla 3. Diagramas UML más comunes.**

### Referencias

JACOBSON, Ivar. BOOCH, Grady. RUMBAUGH, James. “El Proceso Unificado de Desarrollo de Software”. Primera edición. Addison Wesley. España, 2000.

McCONNELL, Steve. “Desarrollo y Gestión de Proyectos Informáticos”. Primera Edición. McGraw-Hill. España, 1997.

Norma IEEE 1058.1 para la planificación de proyectos software.

PRESSMAN, Roger S. “Ingeniería del Software Un enfoque práctico”. Quinta Edición. McGraw-Hill. España, 2002.

## **ANEXO B. CONFIGURACION DE SUBESTACIONES**

### **CONFIGURACIÓN DE SUBESTACIONES**

Se denomina configuración a la forma como están organizados equipos electromecánicos constitutivos de un patio de conexiones, de tal forma que su operación permita dar a la subestación diferentes grados de confiabilidad, seguridad y flexibilidad.

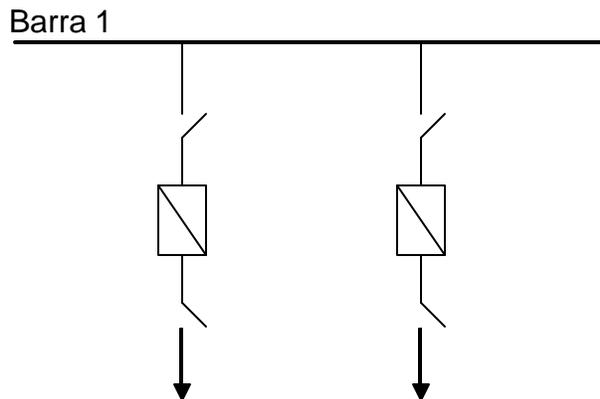
Considerando que la subestación es parte integral del sistema interconectado y que cumple un papel dentro de éste, una subestación requiere disponer de un mayor o menor grado de flexibilidad. Los conceptos de flexibilidad, confiabilidad y seguridad se emplean en la selección de la configuración de la subestación, y se definen de la siguiente forma:

- **Flexibilidad:** Es la propiedad de la instalación para acomodarse a las condiciones que se puedan presentar, especialmente por cambios operativos en el sistema, por contingencias y/o por mantenimiento.
- **Confiabilidad:** Probabilidad que una subestación pueda suministrar energía durante un período de tiempo dado, bajo la condición que al menos un componente de la subestación esté fuera de servicio.
- **Seguridad:** Es la propiedad de una instalación de dar continuidad de servicio sin interrupción alguna durante fallas de los equipos de potencia. La seguridad implica confiabilidad.

Considerando estos aspectos, los principales tipos de configuración son:

- Barra sencilla

Como su nombre lo indica, es una configuración que cuenta con un solo barraje colector al cual se conectan los circuitos de la subestación (Figura 1). Es económica y ocupa poco espacio, como desventaja principal puede citarse la falta de confiabilidad, seguridad y flexibilidad, y es así como una falla en el barraje interrumpe totalmente el suministro de energía. Como ejemplo de este tipo de configuración se tienen las subestaciones de Ancón Sur y Barbosa.



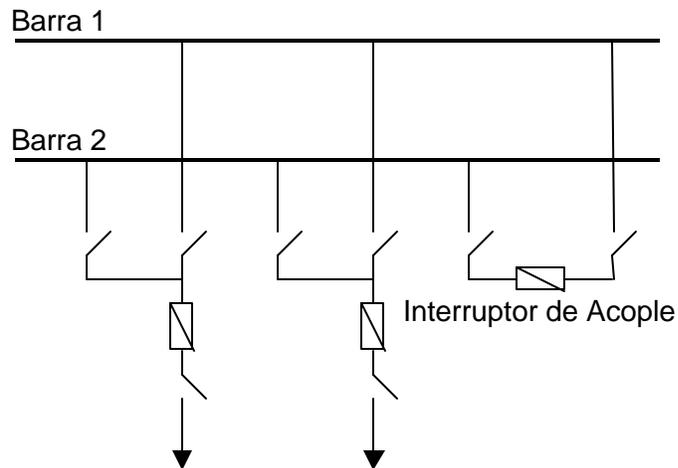
*Figura 1. Barra sencilla*

- Doble Barra

Para aumentar la flexibilidad a la barra sencilla se puede adicionar una segunda barra y un interruptor para el acoplamiento de las dos barras, conformándose así una configuración llamada de doble barra (Figura 2).

Esta configuración permite el manejo independiente de cada circuito desde el barraje principal o del de reserva, debido a que cada una de las barras está en la capacidad de soportar la carga total. El interruptor que une las dos barras se llama interruptor de acople.

Como ejemplo de esta configuración se tienen las subestaciones de Alto de Anchicayá y Pance.



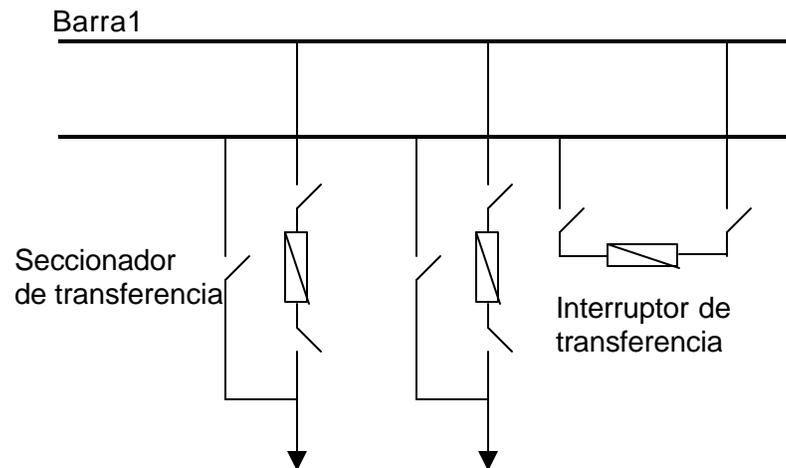
*Figura 2. Doble Barra*

- Sistema de barra principal más barra de transferencia

Para mejorar la confiabilidad por falla en interruptores de la configuración de barra sencilla, a ésta se le puede agregar una barra auxiliar o de transferencia, a cada circuito un seccionador de transferencia para la conexión a dicha barra y un interruptor de transferencia para unir las dos barras, conformándose así la configuración de barra principal y de transferencia (Figura 3).

Con esta configuración cada circuito, se puede conmutar por medio del interruptor de transferencia a la barra del mismo nombre, conservando de esta forma el servicio del campo respectivo durante mantenimientos o fallas, lo cual demuestra la buena confiabilidad que la configuración presenta bajo estas circunstancias.

Como ejemplo de este tipo de configuración, se tienen las subestaciones de Los Palos, Jaguas y Chivor.



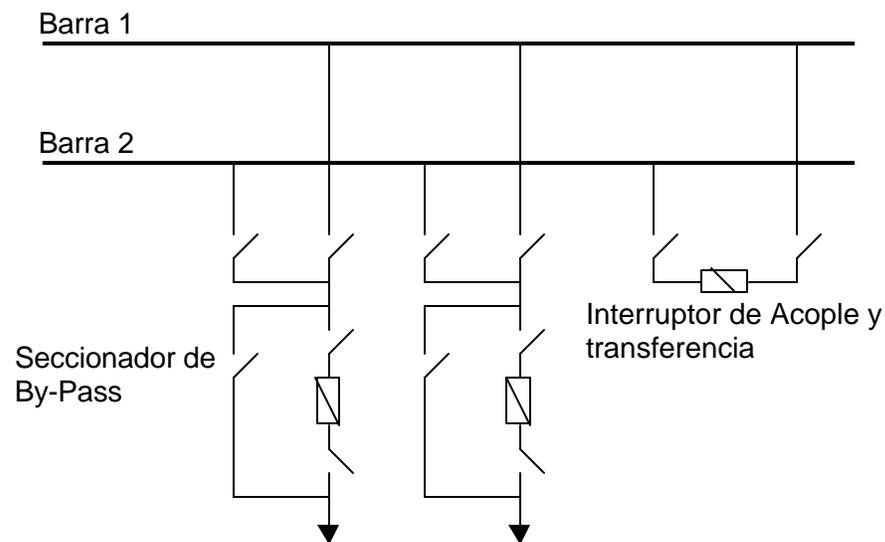
*Figura 3. Barra principal más barra de transferencia*

- Sistema de doble barra más seccionador de “By-Pass” o de paso directo

Esta configuración reúne, aunque no simultáneamente, las características de las configuraciones de doble barra y barra principal más transferencia. Esto se logra a partir de la configuración de doble barra, conectando un seccionador de “By-Pass” o paso directo al interruptor de cada salida y adicionando además otro seccionador adyacente al interruptor para poder aislarlo (Figura 4).

Con estos seccionadores adicionales se puede operar la subestación, complementariamente a la operación normal de doble barra, como subestación de barra principal y transferencia. Se utiliza el interruptor de acoplamiento como de transferencia para uno cualquiera de los interruptores de línea.

Como ejemplo de este tipo de configuración se tienen las subestaciones de Guatapé, Torca, La Mesa, Esmeralda y Yumbo.

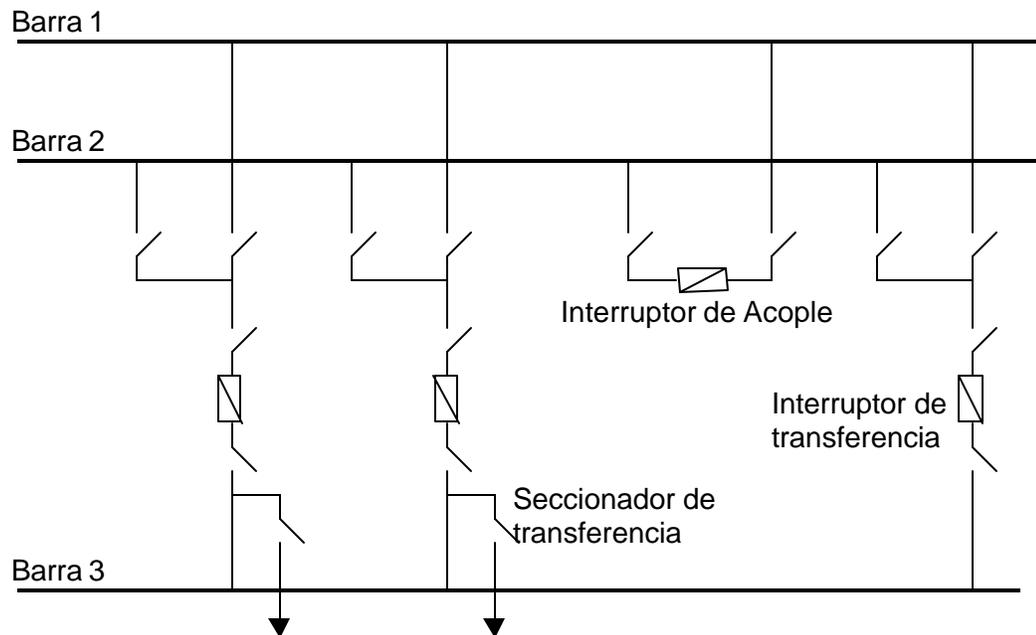


*Figura 4. Doble Barra más seccionador de By-Pass*

- Doble barra más barra de transferencia

Este arreglo resulta de las configuraciones de doble barra y de barra principal más transferencia, ya que se tienen dos barras principales más una de transferencia, dando como resultado un arreglo que brinda simultáneamente confiabilidad y flexibilidad (Figura 5).

Normalmente se usan dos interruptores para las funciones de acople y transferencia respectivamente, independizando las funciones.



*Figura 5. Doble Barra más barra de transferencia.*

- Subestación en anillo

Es una configuración económica, confiable y segura pero sin flexibilidad. En esta configuración no existe una barra colectora propiamente dicha, los circuitos se conectan alternadamente en un anillo formado por interruptores, y se opera normalmente con todos los interruptores cerrados (Figura 6).

Como ejemplo de este tipo de configuración se encuentran las subestaciones de CORELCA (Soledad, Fundación y Ternera).

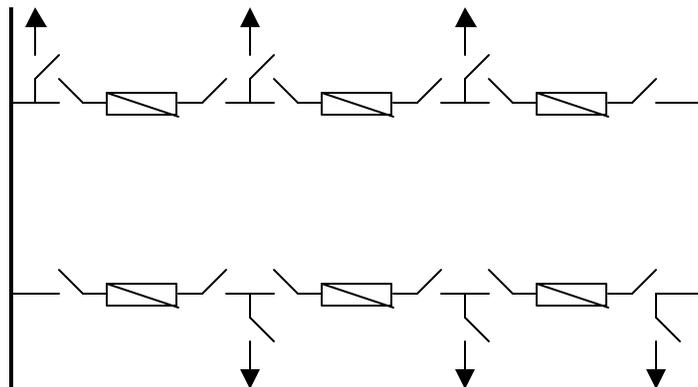


Figura 6. Configuración en Anillo.

- Subestación en interruptor y medio

Esta configuración debe su nombre al hecho de exigir tres interruptores por cada dos salidas (Figura 7). El grupo de los tres interruptores llamado diámetro, se conecta entre dos barrajes principales. Esta configuración presenta un alto grado de confiabilidad y seguridad tanto por falla en los interruptores como en los circuitos. Normalmente se opera con ambas barras energizadas y todos los interruptores cerrados y por tal motivo su flexibilidad es reducida. Como ejemplo de este tipo de configuración se tienen las subestaciones de Primavera, Comuneros y San Carlos.

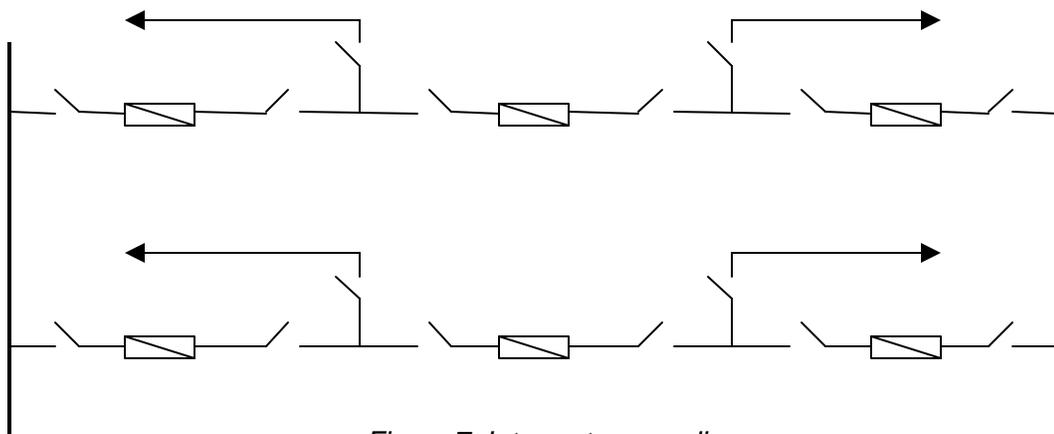


Figura 7. Interruptor y medio

## Referencias

BEATY, H. Wayne; FINK, Donald G. "Manual de Ingeniería Eléctrica". Editorial McGraw-Hill, Mexico, 1996

VILLABONA, Fernando. "Nociones básicas de operación de Subestaciones". Documento de trabajo en ISA – CTE Oriente. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2000.

## ANEXO C. JAVA

### ¿QUÉ ES JAVA?

Java es el nombre de un lenguaje de programación desarrollado por Sun Microsystems Inc. En los Estados Unidos en 1995. Java fue pensado originalmente para utilizarse en cualquier tipo de electrodoméstico pero la idea fracasó. Uno de los fundadores de Sun rescató la idea para utilizarla en el ámbito de Internet y convirtieron a Java en un lenguaje potente, seguro y universal gracias a que lo puede utilizar todo el mundo y es gratuito. Una de los primeros triunfos de Java fue que se integró en el navegador Netscape y permitía ejecutar programas dentro de una página web, hasta entonces impensable con el HTML.

### CARACTERÍSTICAS DE JAVA

- Simple

Java ofrece toda la funcionalidad de un lenguaje potente, pero sin las características menos usadas y más confusas de éstos. C++ es un lenguaje que adolece de falta de seguridad, pero C y C++ son lenguajes más difundidos, por ello Java se diseñó para ser parecido a C++ y así facilitar un rápido y fácil aprendizaje.

Java elimina muchas de las características de otros lenguajes como C++, para mantener reducidas las especificaciones del lenguaje y añadir características muy útiles como el garbage collector (reciclador de memoria dinámica). No es necesario preocuparse de liberar memoria, el reciclador se encarga de ello y como es un thread de baja prioridad, cuando entra en acción, permite liberar bloques de memoria muy grandes, lo que reduce la fragmentación de la memoria.

- Orientado a objetos

Java implementa la tecnología básica de C++ con algunas mejoras y elimina algunas cosas para mantener el objetivo de la simplicidad del lenguaje. Java trabaja con sus datos como objetos y con interfaces a esos objetos. Soporta las tres características propias del paradigma de la orientación a objetos: encapsulación, herencia y polimorfismo. Las plantillas de objetos son llamadas, como en C++, clases y sus copias, instancias. Estas instancias, como en C++, necesitan ser construidas y destruidas en espacios de memoria.

- Distribuido

Java se ha construido con extensas capacidades de interconexión TCP/IP. Existen librerías de rutinas para acceder e interactuar con protocolos como http y ftp. Esto permite a los programadores acceder a la información a través de la red con tanta facilidad como a los ficheros locales.

- Robusto

Java realiza verificaciones en busca de problemas tanto en tiempo de compilación como en tiempo de ejecución. La comprobación de tipos en Java ayuda a detectar errores, lo antes posible, en el ciclo de desarrollo. Java obliga a la declaración explícita de métodos, reduciendo así las posibilidades de error. Maneja la memoria para eliminar las preocupaciones por parte del programador de la liberación o corrupción de memoria.

- Arquitectura neutral

Para establecer Java como parte integral de la red, el compilador Java compila su código a un fichero objeto de formato independiente de la arquitectura de la máquina en que se ejecutará. Actualmente existen sistemas run-time para Solaris 2.x, SunOs 4.1.x, Windows 95, Windows NT, Linux, Irix, Aix, Mac y Apple.

Cuando el compilador de Java traduce un archivo fuente de clase a códigos de byte (bytecodes), este archivo de clase puede ejecutarse en cualquier máquina que de soporte a un visualizador que funciona con Java. Esto permite que el código se escriba independientemente de la plataforma y elimina para el cliente el ciclo de compilación y ejecución, porque los códigos de byte no son específicos para una máquina determinada sino que se interpretan.

- Seguro

La seguridad en Java tiene dos facetas. En el lenguaje, características como los punteros o el casting implícito que hacen los compiladores de C y C++ se eliminan para prevenir el acceso ilegal a la memoria. Cuando se usa Java para crear un navegador, se combinan las características del lenguaje con protecciones de sentido común aplicadas al propio navegador.

- Portable

Más allá de la portabilidad básica por ser de arquitectura independiente, Java implementa otros estándares de portabilidad para facilitar el desarrollo. Los enteros son siempre enteros y además, enteros de 32 bits en complemento a 2. Además, Java construye sus interfaces de usuario a través de un sistema abstracto de ventanas de forma que las ventanas puedan ser implantadas en entornos Unix, Pc o Mac.

- Interpretado

El intérprete Java puede ejecutar directamente el código objeto. Enlazar un programa, normalmente, consume menos recursos que compilarlo, por lo que los desarrolladores con Java pasarán más tiempo desarrollando y menos esperando por el ordenador. No obstante, el compilador actual del JDK es bastante lento. Por ahora, que todavía no hay compiladores específicos de Java para las diversas

plataformas, Java es más lento que otros lenguajes de programación, como C++, ya que debe ser interpretado y no ejecutado como sucede en cualquier programa tradicional.

- Multithreaded

Al ser multithreaded, Java permite muchas actividades simultáneas en un programa. Los threads, son básicamente pequeños procesos o piezas independientes de un gran proceso. Al estar los threads contruidos en el lenguaje, son más fáciles de usar y más robustos que sus homólogos en C o C++.

El beneficio de ser multithreaded consiste en un mejor rendimiento interactivo y mejor comportamiento en tiempo real. aunque el comportamiento en tiempo real está limitado a las capacidades del sistema operativo subyacente (Unix, Windows, etc.), aún supera a los entornos de flujo único de programa (single-threaded) tanto en facilidad de desarrollo como en rendimiento.

- Dinamico

Java se beneficia todo lo posible de la tecnología orientada a objetos. Java no intenta conectar todos los módulos que comprenden una aplicación hasta el tiempo de ejecución. Las librerías nuevas o actualizadas no paralizarán las aplicaciones actuales.

## **ACCESO A LAS BASES DE DATOS CON JAVA. JDBC**

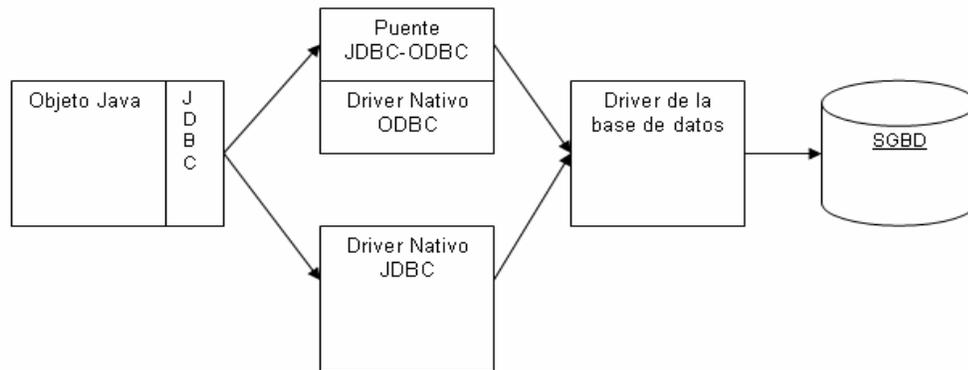
Con el objetivo de utilizar Java para desarrollar aplicaciones cliente-servidor con acceso a bases de datos, Javasoft desarrollo el JDBC API, soportado a partir de la versión JDK 1.1. Actualmente JDBC ha sido adoptado por un gran número de distribuidores de Bases de Datos, incluyendo Oracle, Informix, Borland, Imaginary, Sybase, etc.

El API JDBC es una especificación mediante la cual los desarrolladores de aplicaciones Java pueden acceder a diferentes tipos de sistemas de bases de datos utilizando tan solo un conjunto de funciones. Al igual que ODBC (Open DataBase Connectivity) muy popular entre los desarrolladores de aplicaciones Windows, proporciona independencia de la plataforma. Se propuso como un interfaz, al nivel de llamadas, de SQL para Java. Esto significa que el objetivo es simplemente ejecutar sentencias SQL y obtener sus resultados.

JDBC proporciona a los programadores de Java un API que es consistente con el resto de la especificación del lenguaje. Unido a uno o más drivers JDBC, una aplicación Java puede enviar peticiones SQL a cualquier número de servidores de bases de datos, independientemente de su localización y plataforma. A todo esto debemos añadirle la portabilidad de Java entre diferentes arquitecturas, la cual permite a la misma aplicación ejecutarse en distintas plataformas (Unix, Windows, etc).

Las implementaciones de JDBC son código nativo Java, mientras que ODBC fue desarrollada en C. Esto permite mantener una aceptable facilidad de desarrollo y eficiencia. Al mismo tiempo la interfaz se construye sobre las clases existentes en Java, lo que refuerza el estilo y las virtudes de este lenguaje de programación.

No obstante, en un esfuerzo por salvar el vacío inicial entre las aplicaciones ODBC existentes y las nuevas especificaciones JDBC, se desarrollo un 'puente' JDBC-ODBC; de ésta forma, las aplicaciones pueden ser desarrolladas usando el API JDBC, pero ahora las llamadas API son filtradas y convertidas en llamadas a funciones ODBC. En esta situación el sistema remoto de gestión de Bases de Datos (con el driver ODBC) recibe estas llamadas como las de cualquier otro cliente ODBC.



### Referencias

LOPEZ ALMAGRO, Ignacio; MARCOBAL MASIP, Juan Ramon. "Java y su Tecnología Una Experiencia Práctica". Texto de Clase. Universidad de Murcia. Murcia, 1997.

<http://dsc.uaemex.mx/faq/java.html>

<http://www.monografias.com/trabajos/java/java.shtml>

## ANEXO D. NOMENCLATURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

Para la determinación de la nomenclatura del sistema eléctrico nacional se requiere conocer la siguiente información:

- El nombre de la empresa propietaria.
- El nombre de la unidad operativa (subestación o central).
- La tensión máxima de operación.
- La configuración física.
- La ubicación de la sala de control.
- La topología del sistema.

Cada unidad operativa o subestación se identifica con una nomenclatura que se compone de diez caracteres alfanuméricos, los cuales tienen los siguientes significados:

<b>E1</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>N3</b>	<b>N4</b>
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

- ◆ Primer carácter (E1). Corresponde al código asignado a la empresa propietaria (ISA →I).
- ◆ Segundo, tercero y cuarto carácter (S1, S2 y S3). Indican el código asignado a la unidad operativa corresponden a la unidad operativa (OCAÑA → OCA).
- ◆ Quinto y sexto carácter (T1 y T2). Representan la tensión máxima de operación de la unidad operativa de acuerdo a la tabla 1.

TENSIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN (kV)	CÓDIGO
15	23
36	30
123	40
245	46

**Tabla 1. Códigos asignados para niveles de tensión.**

- Séptimo carácter (N1). Indica los grupos operativos de acuerdo a la siguiente tabla:

FUNCIÓN	CÓDIGO
Acoplador	I
Secionamiento de barras	S
Transferencia de interruptores	B
Acoplador de barras y transferencia de interruptores	M
Circuito de generador	G
Circuito de la unidad de generación	U
Circuito de transformación	T
Circuito de autotransformación	A
Circuito de línea	L
Circuito de reactor	R
Circuito de condensador	C

**Tabla 2. Código de grupos operativos.**

- Octavo y noveno carácter (N1 y N2). Corresponden a la identificación del campo.

CÓDIGO	SIGNIFICADO
01 a 09	Asociada a barra virtual o ficticia
11 a 19	Asociado a barra 1, a sección 1 de barra o anterior a acoplador
11 a 19	En anillo
20	Principal en doble interruptor/barra doble

21 a 29	Asociado a barra 2, a sección 2 de barra o posterior a acople
21 a 29	Reserva en doble interruptor/barra sencilla
30	Segundo seccionamiento
31 a 39	Asociado a sección 3 de barra
40	Tercer seccionamiento

**Tabla 3. Identificación del campo de la subestación**

- Décimo caracter (N4). Indica la posición del equipo (interruptor y seccionadores) dentro del campo.

<b>FUNCIÓN</b>	<b>CÓDIGO</b>
Interruptor	0
Conexión a barra 1	1
Conexión a barra 2	2
Conexión a barra de reserva	3
Conexión en serie con un nodo intermedio como primera opción o conexión a sección 4 de barra 1	4
Conexión en serie con nodo intermedio como segunda opción	5
Conexión en paralelo a interruptor (By pass)	6
Conexión de circuito de salida (de línea, transformador, etc.)	7
Cuchilla de puesta tierra como segunda opción	8
Cuchilla de puesta a tierra como primera opción	9

**Tabla 4. Código asignado por posición de los equipos de patio.**

### Referencias

VILLABONA, Fernando. "Nociones básicas de operación de Subestaciones". Documento de trabajo en ISA-CTE Oriente. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2000.