



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no
Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Estudio del estándar IEC – 61970 para su aplicación en la Modelación Común de la Información de Sistemas Eléctricos de Potencia

Trabajo de Titulación previo a la obtención
del Título de Ingeniero Electromecánico

AUTOR:

Jorge Luis Lalangui Sánchez.

DIRECTOR:

Ing. Leonel Francisco Aleaga Loaiza, Mg. Sc.

Loja - Ecuador
2022

Certificación

Loja, 14 de septiembre de 2021

Ing. Leonel Francisco Aleaga Loaiza, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido en todas sus partes el desarrollo del trabajo de Titulación denominado: “**Estudio del estándar IEC–61970 para su aplicación en la Modelación Común de la Información de Sistemas Eléctricos de Potencia**” realizado por el **Egdo.: Jorge Luis Lalangui Sánchez**, el informe del trabajo ejecutado tanto en su forma como en su contenido está conformado con los requisitos exigidos por los reglamentos de la Universidad Nacional de Loja, con los procedimientos técnicos de la elaboración del tema propuesto y con las normas de investigación científica.

Por lo tanto, luego de haber revisado en forma prolija autorizo, su presentación y posterior sustentación ante el correspondiente tribunal de grado.



Firmado electrónicamente por:
LEONEL
FRANCISCO
ALEAGA LOAIZA

Ing. Leonel Francisco Aleaga Loaiza, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Jorge Luis Lalangui Sánchez**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación del trabajo de titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca virtual.

Firma

Autor: Jorge Luis Lalangui Sánchez

Cédula: 1150105326

Correo electrónico personal: jorgeluis.vdj@gmail.com

Correo electrónico institucional: jllalanguis@unl.edu.ec

Fecha: Loja, 21 de julio del 2022

Carta de autorización del trabajo de titulación por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo.

Yo, **Jorge Luis Lalangui Sánchez**, declaro ser autor del trabajo de titulación denominado: **Estudio del Estándar IEC-61970 para su aplicación en la Modelación Común De La Información de Sistemas Eléctricos De Potencia**, como requisito para optar el grado de: **Ingeniero Electromecánico**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintiún días del mes de julio del dos mil veintidós.

Firma

Autor: Jorge Luis Lalangui Sánchez.

Cédula: 1150105326.

Dirección: Loja (Barrio Bolonia: Av. Ángel Felicísimo Rojas)

Correo electrónico: jllalanguis@unl.edu.ec

Celular: +593939458434.

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Leonel Francisco Aleaga Loaiza, Mg. Sc.

Dedicatoria

La presente investigación va dedicada con profundo amor y cariño en primer lugar a Dios padre todopoderoso, a mis padres Manuel Lalangui y Mariana Sánchez quienes con sus consejos, cariño y paciencia supieron guiarme durante todo mi proceso de formación profesional, brindándome todo su apoyo de manera incondicional.

A mis compañeros de aula quienes han fomentado el verdadero significado de la amistad y de igual manera a todos mis docentes, ya que han representado un apoyo tanto moral como intelectual dentro de mi formación académica.

Finalmente quiero dedicar este trabajo de manera especial a mi esposa y a mi hijo Alan Lalangui quienes día a día con su amor han logrado formar parte esencial en mi vida y han significado una inspiración tan grande para poder cumplir uno de los logros más importantes en mi vida.

A todos ellos este trabajo de titulación, sin ellos no lo hubiese podido lograr.

Jorge Luis Lalangui Sánchez

Agradecimiento

Primeramente, quiero agradecer a Dios quien me otorgo vida y salud para poder cumplir a pesar de las adversidades con este logro tan importante en mi vida.

A mi Familia, de manera especial mis padres; esposa e hijo, quienes a lo largo de toda mi vida me han apoyado y motivado en mi formación académica, confiaron en mí y fueron mi principal inspiración para luchar por mi sueño.

Un agradecimiento especial a la Universidad Nacional de Loja, dentro de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables a la carrera de Ingeniería Electromecánica, que por medio de su planta docente imparten grandes conocimientos para la formación de grandes profesionales con bases científicas y técnicas para un fácil desenvolvimiento en el campo laboral.

Al Ing. Leonel Francisco Aleaga Loaiza, director de mi trabajo de titulación; quien de manera desinteresada me supo brindar su apoyo, consejos y conocimientos, aspectos fundamentales que acompañados de paciencia y su sincera amistad fueron esenciales durante la ejecución de este trabajo de titulación.

A todos mis amigos y compañeros quienes han formado parte importante en mi proceso de formación profesional ya que han compartido muchas experiencias y me han sabido brindar su apoyo para cumplir con mi meta.

A todos ellos con profundo amor expreso mi eterna gratitud.

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	xvi
Índice de Anexos	xix
Glosario	xx
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
3.1. Objetivos	6
3.1.1. Objetivo General	6
3.1.2. Objetivos Específicos.....	6
4. Marco Teórico	7
4.1. CAPÍTULO 1. Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP).....	7
4.1.1. Estructura de un SEP.....	7
4.1.1.1. Generación	8
4.1.1.2. Transmisión.....	8
4.1.1.3. Distribución.....	8
4.1.2. Representación de un SEP	9
4.1.2.1. Diagrama Unifilar	9

4.1.3.	Terminología básica en un SEP	10
4.1.3.1.	Terminología General	10
4.1.3.2.	Terminología sobre subestaciones	10
4.1.3.3.	Terminología sobre Líneas de Transmisión.....	12
4.1.4.	Topología de un SEP.....	13
4.1.5.	Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano (SNI)	14
4.1.5.1.	Antecedentes de la Generación Eléctrica en el Ecuador	14
4.1.5.2.	Infraestructura existente	14
4.1.5.3.	Centrales con fuentes de energía renovable	15
4.1.5.4.	Centrales con fuentes de energía no renovable	17
4.1.6.	Situación actual sobre Generación Eléctrica en Ecuador.....	17
4.1.6.1.	Potencias Nominal y Efectiva de Centrales de Generación	18
4.1.6.2.	Proyectos de generación incorporados.....	19
4.1.7.	Situación Actual del Sistema de Transmisión Eléctrica Nacional.....	20
4.1.7.1.	Topología actual del Sistema Nacional de Transmisión	20
4.1.7.2.	Líneas de Transmisión	22
4.1.7.3.	Interconexiones con Colombia y Perú	22
4.1.7.4.	Subestaciones	23
4.1.7.5.	Cargabilidad de los transformadores del SNT	28
4.2.	CAPÍTULO 2. Introducción al Estándar IEC 61970-301	30
4.2.1.	Estándar IEC 61970-301	30
4.2.2.	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC – por sus siglas al inglés).....	30
4.2.3.	Comité Técnico 57 (TC57)	31
4.2.4.	Grupo de Trabajo 13 (WG13): Interfaz de Programación de Aplicaciones del Sistema de Gestión de Energía	32
4.2.5.	Paquetes Estándar IEC 61970-301	33

4.2.5.1.	Definición de PAQUETE.....	33
4.2.5.2.	Relaciones entre Paquetes	34
4.2.5.3.	Paquetes WG13 IEC 61970-301	34
4.3.	CAPÍTULO 3. Fundamentos del Modelo de Información Común (CIM)	37
4.3.1.	Introducción al Modelo de Información Común (CIM)	37
4.3.2.	Historia del CIM	37
4.3.3.	Modelo de Información Común (CIM – por sus siglas al inglés).....	38
4.3.4.	Contención, Jerarquías de Equipos y Denominación.....	39
4.3.4.1.	Containment Structure	39
4.3.4.2.	<i>Clase IdentifiedObject</i>	39
4.3.5.	Connectivity Model.....	39
4.3.5.1.	Interconexiones de Componentes	41
4.3.5.2.	Conversión de un Circuito Eléctrico Básico en formato CIM	44
4.3.6.	Lenguaje de Modelado Unificado (UML – por sus siglas al inglés)	49
4.3.6.1.	Clases	50
4.3.6.2.	Relaciones entre Clases.....	50
4.3.6.3.	Multiplicidad.....	53
4.3.7.	Lenguaje de Marcas Extensible (XML).....	53
4.3.7.1.	Definición.....	53
4.3.7.2.	Historia y Objetivos de XML.....	54
4.3.7.3.	Diferenciación de XML y HTML	54
4.3.7.4.	Sintaxis de XML	55
4.3.7.5.	Partes de un documento XML	56
5.	Metodología	58
5.1.	Materiales.....	58
5.1.1.	Recursos Materiales	58

5.1.1.1.	Material de Oficina	58
5.1.1.2.	Software	58
5.1.2.	Recursos Bibliográfico.....	58
5.1.2.1.	Diagrama Unifilar del SNI del Ecuador – Config. abril de 2020	59
5.2.	Métodos.....	60
5.2.1.	Sistematización de contenidos del Estándar IEC 61970-301.....	60
5.2.1.1.	IEC61970CIMVersion Clase Raíz.....	62
5.2.1.2.	Package Domain	62
5.2.1.3.	Package Core.....	67
5.2.1.4.	Package Topology.....	80
5.2.1.5.	Package Wires.....	82
5.2.1.6.	Package Generation.....	104
5.2.1.7.	Package Production.....	108
5.2.1.8.	Package LoadModel.....	116
5.2.2.	Análisis a Diagrama Unifilar de SNI del Ecuador	118
5.2.3.	Proceso para validación al modelo CIM/XML del SNI del Ecuador	119
6.	Resultados	122
6.1.	Codificación CIM/XML del SNI del Ecuador	122
6.2.	Modelación en formato CIM/XML al SNI del Ecuador	124
6.2.1.	Aspectos generales en modelación	124
6.2.2.	Estructura CIM/XML para modelar una Unidad de Generación.....	125
6.2.3.	Estructura CIM/XML para modelar una Barra.	127
6.2.4.	Estructura CIM/XML para modelar un Transformador.....	128
6.2.5.	Estructura CIM/XML para modelar una Línea.....	130
6.2.6.	Estructura CIM/XML para modelar una Carga	131
6.2.7.	Estructura CIM/XML para modelar un Compensador en Derivación.....	132

6.3.	Validación al modelo CIM/XML del SNI del Ecuador	133
6.4.	Cumplimiento de Objetivos	135
7.	Discusión	137
8.	Conclusiones	139
9.	Recomendaciones	141
10.	Bibliografía	142
11.	Anexos	144

Índice de Tablas

Tabla 1. Número de centrales y potencia efectiva del Ecuador.	14
Tabla 2. Número de centrales y potencia efectiva con fuentes de energía renovable.	15
Tabla 3. Número de centrales y potencia efectiva con fuentes de energía no renovable.	17
Tabla 4. Potencia nominal y efectiva por sistema.	18
Tabla 5. Potencia nominal y efectiva por tipo de energía.	19
Tabla 6. Centrales de generación eléctrica incorporadas entre 2017 y 2018.	20
Tabla 7. Resumen de líneas de transmisión del SNT.	22
Tabla 8. Resumen de transformadores en el SNT.	24
Tabla 9. Capacidad de los transformadores en subestaciones de 500 kV del SNT.	24
Tabla 10. Capacidad de los transformadores en subestaciones de 230 kV del SNT.	25
Tabla 11. Capacidad de los transformadores en subestaciones de 138 kV del SNT.	26
Tabla 12. Equipos que han alcanzado o superado el 70% de cargabilidad respecto de su potencia nominal.	28
Tabla 13. Grupos de Trabajo del Comité Técnico de la IEC, TC57.	31
Tabla 14. Multiplicidad al representar un diagrama UML.	53
Tabla 15. Comparación HTML / XML.	55
Tabla 16. Simbología Niveles de Tensión SNI.	59
Tabla 17: Atributos de <i>IEC61970CIMVersion</i>	62
Tabla 18. Atributos de la clase <i>ActivePower datatype</i>	63
Tabla 19. Atributos de la clase <i>ApparentPower datatype</i>	64
Tabla 20. Atributos de la clase <i>Conductance datatype</i>	64
Tabla 21. Atributos de la clase <i>CurrentFlow datatype</i>	64
Tabla 22. Atributos de la clase <i>PerCent datatype</i>	65
Tabla 23. Atributos de las clases <i>Reactance datatype</i> y <i>Resistance datatype</i>	65
Tabla 24. Atributos de la clase <i>ReactivePower datatype</i>	66

Tabla 25. Unidades usadas en el CIM.....	66
Tabla 26. Atributos de la clase <i>BasePower</i>	68
Tabla 27. Atributos de la clase <i>BaseVoltage</i>	69
Tabla 28. Extremos de asociacion de <i>BaseVoltage</i> con otras clases.....	69
Tabla 29. Atributos de la clase <i>Bay</i>	70
Tabla 30. Extremos de asociacion de <i>Bay</i> con otras clases.....	70
Tabla 31. Atributos de la clase <i>ConductingEquipment</i>	71
Tabla 32. Extremos de asociación de <i>ConductingEquipment</i> con otras clases.....	71
Tabla 33. Extremos de asociación de <i>ConnectivityNode</i> con otras clases.....	72
Tabla 34. Extremos de asociación de <i>ConnectivityNodeContainer</i> con otras clases.....	72
Tabla 35. Atributos de la clase <i>Equipment</i>	73
Tabla 36. Extremos de asociación de <i>Equipment</i> con otras clases.....	73
Tabla 37. Extremos de asociación de <i>EquipmentContainer</i> con otras clases.....	74
Tabla 38. Extremos de asociación de <i>GeographicalRegion</i> con otras clases.....	74
Tabla 39. Atributos de la clase <i>IdentifiedObject</i>	75
Tabla 40. Extremos de asociación de <i>PowerSystemResources</i> con otras clases.....	76
Tabla 41. Extremos de asociación de <i>SubGeographicalRegion</i> con otras clases.....	76
Tabla 42. Extremos de asociación de <i>Substation</i> con otras clases.....	77
Tabla 43. Atributos de la clase <i>Terminal</i>	77
Tabla 44. Extremos de asociación de <i>Terminal</i> con otras clases.....	78
Tabla 45. Extremos de asociación de <i>Unit</i> con otras clases.....	79
Tabla 46. Atributos de la clase <i>VoltageLevel</i>	80
Tabla 47. Extremos de asociación de <i>Unit</i> con otras clases.....	80
Tabla 48. Extremos de asociación de <i>TopologicalNode</i> con otras clases.....	82
Tabla 49. Atributos de la clase <i>Conductor</i>	85
Tabla 50. Extremos de asociación de <i>Line</i> con otras clases.....	85

Tabla 51. Atributos de la clase <i>ACLLineSegment</i>	86
Tabla 52. Extremos de asociación de <i>BusbarSection</i> con otras clases.....	87
Tabla 53. Literales de <i>RegulatingControlModeKind</i>	88
Tabla 54. Extremos de asociación de <i>RegulatingCondEq</i> con otras clases.	89
Tabla 55. Atributos de la clase <i>RegulatingControl</i>	90
Tabla 56. Extremos de asociación de <i>RegulatingControl</i> con otras clases.	90
Tabla 57. Atributos de la clase <i>ShuntCompensator</i>	91
Tabla 58. Extremos de asociación de <i>ShuntCompensator</i> con otras clases.	92
Tabla 59. Atributos de la clase <i>StaticVarCompensator</i>	93
Tabla 60. Atributos de la clase <i>SynchronousMachine</i>	94
Tabla 61. Extremos de asociación de <i>SynchronousMachine</i> con otras clases.	96
Tabla 62. Literales de <i>SynchronousMachineOperatingMode</i>	96
Tabla 63. Literales de <i>SynchronousMachineType</i>	97
Tabla 64. Atributos de la clase <i>PowerTransformer</i>	98
Tabla 65. Extremos de asociación de <i>PowerTransformer</i> con otras clases.	98
Tabla 66. Atributos de la clase <i>TransformerWinding</i>	99
Tabla 67. Extremos de asociación de <i>TransformerWinding</i> con otras clases.	100
Tabla 68. Literales de <i>WindingConnection</i>	101
Tabla 69. Literales de <i>WindingType</i>	101
Tabla 70. Atributos de la clase <i>Switch</i>	102
Tabla 71. Extremos de asociación de <i>Switch</i> con otras clases.	102
Tabla 72. Atributos de la clase <i>Breaker</i>	103
Tabla 73. Atributos de la clase <i>EnergyConsumer</i>	103
Tabla 74. Extremos de asociación de <i>EnergyConsumer</i> con otras clases.	104
Tabla 75. Atributos de la clase <i>OperatingMode</i>	104
Tabla 76. Atributos de la clase <i>HydroTurbine</i>	106

Tabla 77. Atributos de la clase <i>PrimeMover</i>	106
Tabla 78. Extremos de asociación de <i>PrimeMover</i> con otras clases.....	107
Tabla 79. Atributos de la clase <i>SteamTurbine</i>	107
Tabla 80. Extremos de asociación de <i>SteamTurbine</i> con otras clases.....	108
Tabla 81. Tipos de Turbina.	108
Tabla 82. Atributos de la clase <i>GeneratingUnit</i>	110
Tabla 83. Extremos de asociación de <i>GeneratingUnit</i> con otras clases.....	112
Tabla 84. Atributos de la clase <i>HydroGeneratingUnit</i>	113
Tabla 85. Extremos de asociación de <i>GeneratingUnit</i> con otras clases.....	113
Tabla 86. Atributos de la clase <i>StarRampCurve</i>	114
Tabla 87. Extremos de asociación de <i>StarRampCurve</i> con otras clases.	114
Tabla 88. Atributos de la clase <i>StartupModel</i>	114
Tabla 89. Extremos de asociación de <i>StarRampCurve</i> con otras clases.	115
Tabla 90. Atributos de la clase <i>ThermalGeneratingUnit</i>	115
Tabla 91. Extremos de asociación de <i>ThermalGeneratingUnit</i> con otras clases.	116
Tabla 92. Extremos de asociación de <i>NonCoformLoad</i> con otras clases.....	117
Tabla 93. Resultados de validación a estructura CIM/XML del SNI del Ecuador.	134

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de un Sistema Eléctrico de Potencia.	7
Figura 2. Diagrama unifilar de un sistema de potencia.....	9
Figura 3. Transformador de potencia.	11
Figura 4. Líneas de Transmisión en SNI ecuatoriano.	12
Figura 5. Topología en un SEP.	13
Figura 6. Esquema geográfico del Sistema Nacional de Transmisión - Año 2018.....	21
Figura 7. Composición y longitud en km de líneas de transmisión del SNT.....	23
Figura 8. Ejemplo de “Inclusión de Paquetes” expresado de dos formas.	33
Figura 9. Relaciones entre paquetes, ejemplo.	34
Figura 10. Paquetes CIM establecidos por el WG13 en su Estándar IEC 61970-301	35
Figura 11. Modelo de conectividad entre Equipos de Conducción.	40
Figura 12. Circuito simple de ejemplo de conectividad.....	41
Figura 13. Asociaciones directas en componentes de circuito ejemplo.....	41
Figura 14. Nodo de conectividad que une 3 equipos.	42
Figura 15. Diagrama de clases de Equipo Conductor y Conectividad.....	42
Figura 16. Ejemplo de circuito con nodo de conectividad y terminales.	43
Figura 17. Ejemplo de circuito de conectividad con terminal de interruptor adicional.	44
Figura 18. Ejemplo de circuito como diagrama unifilar.	45
Figura 19. Ejemplo de circuito con asignaciones parciales de clases CIM.	46
Figura 20. Diagrama de clases de un Transformador de Potencia.....	47
Figura 21. Asignaciones CIM para Transformador 17-33	48
Figura 22. Representación CIM completa de circuito de ejemplo.....	49
Figura 23. Ejemplo de Generalización	51
Figura 24. Ejemplo de Asociación Simple.....	52
Figura 25. Ejemplo de Agregación	52

Figura 26. Jerarquía en los lenguajes de marca.....	54
Figura 27. Partes de un documento XML.	56
Figura 28. Paquetes relevantes del Estándar IEC-61970 y sus dependencias lógicas.	60
Figura 29. Tipos de datos básicos en una clase.....	62
Figura 30. Tipos de datos y unidades eléctricas.....	63
Figura 31. Clases para aplicación del CIM al modelar sistemas de transmisión y generación.	68
Figura 32. Diagrama lógico principal de la clase Topology.	81
Figura 33. Diagrama de Herencia de las clases definidas en el paquete Wires.	83
Figura 34. Diagrama lógico del modelo de líneas de transmisión.	84
Figura 35. Diagrama lógico de clases de regulación de equipos y compensación de potencia reactiva.	88
Figura 36. Diagrama lógico de clases relacionadas con el modelo de transformadores.....	97
Figura 37. Diagrama lógico del Package Generation.....	105
Figura 38. Clases y asociaciones de GenerationDynamics.	105
Figura 39. Diagrama lógico principal de la clase GeneratingUnit.....	109
Figura 40. Diagrama de clases incluidas en el Paquete LoadModel.....	117
Figura 41. Sección Línea 500 kV Diagrama Unifilar SIN.....	118
Figura 42. Interconexión del SNI con Perú.....	119
Figura 43. Abrir un proyecto en software NetBeans IDE v8.2.....	120
Figura 44. Interfaz de aplicativo CIMPlanner v27-05-2019.....	120
Figura 45. Resultado final de validación de modelación CIM XML de SNI del Ecuador. ..	121
Figura 46. Modelación CIM XML de SNI en software Altova XMLSpy v2018.....	122
Figura 47. Redacción XML para un transformador con unidad de generación térmica.	123
Figura 48. Códigos en formato CIM XML empleados en la modelación del SNI.	124
Figura 49. XML con aspectos generales en la modelación del SIN	125
Figura 50. Unidad de Generación de tipo Hidráulica.	125

Figura 51. Estructura CIM/XML para Unidad de Generación de tipo Hidráulica.....	126
Figura 52. Clases para modelar una unidad de generación de tipo hidráulica	126
Figura 53. XML para conexiones de unidad de Generación con otros componentes.....	127
Figura 54. Barra de 138 kV en subestación CHILIBULO.....	127
Figura 55. Estructura CIM/XML para modelar una Barra.....	128
Figura 56. Transformador de Potencia en subestación PERDERNALES.	128
Figura 57. Estructura CIM/XML para modelar un Transformador.	129
Figura 58. Estructura CIM/XML para modelar interruptores en un Transformador.	130
Figura 59. Líneas de interconexión 189-190 en SNI con nivel de tensión de 138 kV.....	130
Figura 60. Estructura CIM/XML para modelar una Línea.	131
Figura 61. Carga en subestación POMASQUI con nivel de tensión de 23 kV.....	131
Figura 62. Estructura CIM/XML para modelar una Carga.	132
Figura 63. Compensador de Derivación en anillo de transmisión de 500 kV.....	132
Figura 64. Estructura CIM/XML para modelar un Compensador de Derivación.....	133
Figura 65. Validación al modelo CIM/XML del SNI del Ecuador en aplicativo CIMPlanner.	134
Figura 66. Flujograma de cumplimiento de objetivos.	136

Índice de Anexos

Anexo 1. Centrales de generación existentes ordenadas de mayor a menor potencia efectiva... 144	
Anexo 2. Modelación en formato CIM/XML de Sistema Nacional Interconectado - Configuración Abril 2020. 145	
Anexo 3. Códigos CIM/XML para componentes en Sistema Eléctrico de Potencia..... 145	
Anexo 4. Diagrama unifilar de Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador – Configuración abril de 2020..... 145	
Anexo 5. Estructura CIM/XML para un Transformador de tipo TÉRMICO. 146	
Anexo 6. Estructura CIM/XML para un Transformador de tipo EÓLICO. 147	
Anexo 7. Certificación de traducción del Abstract. 148	

Glosario

SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
SNT	Sistema Nacional de Transmisión
SNI	Sistema Nacional Interconectado
INECEL	Instituto Ecuatoriano de Electrificación
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
MERNNR	Ministerio de Energía y Recursos naturales No Renovables
SF6	Interruptores en Hexafluoruro de Azufre
IEC– siglas al inglés	Comisión Electrotécnica Internacional
CIM – siglas al inglés	Modelo de Información Común
ISO – siglas al inglés	Organización Internacional de Normalización
TC57 – siglas al inglés	Comité Técnico 57
WG13 – siglas al inglés	Grupo de Trabajo 13
EMS – siglas al inglés	Sistema de Gestión de Energía
GID – siglas al inglés	Definición de interfaz genérica
EPRI – siglas al inglés	Instituto de Investigación de Energía Eléctrica
XML – siglas al inglés	Lenguaje de Marcas Extensible
UML – siglas al inglés	Lenguaje Unificado de Modelado
PET	Plan de Expansión de Transmisión
SGML – siglas al inglés	Lenguaje de Mercado Generalizado Estándar
W3C	El Consorcio World Wide Web
RMS	Valor eficaz al valor cuadrático medio de una magnitud eléctrica.

1. Título

Estudio del estándar IEC – 61970 para su aplicación en la Modelación Común de la Información de Sistemas Eléctricos de Potencia.

2. Resumen

En el presente trabajo de titulación se estudia el estándar IEC 61970-301 para su aplicación en la Modelación Común de la Información (CIM) de Sistemas Eléctricos de Potencia, logrando su comprensión por medio de la sistematización de sus fundamentos teóricos primordiales y complementándolo con los del lenguaje de marcas extensible (XML), los cuales conjuntamente contribuyen a la interoperabilidad entre empresas y aplicaciones de software para el intercambio fluido de la información.

Para el análisis y comprensión de los contenidos del Estándar IEC 61970-301 se sistematizó aquellos que exclusivamente en una empresa de servicios eléctricos permiten modelar o representar componentes y aspectos operativos de un determinado sistema, este modelo incluye todas clases y atributos para estos componentes, así como las relaciones entre ellos. Además, se complementó el análisis del Estándar a través de los fundamentos del metalenguaje XML, en el cual el dominio de su sintaxis es primordial.

Este estándar debe entenderse como una herramienta para permitir la integración en cualquier dominio donde se necesite un modelo de sistema de energía común para facilitar la interoperabilidad y la compatibilidad entre aplicaciones y sistemas independientemente de cualquier implementación particular.

Finalmente se fundamentó los conocimientos adquiridos durante el análisis bibliográfico por medio de la modelación en formato CIM/XML del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, para lo cual debido a los continos cambios por lo que atraviesa este Sistema de Gestión de Energía, se procuró trabajar en base a su diagrama unifilar en su versión más reciente establecida por el “CENACE”, obteniéndose la Configuración abril de 2020 como resultado de dicha búsqueda.

Como principal resultado del presente trabajo de titulación, se logró modelar por primera vez en base al Estándar IEC 61970-301 el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, siendo una importante contribución para el futuro del sector energético del País. El modelo CIM/XML del SNI ecuatoriano resultante ha sido validado en su sintaxis haciendo uso de herramientas avanzadas con compatibilidad con el Estándar IEC 61970-301.

Palabras clave: Estándar IEC 61970, lenguaje XML, interoperabilidad, sistema eléctrico de potencia.

2.1. Abstract

The present project terms are about the study of the IEC 61970-301 standard, in its application for the Common Information Modeling (CIM) of the Electrical Power Systems. For its understanding was necessarily the systematization of the theory parts, and as a complement, the use of the (XML) or Extensible Markup Language. These two, help so much on internal enterprises operativity and software applications for a better flowing information sharing.

For the analyzing and understanding of the IEC 61970-301, It was necessary to synthesize just the theory about the components which are available for representing the operative aspects of a specific system in an enterprise. This model implicates all the characteristics for these components, as well as the relations between them. Additionally, the standard analysis was completed through the fundamentals of the XML meta-language, in which, its syntax domain was overriding.

This standard must be understood like a tool that allows the joining in whatever domain where a power system model is needed. In this way, it helps to ease the inter-operativity and the compatibility between applications and systems, no matter whatever particular implementation done before.

As final thing, with the help of the modeling in CIM/XML of the "Sistema Nacional Interconectado del Ecuador", it was possible to base all the knowledge acquired during the bibliographic analysis. On the other hand, and due to the regular changes on the "Sistema de Gestión de Energía", it was necessary to use its single line diagram, established by the "CENACE"; specifically, the abril-2020 configuration.

As main result of this degree project, was the modeling in base of the IEC 61970-301 standard of the "Sistema Nacional Interconectado del Ecuador", being a great contribution for the future of the electrical power generation sector of the country. Having that the resultant model CIM/XML from the Ecuadorian SNI ("Sistema Nacional Interconectado"), it's been validated using ultimate tools with compatibility with the IEC 61970-301 standard.

Keywords: IEC 61970 standard, XML language, interoperability, electric power system

3. Introducción

Al ser el crecimiento de la demanda de energía eléctrica una problemática a nivel mundial, han surgido diversas iniciativas sobre el desarrollo de las denominadas Redes Inteligentes (SmartGrids) que permitirían mejorar la eficiencia de las redes actuales. El Customer Information System (CIS) es uno de los múltiples procesos que han sido heredados dentro de este nuevo modelo, dicho proceso permite establecer una relación entre una Empresa Distribuidora y el usuario, por lo que deberá soportar la solicitudes y exigencias del nuevo modelo de red inteligente facilitando su integración con el resto de sistemas empresariales.

Las redes inteligentes poseen diversas ventajas entre las cuales se puede mencionar que brindan una mayor eficiencia en la gestión de un sistema eléctrico, contribuye a que las pérdidas de energía se minimicen, permite la integración de energía alternativas como las renovables favoreciendo de esta manera también a la conservación del medio ambiente.

En la actualidad en los países en donde no se realiza una adecuada administración de la energía, existe la preocupación por la sostenibilidad de los sistemas eléctricos, por tanto, con el fin de gestionar este problema, algunos países han optado por la creación de proyectos o programas de solución. En nuestro país por medio del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), en el año 2009 se crea el programa denominado Sistema Integrado para la Gestión de la Distribución Eléctrica (SIGDE) con el objetivo de implementar un modelo de gestión que privilegie la homologación de procesos, procedimientos, estructuras y tecnologías, aprovechando las mejores prácticas de cada una de las Empresas Distribuidoras.

Si bien algunas empresas todavía no disponen de sistemas o aplicaciones para la gestión del sistema de transmisión, aquellas empresas en las cuales ya se encuentran actualmente implementados estos sistemas poseen datos que además de ser intercambiados dentro de las mismas aplicaciones de la empresa, a menudo hay una necesidad de hacerlo con otras externas. El gran número de formatos propietarios utilizados por estas aplicaciones requiere un gran número de adaptadores que conviertan los formatos de datos de aplicaciones legadas para importar y exportar datos entre múltiples sistemas. Este crecimiento exponencial de la complejidad en la integración de un número creciente de aplicaciones y el intercambio de información entre múltiples empresas ha llevado a la exigencia de un formato común que abarque todos los ámbitos de intercambio de datos en el campo de la energía eléctrica.

De aquí nace la idea del presente proyecto, buscando una solución a la carencia de interoperabilidad entre empresas y aplicaciones de software para el intercambio fluido de

información existente de Sistemas Eléctricos de Potencia, debido a la diversidad de formatos adoptados por dichas empresas y fabricantes de software de gestión de energía eléctrica.

La presente investigación propone establecer de manera didáctica, los fundamentos de modelación común de información de sistemas eléctricos de potencia, utilizando el estándar IEC 61970, a fin de mejorar la gestión de la operación de la energía eléctrica del Ecuador en donde el operador nacional de electricidad, CENACE, tiene la responsabilidad primordial.

El CIM (Common Model Information), desde los primeros años de su surgimiento con los proyectos patrocinados por el EPRI (Electric Power Research Institute) ha intentado formar un conjunto de programación de interfaces comunes de aplicaciones que permitiría intercambiar información simultáneamente sin necesidad de que exista entre ellas una tecnología específica, para ello en el año de 1996 para consolidar esta necesidad y por medio de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), a través del comité técnico 57 (TC 57) adopto dicho modelo de información común CIM y lo libero mediante las normas IEC 61970 e IEC 61868, las mismas que describen las relaciones y componentes de un sistema eléctrico de potencia: Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización.

La norma IEC 61970 exclusivamente en su apartado 301 especifica un modelo semántico que se centra en describir los componentes de un sistema de energía a nivel eléctrico y las relaciones entre cada componente.

Para el desarrollo de los objetivos del proyecto se ha seguido una metodología la cual se describe en capítulos posteriores del presente documento. La revisión literaria comienza con un breve resumen de los conceptos más fundamentales para la comprensión de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) y con ello específicamente el SNI (Sistema Nacional Interconectado) del Ecuador. Después se presenta una revisión de conceptos importantes del Estándar IEC 61970-301 para finalmente centrarse en la revisión literaria sobre los fundamentos del Modelo de Información Común y todos los aspectos necesarios para poder modelar un SEP en formato CIM XML,

Los resultados que se obtuvieron en la investigación son: sistematización de fundamentos teóricos del Estándar IEC 61970-301, fundamentos del Lenguaje de Marcas Extensible XML (Extensible Markup Language) y archivo de modelo en formato CIM XML de SNI del Ecuador.

Los objetivos planteados para este trabajo de titulación son los que se describen a continuación:

3.1. Objetivos

3.1.1. Objetivo General

Establecer los fundamentos técnicos, tecnológicos y metodológicos para la modelación común de la información de sistemas eléctricos de potencia utilizando el Estándar IEC-61970.

3.1.2. Objetivos Específicos

- Sistematizar los fundamentos teóricos del estándar IEC-61970 para su aplicación en la modelación común de la información de sistemas eléctricos de potencia.
- Presentar los fundamentos del lenguaje de marcas extensible (XML) para su utilización en el intercambio de la información de sistemas eléctricos de potencia utilizando el estándar IEC-61970.
- Desarrollar la modelación de un sistema eléctrico de potencia en el formato CIM/XML de acuerdo al estándar IEC-61970.

4. Marco Teórico

4.1. CAPÍTULO 1. Introducción a los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP)

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), se puede definir como el conjunto de centrales generadoras, de líneas de transmisión interconectadas entre sí y de sistemas de distribución esenciales para el consumo de energía eléctrica. (Montes de Oca, 2014)

Lo SEP siempre han contribuido en el continuo progreso y bienestar de la sociedad, cuyo objetivo principal es el entregar al usuario final un producto de calidad con características de seguridad y economía, que en este caso es la energía eléctrica que además se deberá entregar en el mismo instante que el usuario lo demande.

4.1.1. Estructura de un SEP

Un SEP para poder satisfacer la demanda de energía ya sea de un hogar o de una industria es necesario que siga por un proceso, que a su vez permite transportarla a través de largas distancias, se puede transformar en otros tipos de energía y así el usuario pueda consumirla de manera considerablemente limpia. Los SEP también acoplan equipos que permiten una continuidad del servicio, regulación de voltaje y frecuencia de acuerdo a los requerimientos del usuario. En la **Figura 1** se puede apreciar un ejemplo de los componentes de un SEP.

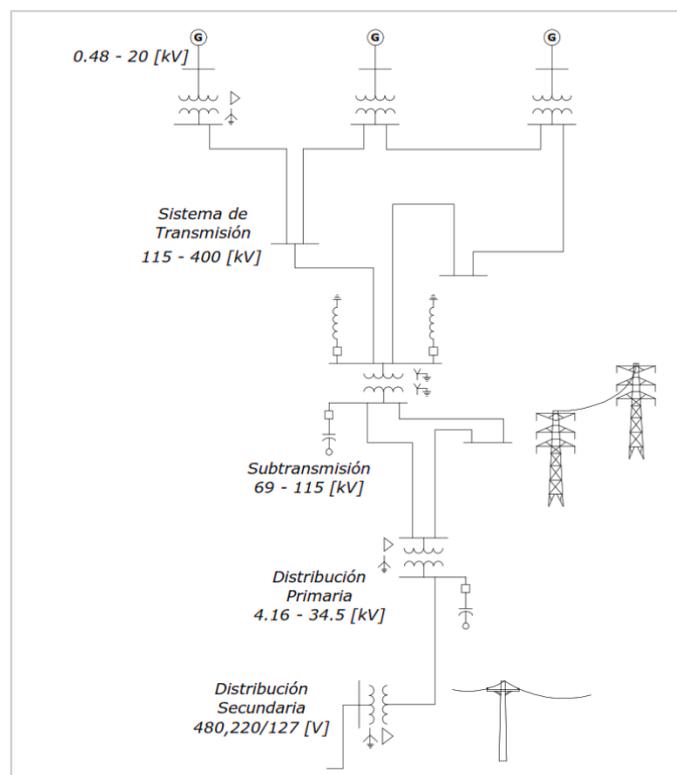


Figura 1. Esquema de un Sistema Eléctrico de Potencia.
Fuente. (Cuevas Bravo, 2011)

Este proceso o esquema de composición de un SEP se da desde la generación, transporte y distribución hasta llegar a los consumidores de la energía eléctrica. Estos procesos se describen a continuación:

4.1.1.1. Generación

El subsistema de generación eléctrica, es la base fundamental del SEP o sistema de suministro eléctrico, ya que en esta etapa se procede a aprovechar la energía de fuentes primarias y por distintos métodos se la transforma en energía eléctrica (Nolivos, 2015). Este primer proceso se produce en las denominadas centrales eléctricas en donde se produce la energía a una media tensión de entre 6 y 20 kV, la cual no es suficiente para poder llevarla a las líneas de transmisión, por lo que por medio de transformadores de salida se la eleva hasta valores que permitan trasportarla grandes distancias. La frecuencia del sistema de corriente alterna que se genera en las centrales es fija y está normalizada a 50 Hz en Europa y 60 Hz en América.

4.1.1.2. Transmisión

Uno de los grandes problemas de la electricidad es que no puede almacenarse, sino que debe ser transmitida y utilizada en el momento mismo que se genera. En este proceso de transmisión es donde la energía eléctrica se la traslada hacia las subestaciones y por medio de los Sistemas de Distribución a su vez de manera casi instantánea llega hasta los lugares de consumo.

El valor de tensión a las que operarán las líneas de transmisión, depende de la distancia a la que se transmitirá la energía eléctrica y la impedancia de los conductores empleados, siempre procurando que esta energía llegue hasta los usuarios finales con valores de tensión en la medida de lo posible constantes. Las líneas de Transmisión permiten transportar elevados niveles de tensión de energía eléctrica y se utilizan en distancias tan grandes como 200 km. (Montes de Oca, 2014)

4.1.1.3. Distribución

Luego de la generación y transmisión, la energía eléctrica llega hasta las subestaciones en donde están los transformadores que permiten cambiar los niveles de alta tensión de las redes de transmisión a niveles de media tensión para que por medio de las líneas de distribución, los elementos de mando y de protección, que sirven para manipular y proteger la red (interruptores, seccionadores, fusibles, pararrayos, etc.), y los elementos de medida, que a su vez permiten conocer en todo momento la situación del sistema y los valores de las variables más

importantes, dicha energía sea distribuida hasta los usuarios finales con niveles de tensión normalizados y en las condiciones de seguridad exigidas por los reglamentos. (Adenda, 2013)

4.1.2. Representación de un SEP

El estudio de grandes sistemas eléctricos de potencia, obliga a una representación fiel de sus características y elementos, pudiendo distinguirse principalmente dos tipos de representación; la individual de cada componente, destinado al análisis de operación en forma aislada, y la más compleja, la integración de todos los elementos para realizar la simulación del comportamiento del sistema en forma global, lo que permitirá estudiar en condiciones normales o anormales al SEP.

La forma y composición de la representación del SEP va a depender en forma directa del análisis que se pretenda llevar a cabo; de ahí, que sea posible elaborar dos tipos de diagramas, uno en el cual se realice una representación general del sistema, pero informativa (Diagrama unifilar), y otra exhaustiva y particular a cada uno de los elementos que conforma el sistema de potencia con sus valores (Diagrama de Impedancia). (Oseguera Zúñiga et al., 2015)

4.1.2.1. Diagrama Unifilar

Un sistema trifásico balanceado por lo general siempre se resuelve como un circuito equivalente monofásico, o por fase, compuesto de una de las tres líneas y un neutro de retorno, pero son pocas las ocasiones en que es necesario mostrar más de una fase y el neutro de retorno cuando se dibuja un diagrama del circuito.

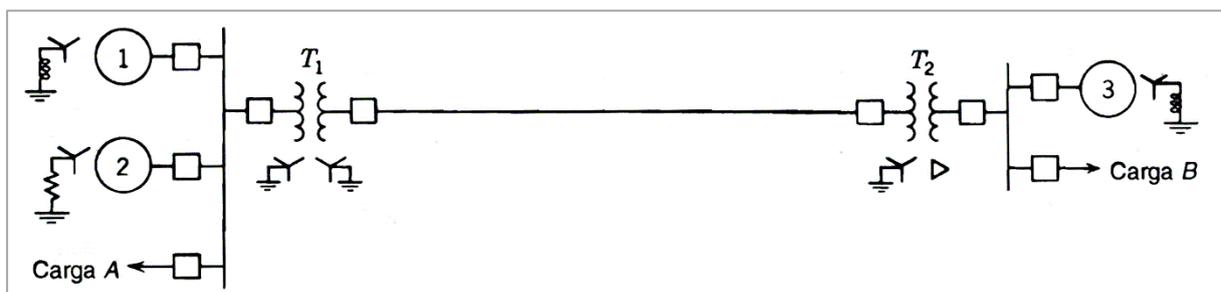


Figura 2. Diagrama unifilar de un sistema de potencia.

Fuente. (Grainger & Stevenson Jr., 1996)

EL propósito de un diagrama unifilar es el de suministrar en forma concisa información significativa acerca de un SEP. Los símbolos eléctricos empleados en los diagramas unifilares, se encuentran normalizados, de manera que se permita una representación fiel en cualquier momento. (Grainger & Stevenson Jr., 1996)

4.1.3. Terminología básica en un SEP

Es muy importante conocer la definición de los componentes primordiales que forman parte de un SEP, ya que estos hacen que la energía llegue a los usuarios de manera inmediata con calidad, seguridad y sobre todo económica, los mismo se describen a continuación:

4.1.3.1. Terminología General

Aisladores. - Conjunto de piezas de material aislante, como vidrio o porcelana, que se utiliza como soporte de un conductor eléctrico y permiten mantener las distancias de seguridad entre los conductores y la estructura de la línea de transmisión.

Amperio (A). - Unidad de medida en el sistema internacional de la intensidad de la corriente eléctrica, cuya representación es la letra “A”.

Anillo de Transmisión. - Es una descripción utilizada para definir el conjunto de líneas de transmisión que inician y finalizan en el mismo punto del sistema.

Conductores / Cables. - Son elementos que transmiten o llevan el fluido eléctrico y forman parte de las líneas de transmisión o subtransmisión.

Kilovoltio (kV). - Unidad de medida de voltaje que corresponde a mil voltios (1000 V).

Mega Voltamperios (MVA). - Unidad de medida de la potencia aparente en el Sistema Internacional de unidades, que corresponde a un mega Voltamperios. (VA). Se utiliza para definir la capacidad de los transformadores de potencia.

Sistema Nacional Interconectado (SNI). - Es el sistema integrado por los elementos del Sistema Nacional de Transmisión y las instalaciones eléctricas asociadas a las empresas de generación y distribución de energía eléctrica. El SNI permite la producción y transferencia de energía eléctrica entre centros de generación y centros de consumo.

Voltio(V). - Unidad de medida en el sistema internacional del voltaje (tensión eléctrica), se representa por la letra V. (CELEC EP, 2010)

4.1.3.2. Terminología sobre subestaciones

Subestación Eléctrica. - Es un conjunto de elementos, equipos e instalaciones que intervienen en el proceso de transformación de energía eléctrica, de tal manera que permiten el suministro de energía a las empresas de distribución o la evacuación de la energía producida por las centrales de generación.

Estas pueden ser de elevación, cuando mediante un transformador de potencia se incrementa el nivel de voltaje, por ejemplo de 13.8 kV a 69 kV o subestación de reducción cuando el nivel de voltaje disminuye como por ejemplo de 230 kV a 138 kV.

Bahías. - Una bahía es un elemento de una subestación, conformada por equipos de maniobra: (interruptores, seccionadores) y equipos de protección, control, y medición.

Barra. - Una barra es un elemento de una subestación, en la que se recibe o desde la cual se distribuye la energía eléctrica; pueden ser de varios niveles de voltaje: 230 kV, 138 kV, 69 kV, 46 kV o 34.5 kV.

Capacitor. - Es un dispositivo eléctrico que sirve para almacenar electricidad o energía eléctrica en un punto determinado de un sistema eléctrico, a fin de modificar los perfiles de voltaje en dicho punto.

Banco de Capacitores. - Es un conjunto de dos o más capacitores interconectados entre sí, cuya función es mejorar la calidad de la energía eléctrica, incrementando los perfiles de voltaje en su punto de conexión.

Equipo de interrupción. - Dispositivos (interruptores, seccionadores, etc.) que sirven para cerrar o abrir los elementos del Sistema Nacional de Transmisión como líneas de transmisión, transformadores de potencia, etc.

Transformadores. - Son equipos que permiten modificar las características de voltaje y corriente en un punto del sistema, a fin de adecuarlas a las necesidades de transmisión y distribución de la energía eléctrica, para reducir o incrementar los niveles de voltaje.



Figura 3. Transformador de potencia.
Fuente. (CELEC EP, 2010)

Su capacidad depende de los requerimientos de demanda o generación del sistema. (Ejemplo: transformador de elevación de 13.8/138 kV de 125 MVA de capacidad ó transformador de reducción de 138/69 kV de 150 MVA de capacidad).

Banco de transformadores. - Es un conjunto de tres transformadores monofásicos. (CELEC EP, 2010)

4.1.3.3. Terminología sobre Líneas de Transmisión

Línea de Transmisión. - Es un elemento que forma parte del Sistema Nacional de Transmisión, opera a un voltaje superior a 90 kV, permite transmitir o transportar energía eléctrica de un punto a otro. La línea de transmisión es un enlace físico entre dos subestaciones y está formado por un conjunto de estructuras metálicas, conductores, aisladores y accesorios.



Figura 4. Líneas de Transmisión en SNI ecuatoriano.
Fuente. (CELEC EP, 2010)

Simple Circuito. - Es una línea de transmisión formada por tres conductores, los cuales se apoyan en las estructuras que forman parte de la línea de transmisión.

Doble Circuito. - Es una línea de transmisión conformada por tres conductores, en cada lado, es decir, cuenta con seis conductores en total, los cuales se apoyan en las estructuras que forman parte de la línea de transmisión.

Línea de subtransmisión. - Son líneas que no pertenece al Sistema Nacional de Transmisión (SNT), generalmente son de propiedad de las empresas de distribución, operan a un voltaje comprendido entre 46 kV y 69 kV, permite transportar energía desde una subestación del SNT a una subestación de distribución. (CELEC EP, 2010)

4.1.4. Topología de un SEP

Considerando la confiabilidad en la distribución de electricidad de un SEP, este puede tener tres tipos de topología, estas se muestran en la **Figura 5**:

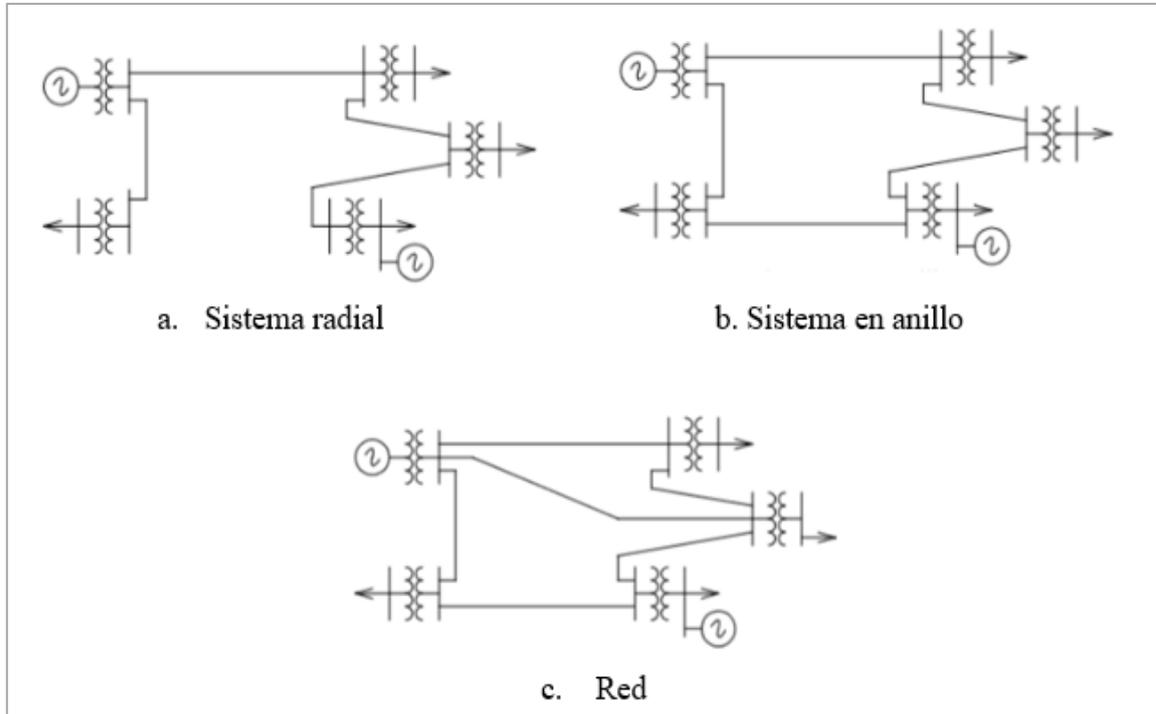


Figura 5. Topología en un SEP.
Fuente. (Pañora Reyna & Pérez Moreno, 2019)

- a. **Sistema radial.** – Su característica principal es su economía, pero menos confiable; ya que las cargas tienen una sola alimentación, de manera que una falla en la alimentación produce una interrupción en el suministro.
- b. **Sistema en anillo.** – Tiene un costo mayor pero muestra mayor confiabilidad. Las cargas tienen una doble alimentación, si una de las 2 es afectada, la alimentación de la carga no se ve interrumpida.
- c. **Red.** – Mayor costo y confiabilidad. El sistema consta de más interconexiones, lo que hace que las cargas siempre cuenten con alimentación. (Pañora Reyna & Pérez Moreno, 2019)

4.1.5. Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano (SNI)

4.1.5.1. Antecedentes de la Generación Eléctrica en el Ecuador

Los primeros registros o experiencias en el uso de energía eléctrica se dan en el año 1882 en Chile cuando se crea la primera compañía de iluminación dentro de este país, luego en el año de 1886, Lima es quien inaugura el alumbrado público.

En el Ecuador en el año de 1890 el Congreso Nacional expidió el primer decreto en lo relativo al Alumbrado Público enviado al presidente Antonio Flores y el 10 de agosto de 1914 se dio el memorable encendido de Luz Eléctrica en la ciudad de Cuenca.

Los responsables por el servicio eléctrico desde el año 1940 en el territorio ecuatoriano hasta 1961 era los Municipios hasta cuando se produjo la creación del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL).

La expansión de la generación, transmisión y distribución dependen principalmente de la proyección del consumo de energía eléctrica; sin embargo, en nuestro país el sector eléctrico no contó con una planificación sino hasta 1966 en donde se creó el Instituto Ecuatoriano de Electricidad, INECEL, quien publicó el primer Plan Nacional de Electrificación, siendo aquí en donde se construyeron obras como la central Hidroeléctrica Paute, Agoyan, Pisayambo y las termoeléctricas de Esmeraldas, Trinitaria, Guangopolo, etc. Además, paralelamente se construía también el sistema de transmisión. (Robles, 2010)

En 1979 se empieza el uso de modelos matemáticos computacionales que permitían resolver los problemas de planificación. Con los resultados de estos modelos se elaboró el Plan Maestro de Electrificación de 1983. (CONELEC, 2013)

4.1.5.2. Infraestructura existente

El parque generador disponible para producción de electricidad en el Ecuador, al mes de diciembre de 2018, consta de 317 centrales eléctricas con una potencia total efectiva de 8.183 MW, tal como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de centrales y potencia efectiva del Ecuador.

Sistema	Núm. de centrales	Potencia efectiva (MW)
Sistemas Nacional Interconectado (SNI)	133	7.177
Sistemas No Incorporados	184	1.006
TOTAL	317	8.183

Fuente. (CONELEC, 2018)

Los Sistemas No Incorporados incluyen todos aquellos sistemas que nos están conectados al Sistema Nacional Interconectado; y que generalmente sirven para proveer energía eléctrica a sitios de difícil acceso o para facilidades petroleras o mineras; un caso particular es el sistema eléctrico de las Islas Galápagos que, por estar separado del continente, se lo considera como aislado.

En los siguientes párrafos se detallan aspectos sobre las fuentes de energía renovable y fuentes no renovables. En el [Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#) se detallan las centrales de generación existentes a diciembre de 2018 ordenadas de mayor a menor potencia efectiva.

4.1.5.3. Centrales con fuentes de energía renovable

En el presente apartado se detallan las principales centrales que utilizan fuentes de energía renovable. A diciembre de 2018, la capacidad efectiva en centrales de energía renovable alcanza los valores presentados en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Número de centrales y potencia efectiva con fuentes de energía renovable.

Tipo	Con embalse		Sin embalse		Sub total	
	Número de centrales	Potencia efectiva (MW)	Número de centrales	Potencia efectiva (MW)	Número de centrales	Potencia efectiva (MW)
Hidráulica	5	1.598	66	3.443	71	5.041
Biomasa	N/A	N/A	N/A	N/A	3	136,4
Eólica	N/A	N/A	N/A	N/A	3	21,15
Solar	N/A	N/A	N/A	N/A	34	26,74
Biogas	N/A	N/A	N/A	N/A	2	6,50
Subtotal					113	5.232

Fuente. (CONELEC, 2018)

Las centrales hidroeléctricas, con embalse de regulación, con las que cuenta el Ecuador son:

- Paute – Molino, de 1.100 MW de potencia efectiva, de CELEC EP – Unidad de Negocio Hidropaute (Presa Daniel Palacios, Embalse Amaluza).
- Marcel Laniado de Wind, de 213 MW, CELEC EP – UN Hidronación (Embalse Daule Peripa).

- Mazar, de 170 MW de CELEC EP – UN Hidropaute (Embalse Mazar).
- Pucará, de 70 MW de CELEC EP – UN Hidroagoyán (Embalse Pisayambo).
- Baba (42 MW), de CELEC EP – UN Hidronación (Embalse Baba).

Las principales centrales hidroeléctricas de pasada, son:

- Coca Codo Sinclair, 1.500 MW de potencia nominal, 1.476 MW de potencia efectiva, de CELEC EP – Unidad de Negocio Coca Codo Sinclair (con embalse compensador de regulación intradiaria)
- Sopladora, de 486,90 MW de potencia efectiva, CELEC EP – UN Hidropaute.
- Minas – San Francisco, 274,50 MW, CELEC EP – UN Enerjubones (con embalse de regulación intradiaria)
- San Francisco, de 212 MW, CELEC EP – UN Hidroagoyán.
- Delsitanisagua, 180 MW, CELEC EP – UN Gensur (con embalse de regulación intradiaria).
- Agoyán, 156 MW), de CELEC EP – UN Hidroagoyán (con embalse de regulación intradiaria)
- Manduriacu, 65 MW, CELEC EP – UN Coca Codo Sinclair (con embalse de regulación intradiaria)
- San Bartolo, 49,95 MW, Hidrosanbartolo.
- Due, 49,71 MW, Hidroalto
- Normandía, 49,58 MW, Hidronormandía
- Cumbayá, 40 MW, Empresa Eléctrica Quito S.A.

Las centrales con biomasa (bagazo de caña de azúcar) son: San Carlos, 73,60 MW de potencia efectiva, Empresa San Carlos S.A.; Ecoelectric, 35,20 MW Empresa Ecoelectric S.A.; y, Ecudos A-G, 27,60 MW, Empresa Coazúcar S.A.

Las centrales de generación eólica son: Villonaco, 16,50 MW de potencia efectiva, CELEC EP – Gensur; San Cristóbal, 2,40 MW, Empresa Eléctrica Galápagos; y, Baltra, 2,25 MW, Empresa Eléctrica Galápagos.

Adicionalmente se cuenta con 34 centrales fotovoltaicas con 26,74 MW de potencia efectiva y 2 centrales con biogás que totalizan 6,50 MW de potencia efectiva.

4.1.5.4. Centrales con fuentes de energía no renovable

A diciembre de 2018 se dispone de 204 centrales termoeléctricas en el Ecuador, tal como se detalla a continuación.

Tabla 3. Número de centrales y potencia efectiva con fuentes de energía no renovable.

Tipo	Número de centrales	"Potencia efectiva (MW)"
Motores de combustión interna (MCI)	186	1.753
Turbogás	11	744
Turbovapor	7	454
Subtotal	204	2.951

Fuente. (CONELEC, 2018)

Las principales centrales termoeléctricas con motores de combustión interna (MCI) son: Jaramijó (128,88 MW), Termoguayas (120 MW), EPF-Edén Yuturi (85,51 MW; no pertenece al SNI), Esmeraldas II (84 MW), Quevedo II (81 MW), TPP Andes Petro (65,4 MW), Santa Elena II (65,03 MW); y, Guangopolo II (48 MW).

Las mayores centrales termoeléctricas con turbinas a gas (turbogás) son: Termogás Machala I (130,6 MW), Termogás Machala II (119 MW), Victoria II (102 MW), Aníbal Santos (97 MW), Enrique García (96MW), Álvaro Tinajero (64 MW); y, Santa Rosa (51 MW).

Las principales centrales termoeléctricas con turbinas a vapor (turbovapor) son: Gonzalo Zevallos (140 MW), Trinitaria (133 MW), Esmeraldas I (125 MW), Palo Azul PGE (33,18 MW) y Aníbal Santos (20 MW). En el **Anexo 1** se presenta un listado con todas las centrales de generación eléctrica del Ecuador, ordenadas de mayor a menor potencia efectiva.

4.1.6. Situación actual sobre Generación Eléctrica en Ecuador

La generación de energía eléctrica de manera eficiente es el pilar fundamental para cumplir con el objetivo de suministrar electricidad a todo el Ecuador y abastecer adecuadamente sus necesidades de demanda, cumpliendo con criterios de calidad y seguridad. Esta etapa es base fundamental de un Sistema Eléctrico de Potencia, ya que es aquí en donde por medio de distintos métodos se produce la transformación de un tipo de energía primaria en energía eléctrica.

Dentro del sector eléctrico, se estableció, como una de las prioridades, el aprovechamiento del enorme potencial de fuentes renovables de energía, especialmente de la hidroeléctrica, y la sustitución de energía térmica ineficiente; con base en combustibles fósiles de producción

nacional. En este contexto, en los últimos 10 años progresivamente se reforzó el parque generador del país, pasando de 4.478 MW del 2008 a 8.826,89 MW en el 2018.

4.1.6.1. Potencias Nominal y Efectiva de Centrales de Generación

La **Tabla 4** muestra la capacidad nominal y efectiva de las centrales de generación del SNI y de los sistemas no incorporados a diciembre de 2018. Se observa que la potencia efectiva en el S.N.I. representó el 87,53%, 7.176,82 MW; mientras que los sistemas no incorporados representaron el 12,47%, 1.005,75 MW.

Tabla 4. Potencia nominal y efectiva por sistema.

Sistema	Tipo Central	Potencia Nominal		Potencia Efectiva	
		(MW)	%	(MW)	%
No Incorporado	Eólica	4,65	0,05%	4,65	0,06%
	Hidráulica	6,06	0,07%	5,79	0,07%
	Solar	3,17	0,04%	3,17	0,04%
	Térmica	1302,49	15,01%	992,14	12,31%
Total No Incorporado		1316,37	15,17%	1005,75	12,47%
S.N.I.	Biogás	7,26	0,08%	6,5	0,08%
	Biomasa	144,3	1,66%	136,4	1,69%
	Eólica	16,5	0,19%	16,5	0,20%
	Hidráulica	5065,34	58,38%	5035,14	62,45%
	Solar	24,46	0,28%	23,57	0,29%
	Térmica	2252,65	24,23%	1958,71	22,81%
Total S.N.I.		7510,52	84,83%	7176,82	87,53%
Total General		8826,89	100,00%	8182,58	100,00%

Fuente. (CONELEC, 2018)

El incremento de la capacidad de generación durante el 2018 se debió al ingreso de nuevas centrales de generación eléctrica.

En la **Tabla 5**, se presenta la capacidad de las centrales de generación por tipo de energía; en términos de la potencia efectiva se observa que las fuentes de energía renovable en el país representan el 64 %, 5.231,72 MW y las no renovables el 36%, 2.950,85 MW.

Tabla 5. Potencia nominal y efectiva por tipo de energía.

Sistema	Tipo Central	Potencia Nominal		Potencia Efectiva	
		(MW)	%	(MW)	%
No Renovable	MCI	2.183,83	24,74%	1.753,33	21%
	Turbogás	882,55	10,00%	743,6	9%
	Turbovapor	488,77	5,54%	453,92	6%
Total No Incorporado		3.555,14	40,28%	2.950,85	36%
Renovable	MCI	7,26	0,08%	6,5	0%
	Turbovapor	144,3	1,63%	136,4	2%
	Eólica	21,15	0,24%	21,15	0%
	Embalse	1733,2	19,64%	1754	21%
	Pasada	3338,2	37,82%	3286,93	40%
	Solar	27,63	0,31%	26,74	0%
Total Renovable		5.271,74	59,72%	5.231,72	64%
Total General		8.826,89	100,00%	8.182,58	100%

Fuente. (CONELEC, 2018)

4.1.6.2. Proyectos de generación incorporados

Modificar la matriz energética actual, mediante el aprovechamiento de los recursos renovables existentes, constituye uno de los principales objetivos del sector eléctrico. Las estrategias principales se sustentan en la instalación de centrales de generación hidroeléctrica, eólica, fotovoltaica y centrales eficientes de generación termoeléctrica.

En la **Tabla 6** se resumen los 15 proyectos que iniciaron su operación durante el 2017 y 2018, la potencia nominal incorporada al sistema es de 707,69 MW, de los cuales 185,52 MW corresponden a inversión privada, 510,67 MW a inversión pública y 11,50 a inversión mixta.

Tabla 6. Centrales de generación eléctrica incorporadas entre 2017 y 2018.

Central	Empresa/ Institución	Pública o privada	Tipo	Potencia nominal [MW]	Potencia efectiva [MW]	Año de ingreso
Minas - San Francisco	CELEC EP - Enerjubones	Pública	Hidroeléctrico	275,00	274,50	2018
Delsitanisagua	CELEC EP - Gensur	Pública	Hidroeléctrico	180,00	180,00	2018
6 centrales térmicas (endiferentes sitios)	Petro Amazonas	Pública	Térmica	46,66	26,02	2017 y 2018
Due	Hidroalto	Privada	Hidroeléctrico	49,71	49,71	2017
Normandía	Hidro Normandía S.A.	Privada	Hidroeléctrico	49,58	49,58	2018
Pusuno	ElitEnergy	Privada	Hidroeléctrico	38,25	38,25	2018
Topo	Ecuagesa	Privada	Hidroeléctrico	29,20	27,00	2017
Sigchos	Hidrosigchos	Privada	Hidroeléctrico	18,60	18,39	2017
Palmira Nanegal	Ipnegal	Mixta	Hidroeléctrico	10,44	10,36	2018
Mazar-Dudas: Alazán	CELEC EP - Hidrozogues	Pública	Hidroeléctrico	6,23	6,23	2017
Isabela	E.E. Galápagos	Pública	Térmica (dual)	1,63	1,63	2018
Pichacay	EMAC-GBP	Mixta	Biogás	1,06	1,00	2017
Isabela Solar	E.E. Galápagos	Pública	Fotovoltaica	0,95	0,95	2018
Paneles Pastaza	E.E. Ambato	Pública	Fotovoltaica	0,20	0,20	2018
Estación Mira	Orion	Privada	MCI	0,18	0,17	2018
TOTAL				708	684	

Fuente. (CONELEC, 2018)

4.1.7. Situación Actual del Sistema de Transmisión Eléctrica Nacional

4.1.7.1. Topología actual del Sistema Nacional de Transmisión

A diciembre del año 2018 y de hecho hasta la actualidad, el Sistema Nacional de Transmisión consta con una topología geográfica conformada por: líneas de transmisión de 500, 230 y 138 kV, subestaciones de elevación, reducción y seccionamiento; y, de líneas de interconexión con Colombia y Perú, como se muestra en la **Figura 6**.



Figura 6. Esquema geográfico del Sistema Nacional de Transmisión - Año 2018.
Fuente. (CONELEC, 2018)

4.1.7.2. Líneas de Transmisión

La entrada en operación de varios proyectos hidroeléctricos, ha modificado de forma importante la topología del sistema de transmisión, donde además del anillo troncal de 230 kV conformado por líneas que interconectan las subestaciones: Molino - Zhoray - Milagro – Dos Cerritos – Pascuales - Quevedo - Santo Domingo - Santa Rosa - Totoras - Riobamba, se ha formado en las zonas de Guayaquil y Quito otros anillos, reforzando de esta manera la confiabilidad y la seguridad operativa del SNI

El Sistema Nacional de Transmisión, cuenta actualmente con líneas de transmisión que operan en niveles de voltaje: 500, 230 y 138 kV.

Tabla 7. Resumen de líneas de transmisión del SNT.

DESCRIPCIÓN	Líneas a 500 kV (km)	Líneas a 230 kV (km)	Líneas a 238 kV (km)
Simple circuito	613,3	1588,64	1496,76
Doble circuito	-	1426,89	692,53
Total	460,8	3.015,53	2.189,29

Fuente. (CONELEC, 2018)

Las líneas y subestaciones que constituyen el anillo de 230 kV y las líneas que operan a 500 kV, conforman el sistema troncal de transmisión.

A nivel de 138 kV, las líneas de transmisión sirven para vincular el sistema troncal de transmisión con las centrales de generación y con los centros de distribución.

4.1.7.3. Interconexiones con Colombia y Perú

Como parte de las instalaciones en operación del SNT existen, además, a nivel de 230 kV, algunas líneas de interconexión internacionales:

- **Con Colombia:** dos líneas de transmisión doble circuito de 272.63 km de longitud total, que interconectan las subestaciones Pomasqui en el lado ecuatoriano con Jamondino en el lado colombiano, con una capacidad de hasta 525 MW.
- **Con Perú:** una línea de transmisión de 53,19 km de longitud total, que interconecta a las subestaciones Machala en el Ecuador con Zorritos en el lado peruano, con una capacidad de hasta 110 MW.

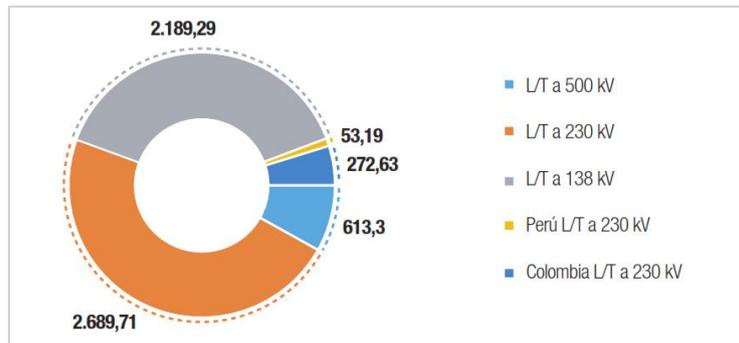


Figura 7. Composición y longitud en km de líneas de transmisión del SNT.
Fuente. (CONELEC, 2018)

4.1.7.4. Subestaciones

El sistema de transmisión está conformado por 51 subestaciones fijas y 4 subestaciones móviles. Considerando las características del equipamiento de transformación instalado, éstas pueden clasificarse de la manera siguiente:

- 3 subestaciones con patios de 500 y 230 kV
- 2 subestaciones con patios de 230 kV únicamente
- 7 subestaciones con patios de 230, 138 y 69 kV
- 5 subestaciones con patios de 230 y 138 kV
- 5 subestaciones con patios de 230 y 69 kV
- 2 subestaciones con patios de 138 kV únicamente
- 23 subestaciones con patios 138 y 69 kV
- 4 subestaciones con patios 138 kV y 22 o 13,8 kV.
- Tres subestaciones móviles de 138/69 kV y una de 230/69 kV, mismas que permiten de manera temporal el suministro del servicio a empresas eléctricas de distribución.

Los patios de maniobras de subestaciones de 500 y 230 kV disponen de un sistema de doble barra principal, lo que permite tener en la operación una alta confiabilidad y capacidad de maniobra. A niveles de voltaje de 138 y 69 kV, de manera general, el equipo de maniobra en subestaciones se conecta a un sistema de barras principal transferencia, que permite realizar mantenimientos en bahías sin necesidad de hacer suspensiones del servicio.

Existen 160 transformadores instalados en las subestaciones, con una capacidad máxima de 15.352,63 MVA, cuya distribución se muestra en la **Tabla 8**:

Tabla 8. Resumen de transformadores en el SNT.

Relación de Transformación (kV)	Trifásicos (#)	Monofásicos (#)
500/ 230		7
230 / 138	46	7
230 / 69	17	6
138 / 69	38	35
138 / 34.5		1
138 / 22		1
138 / 13,8		2

Fuente. (CONELEC, 2018)

Los equipos de maniobras en subestaciones, de manera general, tienen aislamiento tipo convencional; y, en pocos casos, se tienen subestaciones compactas con aislamiento en SF6.

Las tablas siguientes muestran la capacidad de los transformadores por nivel de voltaje de las subestaciones del SNT.

Tabla 9. Capacidad de los transformadores en subestaciones de 500 kV del SNT.

Subestación	Relación de Transformación	Transformadores (No.)	Capacidad (MVA)			LTC
			OA	FA	FA/FOA	
Chorrillos	500/230/34,5	3+1	270,0	360,0	450,0	sí
Chorrillos	500/230/34,5	3+1	270,0	360,0	450,0	sí
El Inga	500/230/34,5	3	360,0	480,0	600,0	sí
El Inga	500/230/34,5	3	360,0	480,0	600,0	sí
El Inga	500/230/34,5	3	360,0	480,0	600,0	sí
San Rafael	500/230/34,5	3	270,0	360,0	450,0	sí
Tisaleo	500/230/34,5	3+1	270,0	360,0	450,0	sí

Fuente. (CONELEC, 2018)

Tabla 10. Capacidad de los transformadores en subestaciones de 230 kV del SNT.

Subestación	Relación de Transformación	Transformadores (No.)	Capacidad (MVA)			LTC
			OA	FA	FA/FOA	
Dos Cerritos	230/69/13,8	3+1	99,0	132,0	165,0	sí
Durán	230/69/13,8	1	135,0	180,0	225,0	sí
El Inga	230/138/13,8	3	180,0	240,0	300,0	no
El Inga	230/138/13,8	1	180,0	240,0	300,0	no
Exclusas	230/138/13,8	1	135,0	180,0	225,0	sí
Esmeraldas	230/138/13,8	3+1	100,0	133,3	166,7	sí
Jivino	230/69/13,8	1	100,0	133,0	167,0	sí
Machala	230/69/13,8	3+1	99,9	133,2	166,5	sí
Milagro	230/69/13,8	3+1	99,9	133,3	166,7	no
Milagro	230/138/13,8	1	135,0	180,0	225,0	no
Molino - E	230/138/13,8	3	225,0	300,0	375,0	no
Molino - E	230/138/13,8	3+1	225,0	300,0	375,0	no
Móvil EFACEC (Dosc Cerritos)	230/69/13,8	1	0,0	0,0	45,0	sí
Pascuales	230/138/13,8	3	225,0	300,0	375,0	no
Pascuales	230/138/13,8	3+1	225,0	300,0	375,0	no
Pomasqui	230/138/13,8	1	180,0	240,0	300,0	no
Pomasqui	230/138/13,8	1	180,0	240,0	300,0	no
Quevedo	230/138/13,8	3+1	99,9	133,3	166,6	no
Riobamba	230/69/13,8	1	135,0	180,0	225,0	sí
Riobamba	230/69/13,8	3+1	60,0	80,1	99,9	sí
San Gregorio	230/138/13,8	1	135,0	180,0	225,0	no
Santa Rosa	230/138/13,8	3	225,0	300,0	375,0	sí
Santa Rosa	230/138/13,8	3+1	225,0	300,0	375,0	no
Santo Domingo	230/138/13,8	3	99,9	133,3	166,7	no
Santo Domingo	230/138/13,8	3+1	99,9	133,3	166,7	no
Shushufindi	230/138/13,8	3	180,0	240,0	300,0	sí
Sinincay	230/69/13,8	1	100,0	133,2	165,5	sí
Totoras	230/138/13,8	3+1	60,0	80,0	100,0	no
Trinitaria	230/138/13,8	1	135,0	180,0	225,0	no

Fuente. (CONELEC, 2018)

Tabla 11. Capacidad de los transformadores en subestaciones de 138 kV del SNT.

Subestación	Relación de Transformación	Transformadores (No.)	Capacidad (MVA)			LTC
			OA	FA	FA/FOA	
Ambato	138/69/13,8	1	33,0	43,0	-	no
Ambato	138/69/13,8	1	45,0	60,0	75,0	si
Baños	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	si
Bomboiza	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	si
Caraguay	138/69/13,8	1	135,0	180,0	225,0	si
Chone	138/69/13,8	1	60,0	80,0	100,0	si
Cuenca	138/69/13,8	3+1	60,0	80,0	99,9	no
Cumbaratza	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	si
Esmeraldas	138/69/13,8	1	44,8	59,7	75,0	si
Esmeraldas	138/69/13,8	1	44,8	59,7	75,0	si
Francisco de Orellana	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Gualaceo	138/22	1	12,0	16,0		no
Ibarra	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Ibarra	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Ibarra	138/34,5/13,8	1	30,0	40,0	50,0	si
Limón	138/13,8	1	5,0	6,7		no
Loja	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Loreto	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	si
Macas	138/69	1	40,0	53,3	66,7	si
Machala	138/69/13,8	3+1	60,0	80,1	99,9	si
Machala	138/69/13,8	3	60,0	80,1	99,9	si
Manta	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	no
Méndez	138/13,8	1	5,0	6,7		no
Montecristi	138/69/13,8	1	60,0	80,0	100,0	si
Móvil Mitsubishi (Posorja)	138/69/46	1	30,0	32,0		no
Móvil EFACEC (Quevedo)	138/69/13,8	1			60,0	si
Móvil EFACEC (Esmeraldas)	138/69/13,8	1			60,0	si

Subestación	Relación de Transformación	Transformadores (No.)	Capacidad (MVA)			LTC
			OA	FA	FA/FOA	
Mulaló	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Nueva Babahoyo	138/69/13,8	1	40,0	50,0	60,0	si
Nueva Babahoyo	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Nueva Prosperina	138/69/13,8	1	90,0	120,0	150,0	si
Pascuales	138/69/13,8	1	120,0	150,0	200,0	si
Pascuales	138/69/13,8	1	120,0	150,0	200,0	si
Policentro	138/69/13,8	3	90,0	120,0	150,0	si
Portoviejo	138/69/13,8	1	44,8	59,7	75,0	si
Portoviejo	138/69/13,8	1	45,0	60,0	75,0	si
Posorja	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Puyo	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	si
Quevedo	138/69/13,8	3+1	90,0	120,0	150,0	si
Quinindé	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Salitral	138/69/13,8	3+1	90,0	120,0	150,0	no
Salitral	138/69/13,8	3+1	90,0	120,0	150,0	si
Santa Elena	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Santa Elena	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si
Santa Rosa	138/46/13,8	1	45,0	60,0	75,0	si
Santa Rosa	138/46/13,8	1	45,0	60,0	75,0	si
Santo Domingo	138/69/13,8	1	100,0	133,0	167,0	no
Santo Domingo	138/69/13,8	3	60,0	80,0	99,9	no
Tena	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	si
Totoras	138/69/13,8	3+1	60,0	80,0	99,9	no
Trinitaria	138/69/13,8	3+1	90,0	120,0	150,0	si
Tulcán	138/69/13,8	1	20,0	26,7	33,3	si
Yanacocha	138/69/13,8	1	40,0	53,3	66,7	si

Fuente. (CONELEC, 2018)

4.1.7.5. Cargabilidad de los transformadores del SNT

Para la determinación de necesidades de ampliación de capacidad de transformación, se utiliza como criterio la condición de que la cargabilidad de los equipamientos existentes haya alcanzado la capacidad FA (80% de la capacidad máxima).

En algunos casos, no es un régimen ordinario de trabajo, sino más bien obedece a contingencias operativas del SNT, pero no se puede descartar el hecho de que, en un determinado momento, estas condiciones se presenten y afecten la operación. La **Tabla 12** muestra los transformadores del SNT que han alcanzado o superado el 70% de cargabilidad respecto de su potencia nominal

Tabla 12. Equipos que han alcanzado o superado el 70% de cargabilidad respecto de su potencia nominal.

Transformador	Relación Transformación	Capacidad (MVA)	Cargabilidad Máxima (MVA)	Cargabilidad Máxima (%)	Año Entrada Operación
Totoras - ATT	230/138	112	124,5	111%	1986
Machala - ATQ	138/69	100	108,6	109%	1988
Dos Cerritos - ATK	230/69	165	170,2	103%	2004
Posorja - ATQ	138/69	33	34,1	102%	1988
Pomasqui - ATU	230/138	300	300,6	100%	2003
Santo Domingo - ATR	138/69	100	99	99%	1983
Policentro - ATQ	138/69	150	143,1	95%	1990
Milagro - ATK	230/69	167	151,7	91%	1983
Loja - ATQ	138/69	66,7	60	90%	1988
Manta - ATQ	138/69	33	29,6	89%	1980
Mulaló - ATQ	138/69	60	53,1	88%	1999
Machala - ATR	138/69	100	88,4	88%	2006
Molino - AT1	230/138	375	326,6	87%	1983
Portoviejo - AA2	138/69	75	64,9	87%	1986
Esmeraldas - AA1	138/69	75	64,9	86%	1981

Transformador	Relación Transformación	Capacidad (MVA)	Cargabilidad Máxima (MVA)	Cargabilidad Máxima (%)	Año Entrada Operación
Ibarra - ATQ	138/69	66,7	57,5	86%	2012
Portoviejo - AAI	138/69	75	63,9	85%	1980
Santa Rosa - ATT	230/138	375	316,5	84%	2006
Quevedo - ATT	230/138	167	139,5	84%	1983
Pascuales - ATU	230/138	375	310,5	83%	1983
Riobamba - TRK	230/69	100	81,6	82%	1989
Montecristi - ATQ	138/69	100	81,6	82%	2012
Nueva Prosperina - ATK	230/69	225	181,7	81%	2011
Cuenca - ATQ	138/69	100	80,7	81%	1983
Quevedo - ATR	138/69	120	96,7	81%	1997
Milagro - ATU	230/138	225	178,9	79%	2009
Totoras - ATQ	138/69	100	78,6	79%	1986
Gualaceo - TRG	138/22	16	12	75%	2012
Salitral - ATR	138/69	150	112,7	75%	2001
Salitral - ATQ	138/69	150	112,4	75%	1991
San Gregorio - ATT	230/138	225	163,1	72%	2010
Santo Domingo - ATU	230/138	167	120,4	72%	1983
Santo Domingo - ATT	230/138	167	117	70%	2014

Fuente. (CONELEC, 2018)

CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 1

Es en este capítulo se ha logrado recopilar y sistematizar la información relevante de las propiedades físicas y topológicas del SEP ecuatoriano, información actualizada que se obtuvo a partir de consultas en las plataformas de CENACE, esta información recolectada se utilizará en los capítulos siguientes para proceder con la codificación necesaria bajo el estándar IEC 61970.

4.2. CAPÍTULO 2. Introducción al Estándar IEC 61970-301

4.2.1. Estándar IEC 61970-301

Uno de los estándares que refieren sus contenidos a facilitar la integración de aplicaciones y el intercambio de información o interoperabilidad entre Empresas de Servicios eléctricos por medio del CIM, es el Estándar IEC 61970-301, el cual contiene ocho paquetes principales y un paquete de dominio global que se utiliza para definir tipos de datos en los sistemas de gestión de las redes de transmisión. Los paquetes *Core*, *Wires* y *Topology* contienen todas las clases básicas para definir las características físicas de una red eléctrica.

El paquete *Wires* define las clases que se requieren para representar los componentes eléctricos de una red, como transformadores, líneas y conmutadores, mientras que los paquetes *Core* y *Topology* definen la interconexión de componentes en un Sistema de Gestión de Energía como, por ejemplo, el nodo de conectividad (incluido en el Paquete *Topology*) y la terminal (contenido en el Paquete *Core*).

Sin embargo, estos tres paquetes por sí solos no describen completamente un sistema de energía en funcionamiento, sino que proporcionan solo las características eléctricas básicas del equipo y describen cómo están conectados. Para proporcionar una descripción detallada de una red a nivel operativo, se requieren otras clases para definir el funcionamiento y las características adicionales del equipo, tanto eléctrico como no eléctrico. (A. McMorran, 2007)

El *Estándar IEC-61970* define el modelo CIM, y, además describe una arquitectura de referencia para la integración entre las aplicaciones que forman parte de un sistema de gestión y los requisitos generales de las mismas, especifica los mecanismos (servicios) de comunicación por los cuales se puede acceder a la información de una aplicación y, por último, especifican formatos (como el CIM/XML) empleados para el intercambio de información. (Garcia & Machado, 2014)

4.2.2. Comisión Electrotécnica Internacional (IEC – por sus siglas al inglés)

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) es una organización mundial de normalización que comprende todos los comités electrotécnicos nacionales (Comités Nacionales de IEC) cuyo objetivo primordial es promover mediante la elaboración y publicación de normas o estándares, la cooperación internacional en todas las cuestiones relativas a la normalización en los campos eléctrico y electrónico. (Yaoyu Wang, 2003)

Entre otras de sus acciones, además de trabajar en estándares internaciones la IEC publica Especificaciones Técnicas, Informes Técnicos, Especificaciones disponibles al Público (PAS) y Guías (en lo sucesivo denominadas “Publicaciones IEC”), para lo cual su preparación está encomendada a comités técnicos, que para el objetivo de esta investigación se definirá explícitamente al Comité Técnico 57.

Además, se debe mencionar que la IEC colabora estrechamente con la Organización Internacional de Normalización (ISO) de acuerdo con las condiciones determinadas por acuerdo entre las dos organizaciones. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

4.2.3. Comité Técnico 57 (TC57)

El Comité Técnico 57 es uno de los comités técnicos de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), el cual es responsable del desarrollo de estándares para la “Gestión de sistemas de energía e intercambio de información asociada”. Este comité se estableció en 1965 y contiene varios grupos de trabajo, cada uno de los cuales es responsable del desarrollo de estándares dentro de su dominio. (McMorran, 2013)

El Modelo de Información Común CIM, establecido dentro de la IEC en su comité técnico TC57 es desarrollado y mantenido por tres grupos de trabajo, estos son los que llevan las denominaciones WG13, WG14 y WG16, aunque además de ellos existe el WG19, que es más bien responsable de la "Interoperabilidad dentro del TC57 a largo plazo" y al mismo tiempo armoniza las labores entre los grupos de trabajo del TC57, permitiendo de esta manera asegurar que no haya duplicación de esfuerzos y promover la interoperabilidad entre los estándares.

Tabla 13. Grupos de Trabajo del Comité Técnico de la IEC, TC57.

GRUPOS DE TRABAJO TC57		
Grupo de Trabajo	Descripción	Estándares desarrollados o relacionados
WG3	Estándares de telecontrol y tele protección.	IEC 60870-5
WG10	Comunicaciones IED y modelos de datos asociados en sistemas eléctricos.	IEC 61850
WG13	Interfaces de software para la operación y planificación de la red eléctrica.	IEC 61970
WG14	Interfaces de funciones empresariales para operaciones de servicios públicos	IEC 61968

Grupo de Trabajo	Descripción	Estándares desarrollados o relacionados
WG15	Seguridad de datos y comunicaciones.	IEC 62351
WG16	Estándares relacionados con las comunicaciones del mercado energético.	IEC 62325
WG17	Sistemas de comunicación para recursos energéticos distribuidos (DER)	IEC 61850-7-420
WG18	Sistemas de comunicación para centrales hidroeléctricas.	IEC 61850-7-410
WG19	Interoperabilidad dentro de TC57 a largo plazo.	Estándares para la integración de CIM y SCL.
WG20	Planificación de sistemas portadores de líneas eléctricas.	
WG21	Otras tecnologías de la comunicación.	

Fuente. (Zambrano Asanza, 2011)

Como se mencionó anteriormente el CIM, dentro todos los grupos de trabajo establecidos por el comité técnico TC57 es sostenido por 3 de ellos, pero es importante conocer al menos de manera general el objetivo y las normas establecidas por el resto de ellos, de esa manera en la **Tabla 13** se muestran todo estos grupos y además se resalta al **WG13** que es quien instituye la Norma o Estándar 61970 objeto de estudio de la presente investigación, este grupo de trabajo se describe en la siguiente sección.

4.2.4. Grupo de Trabajo 13 (WG13): Interfaz de Programación de Aplicaciones del Sistema de Gestión de Energía

El Grupo de Trabajo 13 o con sus siglas en inglés WG13, mantiene el modelo CIM central como modelo UML independiente del lenguaje que se emplee, simplificando entre algunos aspectos la interoperabilidad entre aplicaciones de software ya que solo será necesario que exista un traductor para convertir hacia y desde los datos basados en CIM, y no se tendrá los inconvenientes al buscar un traductor especial para cierto formato de una empresa de terceros.

Por medio del WG13 se definen los componentes de un sistema de energía como clases, junto con las relaciones entre ellas y los parámetros que las definen, las cuales se describen en secciones posteriores de este documento y como son: herencia, asociación y agregación. Esto proporciona la base para un modelo genérico que representa todos los aspectos de un sistema

de energía, independientemente de cualquier estándar o formato de datos en particular. (McMorran, 2013)

4.2.5. Paquetes Estándar IEC 61970-301

Cuando se modela un sistema ya sea a mediana o gran escala, la cantidad de elementos empleados como clases o casos de uso creados sería demasiado extenso. Por lo tanto, para que el modelo sea más fácil de diseñar, comprender y revisar, el CIM está dividido en un conjunto de paquetes en donde cada uno agrupa todos los elementos básicos relacionados y proporciona una forma de definir espacios de nombres para todos los miembros agrupados.

4.2.5.1. Definición de PAQUETE

Un paquete se puede definir como un medio de uso general para agrupar y a la vez nombrar específicamente elementos del modelo que mantengan un cierto tipo de relación entre sí. Puede ser único o contener otros paquetes para crear la jerarquía y su funcionalidad se destaca en el poder importar ya sea elementos individuales o todos los elementos de otros paquetes.

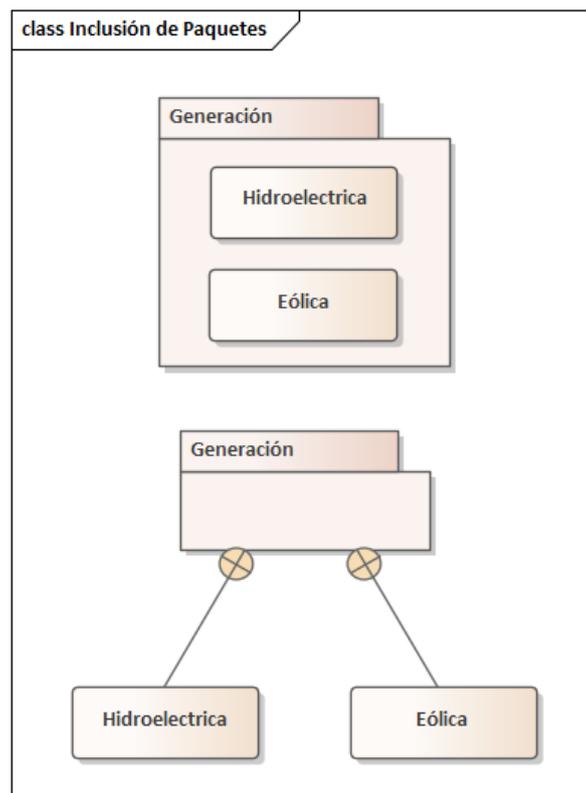


Figura 8. Ejemplo de “Inclusión de Paquetes” expresado de dos formas.

Fuente. Autor

Para la representación visual de un paquete se lo hace por medio de una figura similar a una carpeta de archivos como se aprecia en la **Figura 8**, en donde además se muestra 2 formas diferentes de representar la inclusión de un paquete. Para este ejemplo, las dos clases

denominadas Hidroeléctrica y Generación están todas incluidas en el paquete denominado Generación.

4.2.5.2. Relaciones entre Paquetes

De la misma manera que en el diagrama clases, también se utilizan varias relaciones en el diagrama de paquetes para describir las relaciones lógicas entre estos. La relación que más se destaca entre todas es la **dependencia**, que tiene la misma definición y representación estructural que en secciones posteriores se describe para las relaciones entre clases. Los estereotipos también se utilizan para representar el significado exacto de una relación entre paquetes y para ello en el ejemplo de la **Figura 9**, se puede apreciar el tipo de relación que mantienen los paquetes descritos.

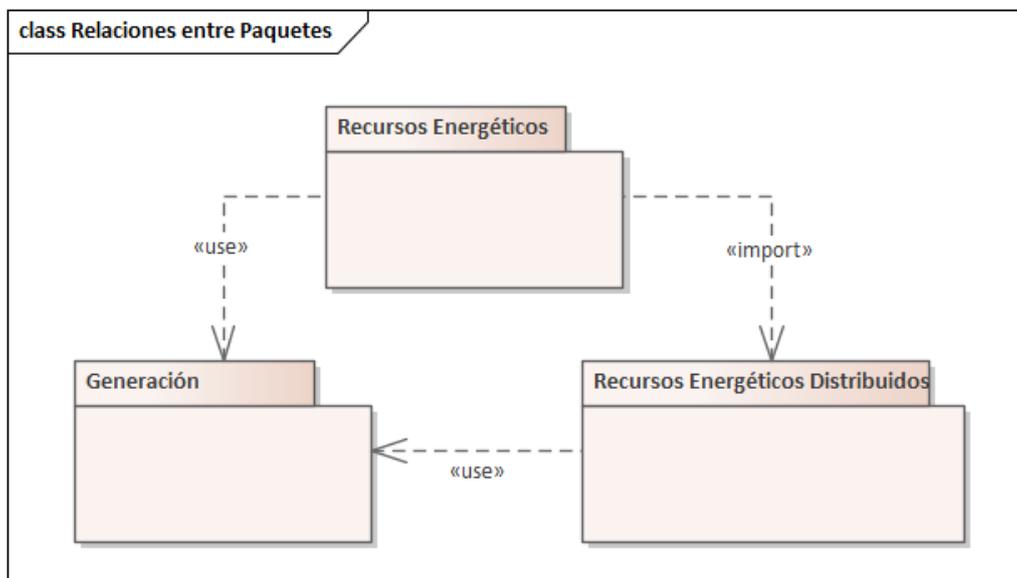


Figura 9. Relaciones entre paquetes, ejemplo.

Fuente. (Zhao, 2016)

4.2.5.3. Paquetes WG13 IEC 61970-301

Como ya se mencionó la función de un paquete en CIM es agrupar elementos de modelo generalmente relacionados, en donde además cada uno de ellos contiene varias clases definidas, uno o más diagramas de clases y sus relaciones gráficamente. Todos los paquetes CIM describen cualquier entidad que pudiera aparecer en un sistema de energía eléctrica.

EL conjunto completo de paquetes CIM establecidos por el WG13 en su estándar IEC 61970-301 como se muestra en la **Figura 10** podría dividirse en 17 paquetes, existiendo entre algunos de ellos una relación de dependencia.

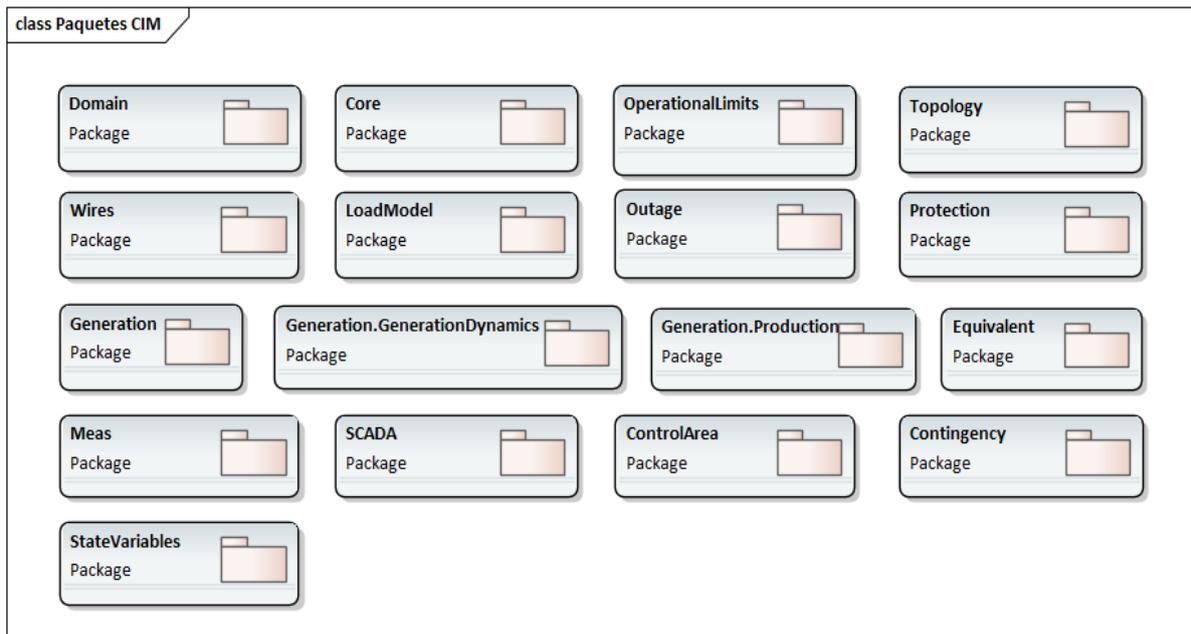


Figura 10. Paquetes CIM establecidos por el WG13 en su Estándar IEC 61970-301
Fuente. Autor

A continuación, se hace la descripción de los paquetes CIM que se consideran importantes y algunos de ellos primordiales al modelar un Sistema de Gestión de Energía, así tenemos:

Domain: Se describe como un diccionario para definir tipos de datos básicos para atributos o propiedades sobre cantidades y unidades que además pueden ser utilizados dentro del CIM por cualquier clase en cualquier otro paquete. Además, cada tipo de datos contiene un atributo de valor y unidad de medida opcional que se especifica como una variable estática que comienza en la descripción textual de la unidad de medida.

Core: Este paquete contiene objetos básicos que son compartidos por la mayoría de aplicaciones dentro del CIM, por ejemplo, *PowerSystemResource* y *ConductingEquipment*. Una característica importante de este paquete es que no depende de ninguno otro, pero muchos de los otros paquetes si dependen de él.

Topology: Es una extensión del paquete *Core*, que en asociación con la clase Terminal, modela la conectividad entre los equipos de un Sistema de Energía. Además, modela la topología, definición lógica independiente de las otras características eléctricas de cómo se conecta el equipo a través de interruptores cerrados.

Wires: Modela información sobre las características eléctricas de las redes de Transmisión y Distribución. Se puede definir como una extensión del paquete de *Core* y *Topology* utilizado por aplicaciones de red como Estimación de estado, Flujo de carga y Flujo de potencia óptimo.

OperationalLimits: Modela una especificación de límites asociados con equipos y otras entidades operativas.

Load Model: Modela los consumidores de energía y la carga del sistema como curvas y datos de curvas asociados. También se incluyen en este paquete circunstancias especiales que pueden afectar la carga, como estaciones y tipos de días, información importante que podría utilizarse para la gestión y la previsión de carga.

Outage: Este paquete es una extensión de los paquetes *Core* y *Wires* cuyo principal objetivo es modelar información sobre la configuración de red actual y planificada.

Protection: Al igual que el paquete *Outage*, es una extensión de los paquetes *Core* y *Wires* que modela información para equipos de protección como relés. Estas entidades primordialmente se utilizan en simuladores de práctica y aplicaciones de localización de averías en redes de distribución.

Meas: Este paquete contiene entidades que describen datos de medición dinámicos intercambiados entre aplicaciones.

Generation: Este paquete se divide en dos subpaquetes: *Production* y *GenerationDynamics*.

- **Producción.** Proporciona modelos para varios tipos de generadores. También modela la información de costos de producción que se utiliza para asignar económicamente la demanda entre las unidades comprometidas y calcular las cantidades de reserva. Esta información es utilizada por compromiso unitario y despacho económico de unidades generadoras hidroeléctricas y térmicas, pronóstico de carga y aplicaciones de control automático de generación.
- **GenerationDynamics.** Proporciona modelos para varios tipos de generadores. Además, modela la información de costos de producción que se utiliza para asignar económicamente la demanda entre las unidades comprometidas y calcular las cantidades de reserva.

CONCLUSIÓN DE CAPÍTULO 2

En este segundo capítulo se ha analizado los aspectos más relevantes del estándar IEC 61970-301, tales como: orígenes, organización, contenidos del mismo y su utilidad en la industria eléctrica como una base de datos compatible entre fabricantes de software y empresas, que pueda ser fácilmente intercambiada sin mayores complicaciones.

4.3. CAPÍTULO 3. Fundamentos del Modelo de Información Común (CIM)

4.3.1. Introducción al Modelo de Información Común (CIM)

El Modelo de Información Común (CIM), se creó originalmente para resolver el problema de vendedor llave en mano “lock-in” creado por el Sistema de Gestión de Energía (EMS – por sus siglas al inglés), estos vendedores que sirven al mercado de los servicios públicos (Utilities). Esta cerradura causa grandes dificultades para las empresas, ya que requieren grandes inversiones de tiempo y dinero para comprar y mantener sus Sistemas de Energía. Las mejoras eran generalmente posibles mediante la sustitución de todo el EMS. En este entorno, una vez que un proveedor de EMS fue seleccionado, la empresa se veía obligada a comprar todas las aplicaciones del mismo fabricante y por lo general las aplicaciones estaban disponibles en paquetes “todo o nada”. (A. McMorran, 2013)

4.3.2. Historia del CIM

El intercambio de datos de sistemas de energía entre empresas de servicios siempre es problemático cuando se utilizan formatos propietarios. En el pasado, una empresa tradicionalmente usaba un solo sistema de software, ya sea una solución interna personalizada o comprada a una gran empresa de software, y se usaba un solo formato y estándar de datos patentados. Con la desregulación de la industria eléctrica y la aparición de redes más inteligentes, ahora existe una mayor necesidad de poder compartir dichos datos del sistema eléctrico entre empresas y sistemas.

El aumento de opciones proporcionado por la cantidad de proveedores de software de sistemas de energía y los diferentes paquetes de software y arquitecturas disponibles se suman al desafío del intercambio de datos. Estos problemas apuntan a un requisito para un estándar único y abierto para describir los datos del sistema de energía y para ayudar a la interoperabilidad entre los paquetes de software y el intercambio de información tanto dentro de una empresa como entre empresas. (A. McMorran, 2013)

El Modelo de Información Común (CIM) es un estándar abierto para representar los componentes del sistema de energía desarrollado por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) en América del Norte. El estándar se desarrolló como parte del IEC TC57 WG13 sobre el desarrollo de una interfaz de programación de aplicaciones del centro de control (CCAPI) para proporcionar un modelo común para describir los componentes en los sistemas de energía para su uso en una interfaz de programación de aplicaciones (API) común del sistema de administración de energía (EMS). El formato ha sido adoptado por los principales

proveedores de EMS para permitir el intercambio de datos entre sus aplicaciones, independientemente de su arquitectura de software interna o plataforma operativa.

El modelo de datos en sí es independiente del lenguaje y define los componentes de un sistema de energía como clases junto con sus relaciones entre ellas: herencia, asociación y agregación; y también se definen los parámetros dentro de cada clase. Esto proporciona la base para un modelo genérico que represente todos los aspectos de un sistema de energía, independientemente de cualquier estándar o formato de datos patentado en particular. Esto simplifica la interoperabilidad entre las aplicaciones de software, ya que solo es necesario que exista un traductor para convertir hacia y desde los datos basados en CIM, donde antes habría sido necesario que los traductores convirtieran hacia y desde el formato propietario de cualquier otra empresa de terceros. (A. McMorran, 2007)

4.3.3. Modelo de Información Común (CIM – por sus siglas al inglés)

El CIM es un conjunto de estándares abiertos para representar los componentes de Sistemas Eléctricos de Potencia. Fue desarrollado originalmente por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI – por sus siglas al inglés) en América del Norte y ahora se mantiene como una serie de estándares bajo la *Comisión Electrotécnica Internacional* (IEC – por sus siglas al inglés).

CIM aplica el paradigma sobre “Programación Orientada Objetos”, el cual permite representar los elementos del mundo real utilizados para la infraestructura, gestión y operación de sistemas eléctricos de Transmisión y Distribución, tales como cables, líneas, transformadores, interruptores, protecciones, estructuras, mediciones, etc. Este Modelo de Información Común CIM está conformado por Paquetes de clases, Clases de Objetos, Atributos y relaciones entre Clases/Objetos, y además define las interfaces para la integración de sistemas. Además, incluye información sobre conectividad que facilita la interoperabilidad o el intercambio de datos entre sistemas y empresas.

CIM también incluye la definición de un grupo de servicios conocidos como *Generic Interface Definition* (GID) para desarrollo de interfaces entre sistemas (nuevos o existentes). Con CIM, los datos pueden ser expresados en XML para crear archivos y mensajes serializados y puede ser extendido fácilmente. La IEC utiliza extensiones estándares para nuevas áreas funcionales y cualquier empresa, proveedor o usuario puede crear extensiones privadas para cubrir requerimientos específicos de una empresa eléctrica. (Reza et al., 2013)

4.3.4. Contención, Jerarquías de Equipos y Denominación

4.3.4.1. Containment Structure

Dentro de una subestación existen equipos típicos que es necesario tengan un apropiado orden y estructura para definir sus propiedades, es por ello que en el CIM por medio de *EquipmentContainer* (Contenedor de Equipos) se puede representar su forma de organizar y nombrar cumpliendo con estas necesidades, formando jerarquías las cuales se realizan considerando la función de dichos equipos en el sistema de energía.

Bay (Bahía), **VoltageLevel** (Nivel de Voltaje), **Substation** (Subestación), **Line** (Línea), y **Plant** (Planta) son todos tipos de contenedores de equipos. En general, una bahía está contenida dentro de un nivel de voltaje específico, que a su vez está contenido dentro de una subestación. Las Subestaciones y Líneas pueden estar contenidas en Regiones Subgeográficas y Regiones Geográficas. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

4.3.4.2. Clase IdentifiedObject

Es heredada por algunas clases, entre ellas la clase *PowerSystemResource*, que se define por medio de 6 atributos para nombrar todos los objetos existentes en esta clase. Estos atributos se mencionan a continuación:

- *Name*: Nombre identificativo de texto libre.
- *localName*: Nombre corto y único entre los objetos contenidos de la clase padre.
- *pathName*: Contiene todos los *IdentifiedObject.localNames* desde el objeto hasta la raíz, dentro de una jerarquía de objetos que están estructurados funcionalmente.
- *aliasName*: Nombre de texto libre de la instancia analizada, que también puede usarse para localización.
- *description*: Descripción libre de la instancia analizada.
- *mRID (Master Resource ID)*: Identificador legible y único por máquina para definir una instancia de objeto.

4.3.5. Connectivity Model

Para la modelación de distintos equipos de conducción dentro del CIM es necesario establecer la nomenclatura apropiada para la correcta conectividad entre ellos, esto se realiza por medio la clase de Topology (Topología) quien define a su vez las clases *Terminal* y *ConnectivityNode* que permiten este procedimiento.

- **Terminal:** Esta clase pertenece a un equipo de conducción dentro de un Sistema Eléctrico de Potencia, quien puede tener cualquier número de terminales y permite la conexión a un nodo de conectividad que es el punto donde las terminales de los equipos están conectadas entre sí con impedancia cero.
- **ConnectivityNode:** Al igual que la clase *Terminal* puede tener cualquier número de terminales conectadas y pertenecer o ser miembro de un *TopologicalNode*, clase que a su vez es miembro de otra llamada *TopologicalIsland*.

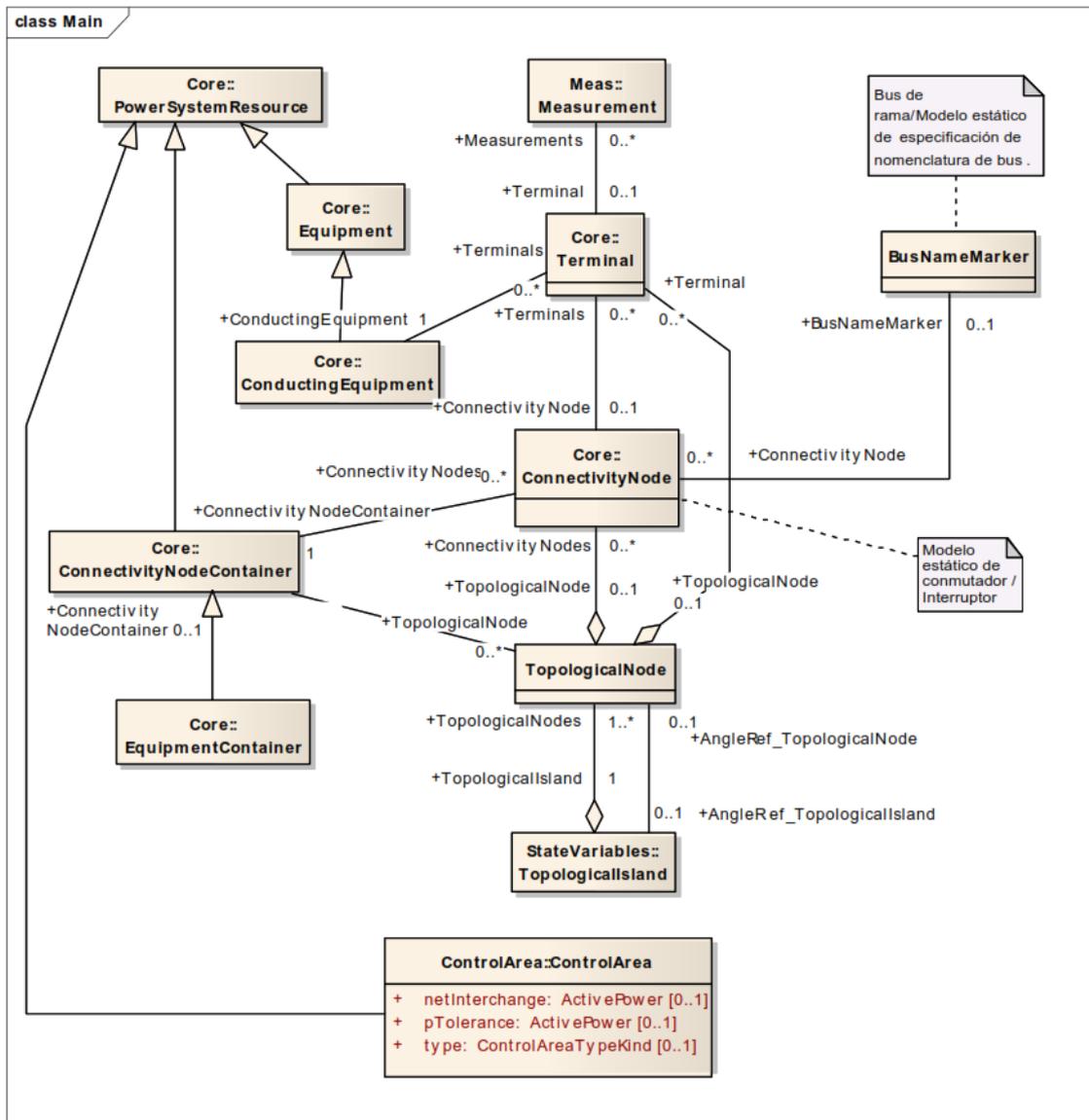


Figura 11. Modelo de conectividad entre Equipos de Conducción.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Un aspecto importante a considerar es que por medio de la asociación *TopologicalNode* a *Terminal* es posible el intercambio de información directamente relacionada con *TopologicalNode* sin necesidad de pasar por detalles de *ConnectivityNode*.

4.3.5.1. Interconexiones de Componentes

Para definir cómo se unen los componentes dentro de un Sistema de Gestión de Energía el CIM usa terminales y nodos de conectividad, en lugar de definir una conexión directa entre ellos. Para explicar de mejor manera este concepto se analizará un sencillo ejemplo extraído de (A. McMorran, 2013):

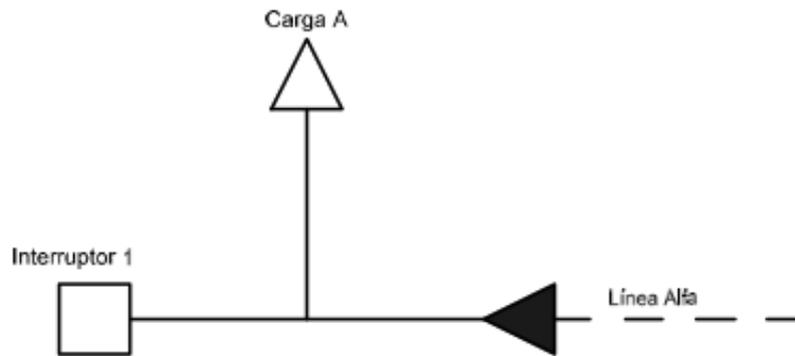


Figura 12. Circuito simple de ejemplo de conectividad
Fuente. (A. McMorran, 2013)

Este simple circuito contiene un interruptor, una carga y una línea, lo cual requiere tres objetos CIM para representar las piezas del equipo conductor físico: Un Consumidor de Energía (para representar la carga), un Interruptor y un Segmento de Línea AC para la línea.

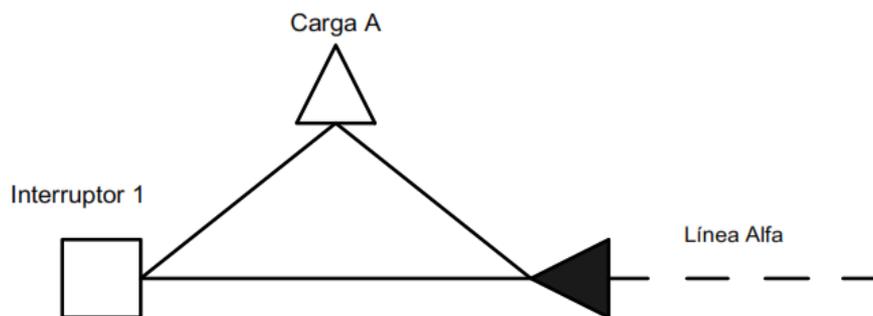


Figura 13. Asociaciones directas en componentes de circuito ejemplo.
Fuente. (A. McMorran, 2013)

El CIM no modela interconexiones por medio de asociaciones de cada componente con los otros a los que se conecta, siendo de esta manera la Línea Alfa contiene asociaciones con el Interruptor1 y la carga A; el Interruptor1 contienen asociaciones con la carga A y Línea Alfa; mientras que la carga A contiene asociaciones con la Línea Alfa y Interruptor1, dando lugar a las interconexiones que se detallan en la **Figura 13**.

En cambio, el CIM utiliza un **Nodo de Conectividad** para conectar los equipos, de tal modo que, si tres o más equipos se unen en una T o un punto estrella, la conectividad es representada correctamente de la siguiente manera:

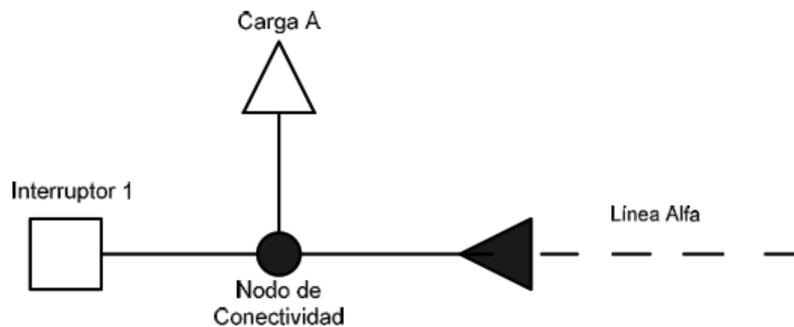


Figura 14. Nodo de conectividad que une 3 equipos.
Fuente. (A. McMorran, 2013)

En CIM, sin embargo, los equipos de conducción no se asocian directamente con los nodos de conectividad. Un equipo conductor tendrá uno o más terminales asociados, y estos terminales a su vez estarán asociados con un solo nodo de conectividad. La relación entre las clases Terminal, Nodo de Conectividad y Equipo Conducción se muestran en la **Figura 15**.

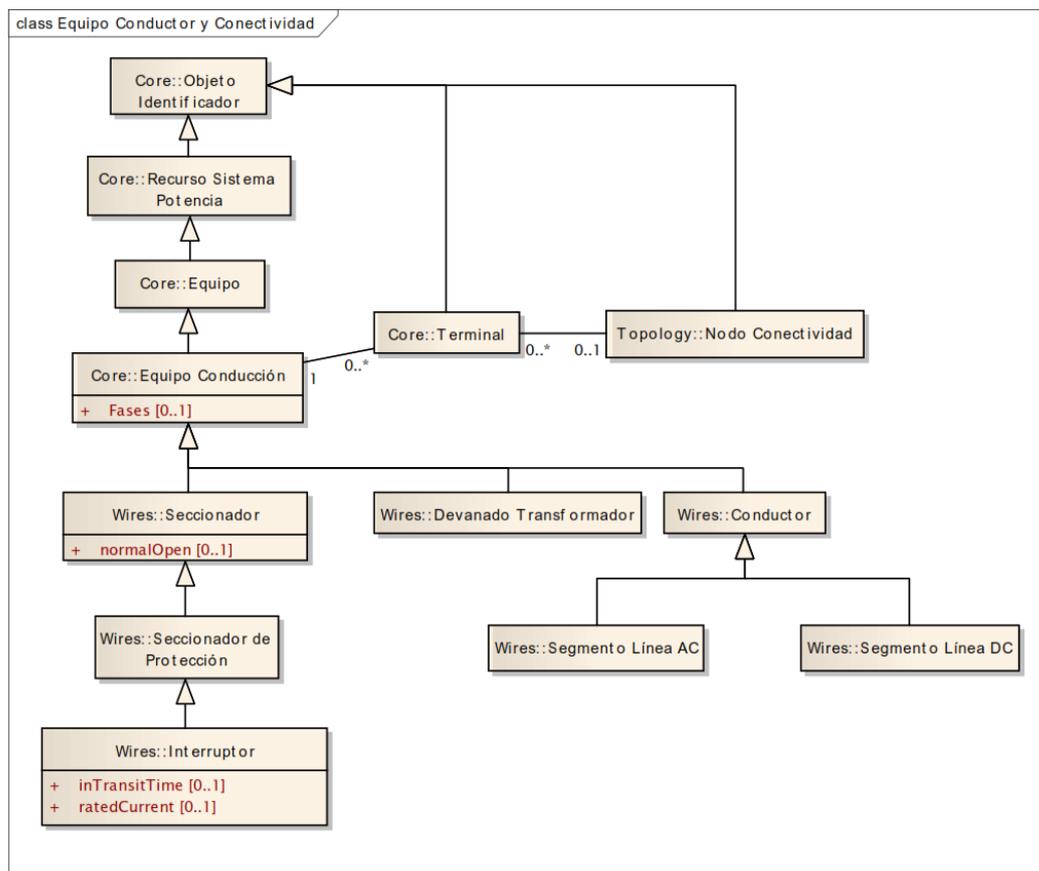


Figura 15. Diagrama de clases de Equipo Conductor y Conectividad.
Fuente. (Zambrano Asanza, 2011)

Dado que solamente los Equipos de Conducción transportan corriente en la red, la asociación a la clase Terminal es desde el Equipo de Conducción, con una multiplicidad de 0...* (cero a muchos), lo que significa que un equipo conductor puede tener cero o más conexiones a la red.

La relación correspondiente que tiene el Terminal con el Equipo Conducción es una multiplicidad de 1 ya que un Terminal sólo puede estar asociado con un Nodo de Conectividad. Como la clase Interruptor (a través de su clase padre Switch), Consumidor Energía y Segmento de línea de AC o DC (a través de la clase Conductor), todas son heredadas de la clase Equipo de Conducción, que a su vez heredan la relación de asociación con la clase Terminal.

La Terminal tiene una asociación a un solo ConnectivityNode (Nodo de Conectividad), y varias Terminales pueden asociarse con una sola instancia del ConnectivityNode. Por este mecanismo, la conectividad eléctrica define al ConnectivityNode como un punto de interconexión de impedancia cero y, por lo tanto, todos los terminales que se asocian con un solo ConnectivityNode están interconectados.

Con todo lo anterior mencionado, la relación de conectividad entre Terminales, Equipo Conducción y Nodos de Conectividad se ilustra en la siguiente Figura:

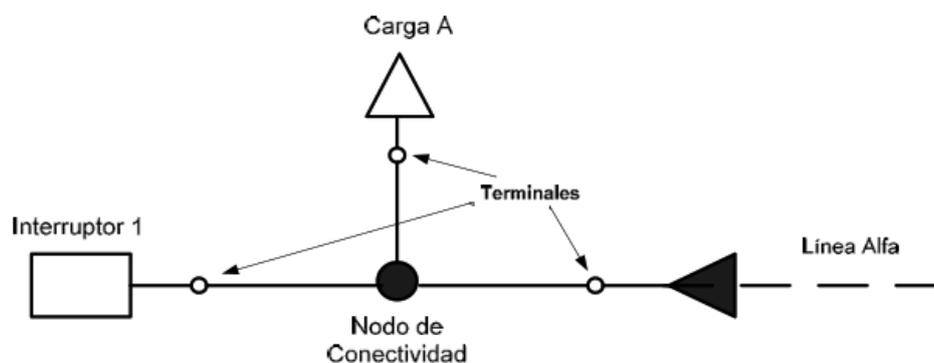


Figura 16. Ejemplo de circuito con nodo de conectividad y terminales.

Fuente. (A. McMorran, 2013)

La inclusión de los terminales puede parecer en un inicio innecesaria, pero, así como permiten definir la conectividad, los terminales también se utilizan para definir puntos de medición relacionados con la conectividad en la red, como los flujos de potencia, corriente y los voltajes.

La importancia de permitir que el punto de medición se defina con tanta precisión se muestra en la **Figura 17**.

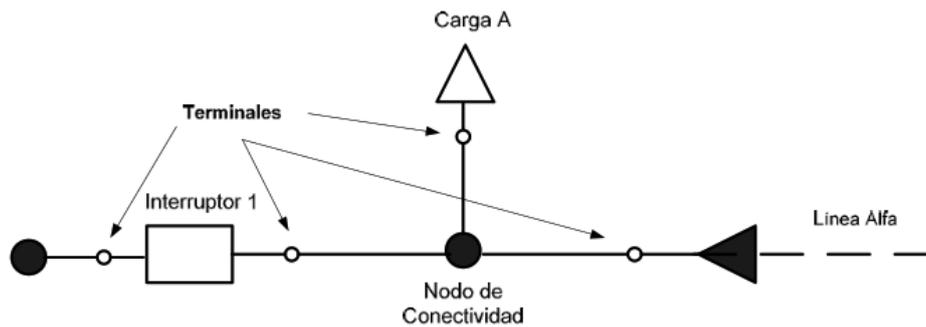


Figura 17. Ejemplo de circuito de conectividad con terminal de interruptor adicional.

Fuente. (A. McMorran, 2013)

En este diagrama, el interruptor 1 tiene dos terminales asociados para representar los dos puntos de conexión distintos que tendría en una red un sistema eléctrico del mundo real. Si el interruptor está abierto, la medición de voltaje será diferente en estos dos puntos donde el interruptor se conecta a la red. Esto daría lugar a una ambigüedad si la medición se define solo como un componente en particular, sin información específica acerca de en qué punto se hizo la conexión de medición.

4.3.5.2. Conversión de un Circuito Eléctrico Básico en formato CIM

En secciones anteriores se han descrito varios aspectos que definen al CIM, entre ellos la jerarquía de clases que permiten definir sus componentes y además han mostrado cómo se utilizan los terminales y los nodos de conectividad para representar la interconexión de componentes dentro de un Sistema de Gestión de Energía.

A continuación, por medio de un ejemplo extraído de (A. McMorran, 2007), se evidenciará cómo se modelan los niveles de voltaje, transformadores de corriente, transformadores de potencia y generadores mediante la conversión de un circuito eléctrico en objetos CIM.

4.3.5.2.1. Identificación de Componentes CIM

Como primer paso en nuestro proceso de conversión de un circuito eléctrico a CIM procedemos a identificar sus componentes, para ello en la **Figura 18** se muestra un circuito que contiene una sola unidad de generación, una carga, una línea y una barra colectora. Además, el circuito también contiene dos transformadores de potencia que dan como resultado tres niveles de voltaje distintos de 17 kV, 33 kV y 132 kV.

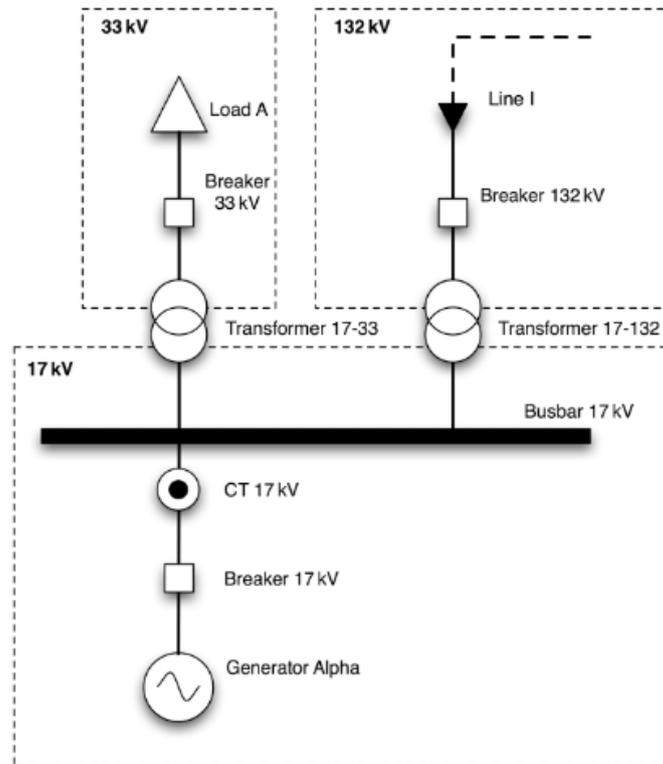


Figura 18. Ejemplo de circuito como diagrama unifilar.
Fuente. (A. McMorran, 2007)

Como ya se estudió en secciones anteriores y claramente se evidencia en este ejemplo, la carga, la línea y los interruptores se asignan a las clases *CIM EnergyConsumer*, *ACLineSegment* y *Breaker* respectivamente, mientras que la barra colectora se asigna de manera similar a la clase *BusbarSection*. La unidad de Generación Alfa se representará en una sola pieza de equipo conductor por medio de la clase *SynchronousMachine*, que se definen el CIM como un "dispositivo electromecánico que opera sincrónicamente dentro de la red". Esta clase cuando funciona como generador debe tener una asociación con una instancia de la clase *GeneratingUnit*.

La clase *GeneratingUnit* no representa una pieza de equipo conductor que se conecta físicamente a la red, sino más bien representa "una sola o un conjunto de máquinas síncronas para convertir la energía mecánica en corriente alterna".

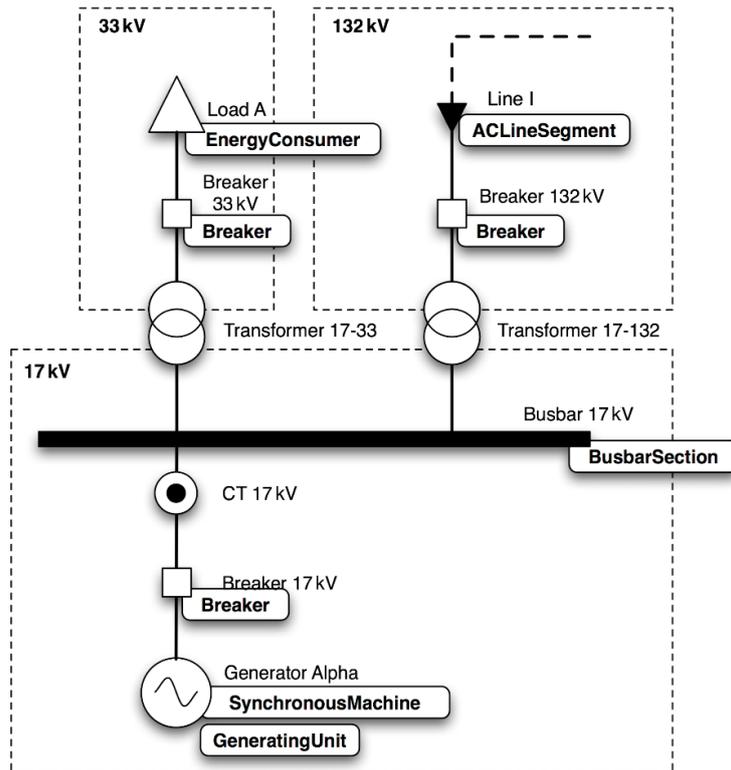


Figura 19. Ejemplo de circuito con asignaciones parciales de clases CIM.
Fuente. (A. McMorran, 2007)

Las asignaciones en formato CIM de algunos componentes del circuito tomado como ejemplo se muestran en la **Figura 19**, dejando únicamente los dos transformadores de potencia y el transformador de corriente para asignar a través de clases CIM.

4.3.5.2.2. Representación de Transformador de Potencia como objeto CIM

Un transformador de potencia no se asigna a una sola clase CIM, sino que se divide en varios componentes con una sola clase denominada *PowerTransformer*. Por lo tanto, un transformador de potencia de dos terminales se convierte en dos objetos *TransformerWinding* dentro de un contenedor *PowerTransformer*.

Además, si un cambiador de tomas está presente para controlar uno de los devanados, entonces una instancia de la clase *TapChanger* se asocia con ese devanado en particular, mientras que aún está contenida dentro de la instancia de *PowerTransformer*. El diagrama de clases UML para las clases que forman un transformador se muestra en la **Figura 20** a continuación.

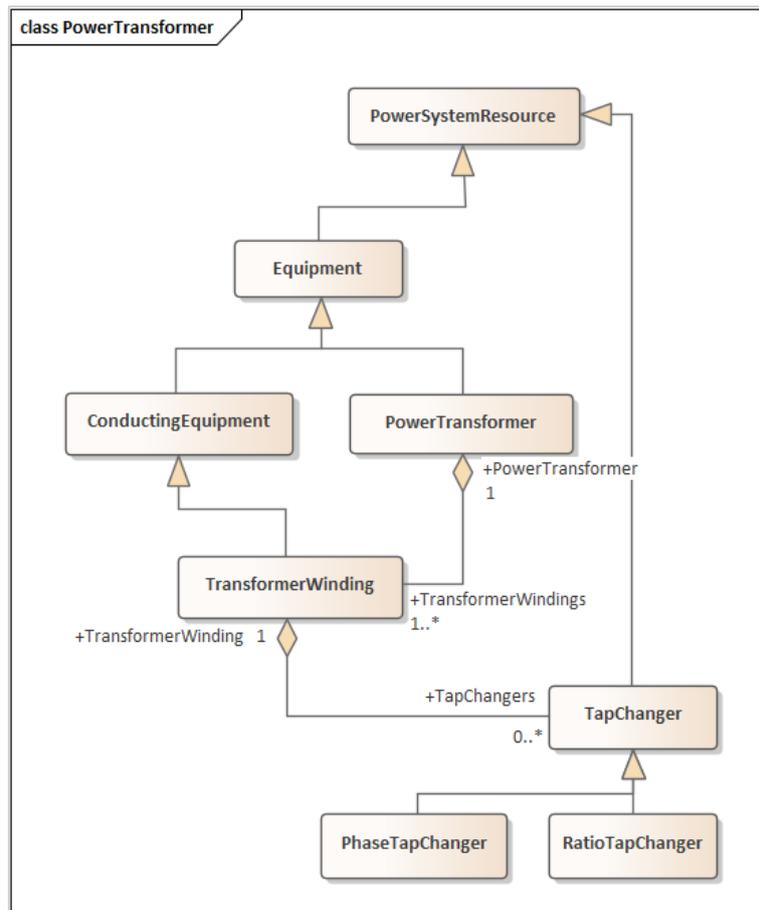


Figura 20. Diagrama de clases de un Transformador de Potencia.
Fuente. Autor, software Enterprise Architect.

Aunque un *PowerTransformer* sigue siendo una pieza de Equipo en el sistema de energía, no conduce la electricidad por sí mismo y, por lo tanto, no hereda atributos de *ConductingEquipment* sino de su clase principal, *Equipment*. Un *TransformerWinding*, sin embargo, hereda de *ConductingEquipment* ya que está conectado físicamente a la red y conduce electricidad. *TapChanger* es parte de *TransformerWinding* y, como tal, no puede considerarse una pieza de equipo separada por derecho propio y hereda además atributos de *PowerSystemResource*. En algunas versiones posteriores del CIM, *TapChanger* se subclasificó en *PhaseTapChanger* y *RatioTapChanger* para representar los diferentes tipos de cambiadores de tomas.

En la **Figura 20** se puede apreciar la relación de las clases *PowerTransformer* y *TransformerWinding* la cual es de tipo agregación, que como en secciones posteriores se indica significa que un *PowerTransformer* se compone de 1 o más *TransformerWindings* que, a su vez, pueden estar formados por cero o más *TapChangers*.

Al considerar un transformador en la realidad ubicado en una subestación, el contenedor *PowerTransformer* puede considerarse como la carcasa del transformador, la cual en sí no

conduce la electricidad en el sistema, sino que contiene todos los componentes que son parte de un transformador tales como, los devanados, el material aislante, el núcleo magnético, entre otros.

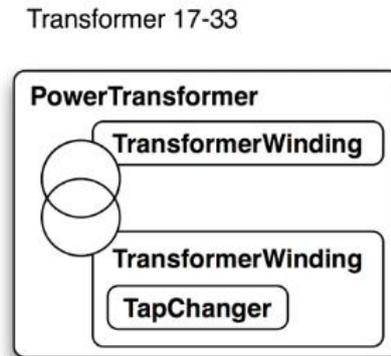


Figura 21. Asignaciones CIM para Transformador 17-33
Fuente. (A. McMorran, 2007)

Por lo tanto, la representación en formato CIM del Transformador 17-33 en el sistema de la **Figura 18** se realiza como 4 objetos CIM: dos *TransformerWindings*, un *TapChanger* y estas a su vez contenidas en un *PowerTransformer* como se muestra en la **Figura 21**.

De manera similar, si nos encontramos con un transformador con 3 devanados o más, se puede representar como un único *PowerTransformer* que contiene tres o cuatro instancias de la clase *TransformerWinding*.

4.3.5.2.3. Representación equivalente en formato CIM

Basándonos en la representación CIM para un transformador de potencia, podemos continuar con el diagrama unifilar del circuito ejemplo completo que se muestra en la **Figura 18**, obteniéndose como resultado los 45 Objetos CIM que se muestran en la **Figura 22**.

A simple vista la posición del *BusbarSection* puede parecer errónea, pero en el CIM los *ConnectivityNodes* se utilizan para definir el punto de interconexión de los equipos, por ello el objeto *BusbarSection* se utiliza principalmente para proporcionar un punto de asociación (a través de su terminal) para los objetos de medición que miden el voltaje particularmente en esa barra colectora del sistema. Esto refleja la posición del equipo en el sistema físico, ya que un transformador de voltaje a menudo medirá los voltajes en las barras colectoras dentro de una subestación.

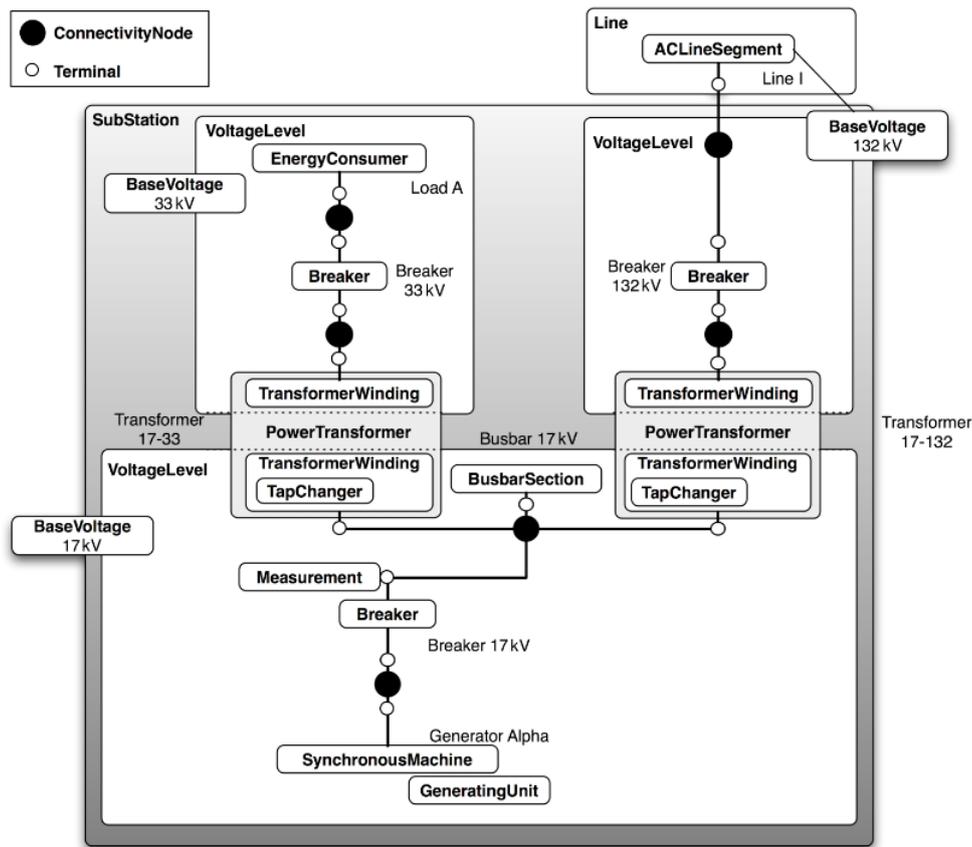


Figura 22. Representación CIM completa de circuito de ejemplo.
Fuente. (A. McMorran, 2007)

Esta representación de circuito ejemplo podría ampliarse aún más con la adición de objetos para representar áreas de control, propietarios de equipos, unidades de medida y curvas de generación y carga, pero por ahora es suficiente comprender cómo se puede realizar la representación del diagrama unifilar de un circuito eléctrico en objetos CIM.

4.3.6. Lenguaje de Modelado Unificado (UML – por sus siglas al inglés)

El *Unified Modeling Language* (UML) es un lenguaje descriptivo formal que unifica varias de las metodologías comúnmente utilizadas por los ingenieros en la modelación de sistemas (Zambrano Asanza, 2011). Aunque en primera instancia por su forma de representación pareciera ser solo una técnica de diagramación pues no es así, es por completo un tipo de Lenguaje y permite definir, visualizar, construir y documentar sistemas de software.

Existen diversos tipos de diagrama en los que se puede representar el Lenguaje de Modelado UML, concretamente son 13 pero debido a nuestro interés es integrar los sistemas que utilizan un modelo de información, utilizando el CIM sólo se requiere una comprensión del diagrama de clases y el diagrama de secuencia.

4.3.6.1. Clases

Dentro del Modelo Común de la Información CIM para poder representar un tipo específico de objeto se la hace por medio del diagrama “Clase” que se lo puede definir como el conjunto de especificaciones o características comunes que identifican a dicho objeto que se desea modelar, la cual además de tener sus propias características puede a su vez relacionarse con otras clases con cualquier número de instancias separadas, para un sencillo ejemplo se puede tomar la modelación de transformadores que se lo hace como clases.

Las clases tienen atributos que describen las características de los objetos, y en el CIM cada una de ellas contiene los atributos que describen e identifican una instancia específica de la clase. Solo los atributos que son de interés público para las aplicaciones de EMS (Sistema de Gestión de Energía) se incluyen en las descripciones de clases.

Cada atributo perteneciente a una determinada clase tiene su propio tipo de identificación, entre ellos los atributos típicos son los de tipo entero, flotante, booleano, cadena y enumeración, que se denominan tipos primitivos. Sin embargo, muchos tipos adicionales se definen como parte de la especificación CIM. Por ejemplo, ShuntCompensator tiene un atributo "maxU" de tipo Voltage. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

4.3.6.2. Relaciones entre Clases

Para poder definir la manera en que se relacionan en UML (*Unified Modeling Language*) dos o más clases existen algunos tipos de relaciones que permiten que esto sea posible describiendo detalladamente todo un sistema. Estas relaciones son las siguientes:

4.3.6.2.1. Generalización (Herencia)

Básicamente la “Generalización” describe la relación existente entre una clase general y sus versiones especializadas indicando que una clase especializada hereda todas las características de la clase general, pero que también tiene sus propios atributos, operaciones y relaciones con otras clases.

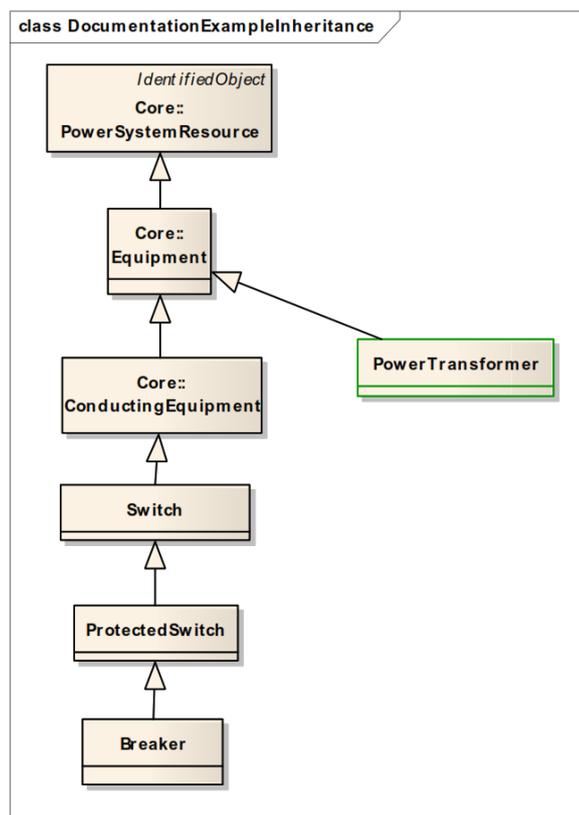


Figura 23. Ejemplo de Generalización

Fuente: (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Para su representación se lo hace por medio de una línea continua que termina en un triángulo como se muestra en la **Figura 23**, en donde además se ejemplifica la definición de la relación “Generalización”. En este ejemplo como se puede apreciar *ProtectedSwitch* es un tipo más específico de la clase *Switch*, que a su vez es un tipo más específico de la clase *ConductingEquipment*, así como también *PowerTransformer* es un tipo más específico de la clase *Equipment*.

4.3.6.2.2. Asociación Simple

Es un tipo de relación que vincula directamente al menos dos clases entre sí. La representación de este tipo de relación se lo hace por medio de una línea que en sus extremos presenta cierta información que permite una mejor comprensión de la relación existente, esta información puede presentarse con nombres o títulos denominados “roles” y/o también con valores numéricos que se definen como “cardinalidad”.

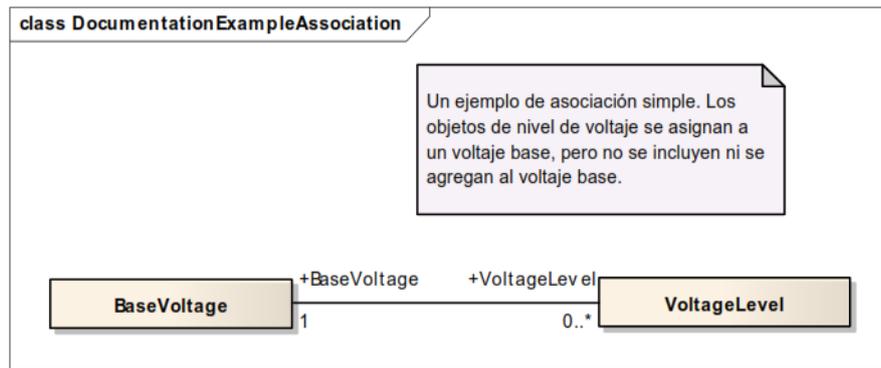


Figura 24. Ejemplo de Asociación Simple.

Fuente: (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

En la **Figura 24** se puede apreciar un sencillo ejemplo de *Asociación* entre las clases *Voltaje Base* y *Nivel de Voltaje*, la multiplicidad indicada en los extremos de la asociación se interpreta como que el objeto *VoltageLevel* (Nivel de Voltaje), puede hacer referencia a un objeto *BaseVoltage* (Voltaje Base), y un por el contrario un *BaseVoltage* puede ser referenciado por 0 a infinito número de objetos *VoltageLevel*.

4.3.6.2.3. Agregación

Es un tipo especial de asociación en donde se indica que una clase es contenedora de otra, pero no son totalmente interdependientes lo que significa que, si la clase contenedora fuera destruida, la otra seguirá existiendo. Al igual que la asociación simple también presenta atributos como *roles* y/o *cardinalidad* que permiten tener una mejor comprensión de la relación. Este tipo de asociación se representa por medio de una línea continua que en su extremo contiene un diamante claro, como se puede observar en la **Figura 25**. (A. McMorran, 2013)

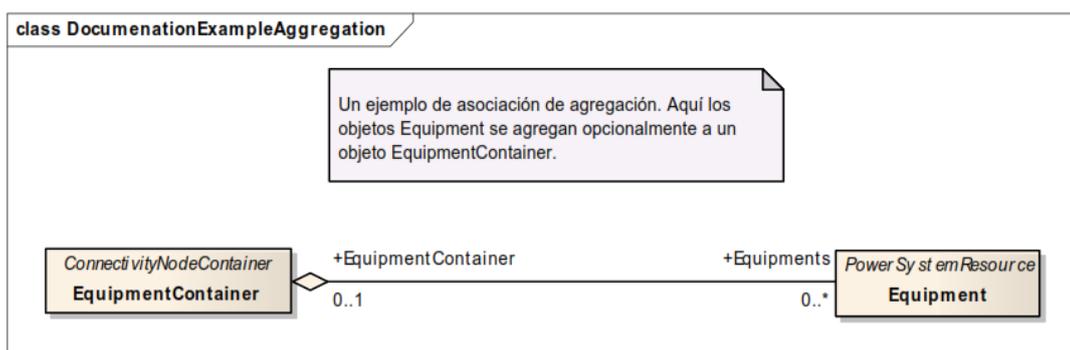


Figura 25. Ejemplo de Agregación

Fuente: (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Este ejemplo descrito en el CIM se lo puede interpretar como que un *Equipo* puede pertenecer a cero o un objeto *Contenedor de Equipo*, pero un objeto *Contenedor de Equipo* puede contener de cero a infinito número de objetos *Equipo*.

4.3.6.3. Multiplicidad

Las asociaciones tienen propiedades que representan el número de posibles conexiones entre el objeto y el objeto relacionado. Esta propiedad se llama la multiplicidad y se representa en un diagrama UML de clases, como un solo *número* o un par de números en cada extremo de la línea que representa la asociación. Cabe señalar que la multiplicidad se representa en ambos extremos de una asociación y que puede ser diferente en cada extremo. (Chiluisa Velasco & Martínez Mena, 2011)

Tabla 14. Multiplicidad al representar un diagrama UML.

Multiplicidad	Descripción
1	Uno y solo uno
0..1	Cero o uno
N..M	Desde N hasta M
*	Cero o varios
0..*	Cero o varias
1..*	Uno o varios (al menos uno)

Fuente. (Chiluisa Velasco & Martínez Mena, 2011)

4.3.7. Lenguaje de Marcas Extensible (XML)

4.3.7.1. Definición

El *eXtensible Markup Language* (XML), se define como un formato universal para representar o modelar documentos y datos estructurados, pudiendo también interpretarlo como el estándar para almacenar datos legibles entre aplicaciones y sistemas informáticos en un formato estructurado, extensible y de fácil acceso. XML es un metalenguaje que facilita el diseño de lenguaje de marcado para describir la estructura de los datos.

Los datos en XML están codificados como texto sin formato, lo que permite que sean legibles tanto por humanos como por máquinas. En base a esto, por ejemplo, si un tercero decide usar un documento creado en XML, es sencillo entender su estructura, procesarla y poderla comunicar entre aplicaciones de distintas plataformas sin que importe el origen de los datos, es decir, podríamos tener una aplicación en el sistema informático Linux con una base de datos Postgres y comunicarla con otra aplicación en Windows y Base de Datos MS-SQL Server. (Zambrano Asanza, 2011).

4.3.7.2. Historia y Objetivos de XML

El desarrollo de XML comenzó en 1996, siendo este un subconjunto del SGML “*Standard Gneralized Markup Language*” (norma ISO 8879 desde 1986 y desarrollada a principios de los 80), el lenguaje de marcado generalizado estándar diseñado para el almacenamiento y la transferencia de datos tanto en línea como fuera de línea. XML es una recomendación del consorcio de la Web (W3C) desde febrero del 1998, para su desarrollo sus diseñadores simplemente consideraron las partes esenciales de SGML y guiados por la experiencia con HTML produjeron algo tan poderoso como SGML, pero bastante asequible y fácil de usar como lo es XML. (Gómez Dueñas, 2011)

Los objetivos de diseño para XML son:

- 1) XML debe ser utilizable directamente sobre Internet.
- 2) XML debe soportar una amplia variedad de aplicaciones.
- 3) XML debe ser compatible con SGML.
- 4) Debe ser fácil la adquisición y manipulación de programas que procesen documentos XML.
- 5) El número de características opcionales en XML debe ser mantenido en un mínimo, idealmente cero.
- 6) Los documentos XML deben ser legibles por un humano y razonablemente claros.
- 7) El diseño de XML deber ser preparado rápidamente.
- 8) El diseño de XML deber ser formal y conciso.
- 9) Los documentos XML deben ser fáciles de crear.
- 10) El tiempo empleado en la marcación es de mínima importancia.

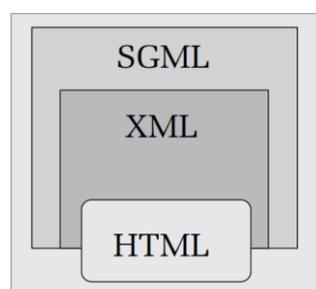


Figura 26. Jerarquía en los lenguajes de marca.
Fuente. (Gómez Dueñas, 2011)

4.3.7.3. Diferenciación de XML y HTML

Si comparamos al **lenguaje** HTML, creado con el objetivo de presentar documentos a los humanos a través de páginas web elegantes con un diseño de interfaz amigable, XML está

orientado al manejo de la estructura formal que componen dichos documentos. Sin embargo, gracias a su flexibilidad, un documento XML puede ser transformado mediante la utilización de archivos o softwares adicionales en documentos cuya interfaz sea amigable con el usuario o a su vez puedan ser visualizados con programas específicos como por ejemplo PDF, DOC, XLS, etc. (Gómez Dueñas, 2011)

En la **Tabla 15** se hace la comparación de la interfaz de un documento HTML y el contenido de un documento XML, describiéndose en cada caso su estructura lo que permite identificar además de manera sencilla las diferencias entre estos 2 lenguajes.

Tabla 15. Comparación HTML / XML.

HTML	XML
<pre> <table> <tr> <td>título</td> <td>autor</td> <td>precio</td> </tr> <tr> <td>Pensar</td> <td>B. Ortega</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>La leña</td> <td>M. Lao</td> <td>53</td> </tr> </table> </pre>	<pre> <libros> <libro> <título>título</título> <título>título</título> <precio>precio</precio> </libro> <libro> <título>pensar</título> <autor>B. Oña</autor> <precio>42</precio> </libro> <libro> <título>La leña</título> <autor> M. Lao </autor> <precio>53</precio> </libro> </libros> </pre>
<p>Aquí se observa cómo se dibuja una tabla utilizando el lenguaje HTML, donde la etiqueta <tr> </tr> corresponde al diseño de una fila, mientras que la etiqueta <td> </td> corresponde al diseño de una columna.</p>	<p>En este caso se observa la estructuración de un conjunto de libros mediante la descripción de sus campos básicos considerados para este ejemplo (título, autor, precio), sin embargo, no se revela ninguna forma de presentación de esta información de usuario.</p>

Fuente. (Gómez Dueñas, 2011)

4.3.7.4. Sintaxis de XML

La sintaxis del XML utiliza etiquetas dentro de un documento para indicar los elementos que lo conforman. Cada elemento se expresa como una etiqueta abierta y cerrada, entre ellas va el contenido de los datos como se puede evidenciar a continuación:

<Etiqueta>... Contenido de Datos ...</Etiqueta>

También se puede expresar con una sola entrada vacía cerrada con una barra al final:

<Etiqueta/>

Una entrada también puede contener sus propios atributos, mismo que se expresan como se indica:

`<Etiqueta Atributo1="texto" Atributo2="1234"/>` ó
`<Etiqueta Atributo1="texto" Atributo2="1234">...</Etiqueta>`

Cuando un elemento tiene una etiqueta de apertura y cierre, cualquier elemento contenido dentro de estas dos etiquetas se clasifica como "hijos" del elemento principal.

4.3.7.5. Partes de un documento XML

Ahora que hemos presentado el lenguaje XML, en este apartado se explica con más detalle las partes básicas de un documento XML.

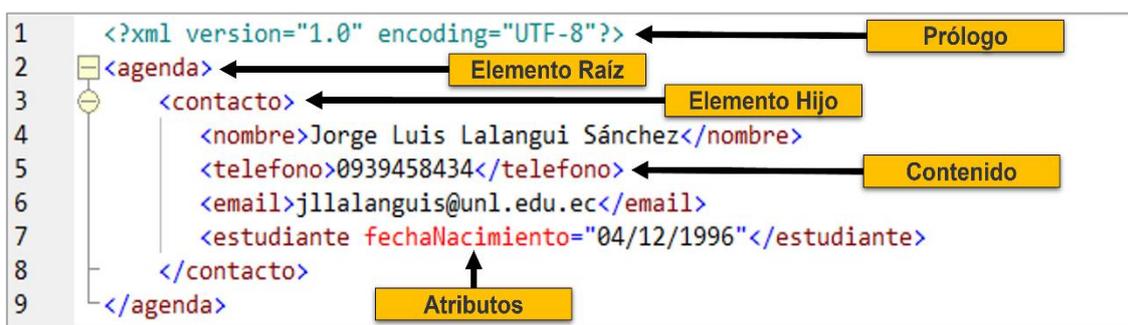


Figura 27. Partes de un documento XML.

Fuente. Autor

Como hemos podido observar en el apartado anterior, el primer componente lo constituyen las etiquetas mediante las que se organiza y estructura la información, mientras que el segundo es, simplemente, la «verdadera información» del documento.

En otras palabras, un documento XML está constituido, por un lado, por las etiquetas y, por otro, por los datos que aparecen entre éstas. Estas marcas o etiquetas están estructuradas en árbol, lo que facilita determinar la jerarquía de la información que en él se presenta.

4.3.7.5.1. Prologo

Éste es el nombre que recibe la primera línea de todo documento XML y que, en la **Figura 27**, es la línea 1. En el prólogo se declara que el archivo es un documento XML («<?xml»») y se detalla la versión del lenguaje XML utilizada para la composición del documento (en este caso, «versión="1.0"»). Como podemos observar, también queda expresado en este prólogo la codificación de caracteres empleada en el documento (en nuestro ejemplo, «encoding="UTF-8"»). (Aranzana Gonzáles, 2012)

4.3.7.5.2. *Elementos*

Los elementos son los que forman el esqueleto en árbol de un documento XML. Estos aparecen delimitados por una etiqueta de apertura y una de cierre (<contacto> </contacto> en el caso del documento de la **Figura 27**, por ejemplo) entre las que se incluye la información deseada.

Al elemento principal en la jerarquía en árbol de un documento XML se le denomina elemento raíz. En la **Figura 27** el elemento raíz es <agenda>.

Es preciso tener en mente que el lenguaje XML hace distinción entre mayúsculas y minúsculas, por lo que hay que emplearlas de una manera homogénea a lo largo de todo el documento. Por otro lado, en el nombre de los elementos no se pueden incluir espacios. De este modo, sí que sería válido, por ejemplo, el nombre «<fechaNacimiento>», pero no «<fecha Nacimiento>». (Aranzana Gonzáles, 2012)

4.3.7.5.3. *Atributos*

Los atributos presentan información adicional que se asocia a los elementos para, por ejemplo, definir la fecha de nacimiento de una persona como en la **Figura 27**. No tienen por qué aparecer en todos los documentos XML y, en caso de que se introduzcan, tampoco es necesario asociarlos a todos y cada uno de los elementos. (Aranzana Gonzáles, 2012)

4.3.7.5.4. *Comentarios*

Siempre que quieran, los creadores del documento pueden añadir comentarios en cualquier parte del mismo. El texto del comentario debe ir insertado entre la combinación de caracteres «<!-->» y «-->». Las aplicaciones no procesan estos comentarios, pero pueden leerse al editar el documento con los programas empleados para ello. (Aranzana Gonzáles, 2012)

CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO 3

En el tercer capítulo se ha logrado sistematizar todos los fundamentos del Modelo de Información Común (CIM), destacando el uso del Lenguaje de Modelado Unificado (UML), que permite entender la forma de representar un sistema eléctrico de potencia bajo el enfoque de la programación orientada a objetos y de acuerdo a lo especificado en el estándar IEC 61970. Asimismo, se presenta los fundamentos del Lenguaje de Marcas Extensible (XML), lenguaje único aceptado para guardar la información de un sistema eléctrico de potencia denominado CIM/XML. Este formato de archivo es aquel utilizado por las empresas y fabricantes de software como base de datos inicial para proceder a realizar los distintos análisis.

5. Metodología

5.1. Materiales

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se emplearon algunos materiales, mismos que se detallan a continuación:

5.1.1. Recursos Materiales

5.1.1.1. Material de Oficina

- Computadora
- Internet
- Mouse
- Impresora
- Resma de papel

5.1.1.2. Software

- Mendeley
- Paquete de Microsoft Office
- Editor PDF Nitro Gratis
- Enterprise Architect

Para la modelación en formato CIM/XML basado en los protocolos del Estándar IEC61970-301 del Diagrama Unifilar en el Sistema Nacional Interconectado se emplearon diversos softwares, de los cuales, todos se trabajó con licencias de acceso libre. Estos programas se describen a continuación:

- Documentos de Texto de Windows
- Altova XMLSpy v2018
- NetBeans IDE v8.2
- CimPlanner v2019
- JAVA Oracle v1.8.0_111-b14

5.1.2. Recursos Bibliográfico

- Estándar IEC 61970
- Modelo CIM/XML de Sistema de transmisión **IEEE New England Test System de 39 nodos** (2014-08-25-IEEE39-Bus_System_CIM-Model_v5_estadoNORMAL)

Además de ellos también se emplearon materiales exclusivos, de los cuales es necesario se realice una descripción más. A continuación se detalla la versión del Sistema Eléctrico de Potencia establecido para modelar en base al CIM por medio del Estándar IEC 61970, el cual fue el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador.

5.1.2.1. Diagrama Unifilar del SNI del Ecuador – Config. abril de 2020

Una vez realizado el estudio de Estándar IEC 61970-301, sus protocolos y también entender el Lenguaje de Marcas Extensible (XML), fue importante analizar el Sistema sobre el cual se aplicaría como resultado final todos estos conceptos. Dicho análisis fue sobre el Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador con su diagrama unifilar **Configuración de Abril-2020**, que a la fecha de su búsqueda fue el sistema más actual al que se pudo tener acceso y además en comparaciones con otras versiones era el más completo. Cabe indicar que el estudio se centró en todos los niveles de tensión identificados en el sistema en estudio, los cuales se identifican con un color que se detallan en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Simbología Niveles de Tensión SNI.

SIMBOLOGIA SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO	
	500 kV
	230 kV
	138 kV
	69 kV – 46 kV 23 kV – 13.8 kV

Fuente. (Operador Nacional de Electricidad - CENACE, 2020)

El diagrama unifilar de Sistema Nacional Interconectado del Ecuador (SNI) empleado en este trabajo de investigación y en donde además se puede evidenciar la numeración a cada una de las barras en el análisis previo de este sistema, se lo presenta en el **Anexo 4**. En este sistema se destaca su anillo de transmisión 230 kV y el sistema troncal de transmisión de 500 kV, los cuales conectan los principales centros de generación con los puntos de entrega de los sistemas de distribución a niveles de tensión de 138 kV, 69 kV, 46 kV, 23 kV y 13.8 kV.

5.2. Métodos

Para la realización del presente trabajo de titulación se llevó a cabo una serie de pasos, los cuales parten desde la sistematización de contenidos del estándar IEC 61970-301 hasta la modelación en formato CIM/XML del SNI del Ecuador.

5.2.1. Sistematización de contenidos del Estándar IEC 61970-301

Como primer paso en nuestro trabajo de investigación se procedió con el estudio comprensivo y posteriormente la sistematización de los contenidos de la Norma o Estándar 61970-301, establecido por la *Comisión Electrotécnica Internacional* (IEC) que es una organización mundial de normalización cuyo objetivo es promover la cooperación internacional en todas las cuestiones relativas a la normalización en los campos eléctrico y electrónico.

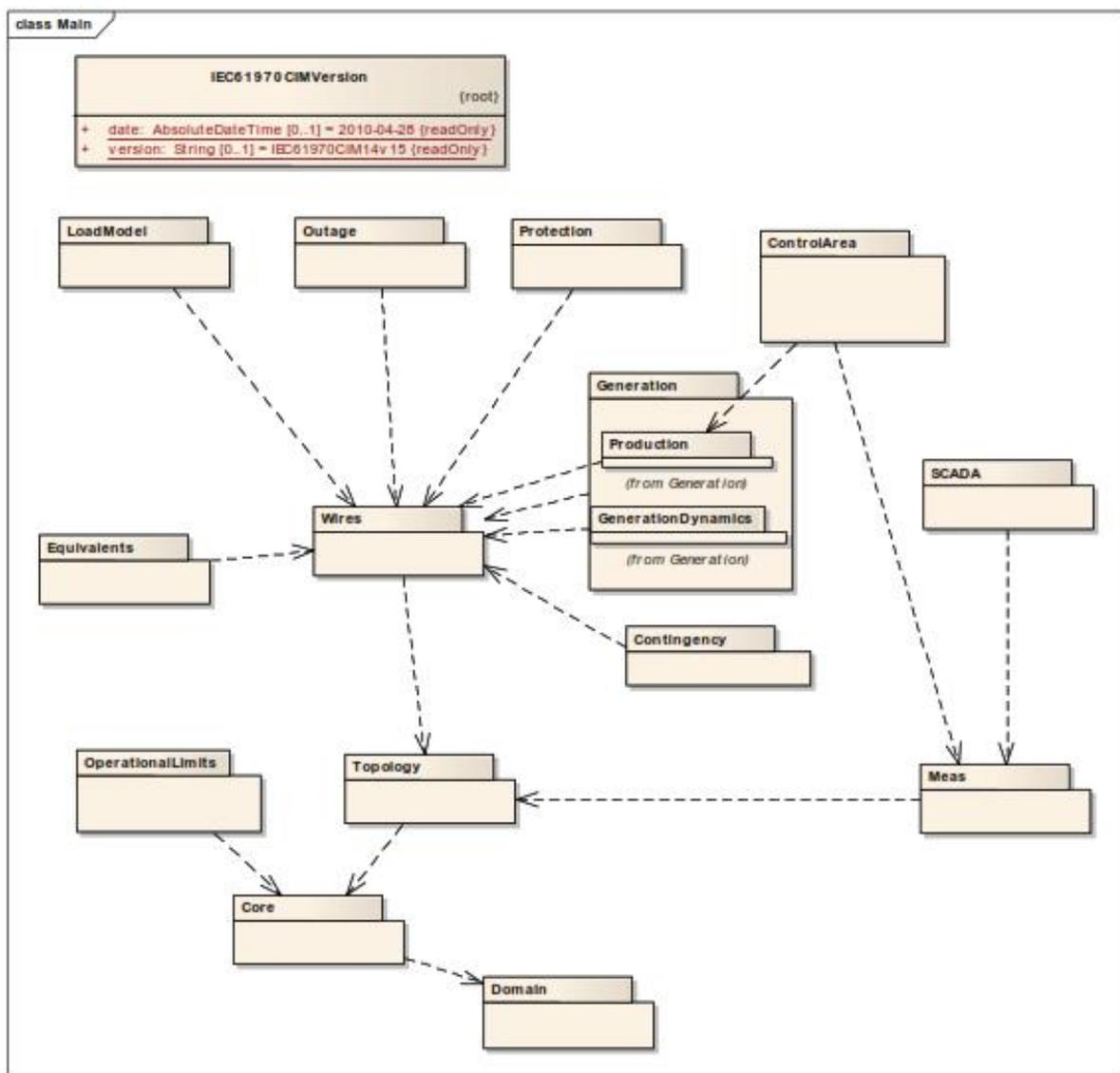


Figura 28. Paquetes relevantes del Estándar IEC-61970 y sus dependencias lógicas.

Fuente: (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

El *Modelo Común de Información* (CIM) fue creado por el **EPRI** y adoptado posteriormente por la **IEC** (explicado en el primer capítulo de este proyecto), con el fin de facilitar la interoperabilidad entre aplicaciones de distintos fabricantes en los sistemas de gestión de redes eléctricas. La presente investigación se centra en la serie **301** de la Norma Internacional IEC 61970 que ha sido preparada por el comité técnico 57 de IEC denominado: “Gestión de sistemas de energía e intercambio de información asociada”, el resto de normas de las series IEC 61970 al igual que la IEC 61968 especifican estructuras generales que deben seguir las aplicaciones que forman parte de los sistemas de gestión, servicios de comunicación generales que deben proporcionar y formatos concretos para el intercambio de información.

Para el presente trabajo y poder cumplir con sus objetivos se trabajó en base a la Norma IEC 61970-301 en su **cuarta edición** la cual anula y sustituye a la tercera, publicada en el año 2011. Esta cuarta edición constituye una revisión técnica y sus principales cambios respecto de la tercera edición incluyen los siguientes:

- Se agregaron extensiones para admitir el intercambio de UCTE.
- Se movieron varias clases de 61970 al paquete de Activos en 61968.
- Modelo de regulación de transformador modificado y ampliado para soportar los modelos de transformador de cambio de fase necesarios para ENTSO-E.
- Se agregaron términos de impedancia de secuencia negativa y cero donde faltaban.
- Se agregó un nuevo paquete StateVariables para admitir el intercambio de soluciones de modelos de red de flujo de energía, estimación de estado, etc.

Otro aspecto importante a mencionar en cuanto a la Sistematización de los contenidos de la Norma IEC 61970-301 es referente a los paquetes que fueron objeto de estudio o que fueron de utilidad para la modelación del SNI, porque como ya mencionó en secciones anteriores el total de paquetes que contemplan el Estándar en estudio son 17, de los cuales únicamente 7 de ellos contienen las clases básicas para definir las características físicas de una red eléctrica, estos paquetes son y sus dependencias lógicas se muestran en la **Figura 28**:

- | | |
|--------------------|----------------------|
| • Paquete Domain | • Paquete Generation |
| • Paquete Core | • Paquete Production |
| • Paquete Topology | • Paquete LoadModel |
| • Paquete Wires | |

Estos paquetes se detallan a continuación sistematizando en cada uno de ellos únicamente las clases que permiten modelar un Sistema de Gestión de Energía. Para la descripción de cada

clase se explicará su definición y tanto sus atributos como sus conexiones con otros componentes.

5.2.1.1. IEC61970CIMVersion Clase Raíz

Esta es la denominación numérica que define la versión CIM IEC-61970 asignado al archivo de modelo XML. Los atributos de esta clase se definen en la **Tabla 17**:

Tabla 17: Atributos de *IEC61970CIMVersion*.

Nombre	Tipo	Descripción
date=2010-04-28 (const)	AbsoluteDateTime	El estilo es AAAA-MM-DD, por ejemplo, para el 5 de enero de 2009 es 2009-01-05.
version=IEC61970CIM14v15 (const)	String	La forma es IEC61970CIMXXvYY donde XX es la versión principal del paquete CIM y el YY es la versión menor. Por ejemplo, IEC61970CIM13v18.

Fuente: (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2. Package Domain

El estándar principal IEC 61970-301 contiene ocho paquetes principales y un paquete de dominio global que como ya se mencionó en secciones anteriores se utiliza para definir los tipos de datos y del cual a continuación se describirán todas las clases que fueron base para la modelación del SNI del Ecuador, ya que también existen otras que se utilizan para procesos comerciales y no para definir las propiedades de un modelo de sistema eléctrico de potencia completo en formato CIM.

Los tipos de datos básicos y que son la base para otras clases se muestran a continuación en la **Figura 29**.

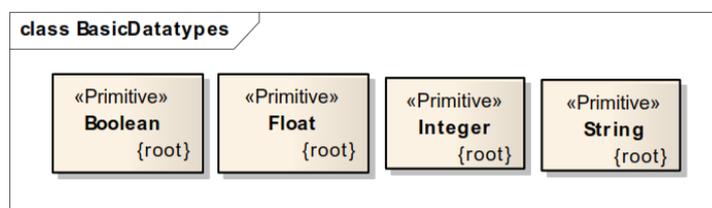


Figura 29. Tipos de datos básicos en una clase.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

En este paquete se definen además todos los tipos de datos relacionados con la electricidad incluidas sus unidades de medida, como se muestra a continuación en la **Figura 30**.

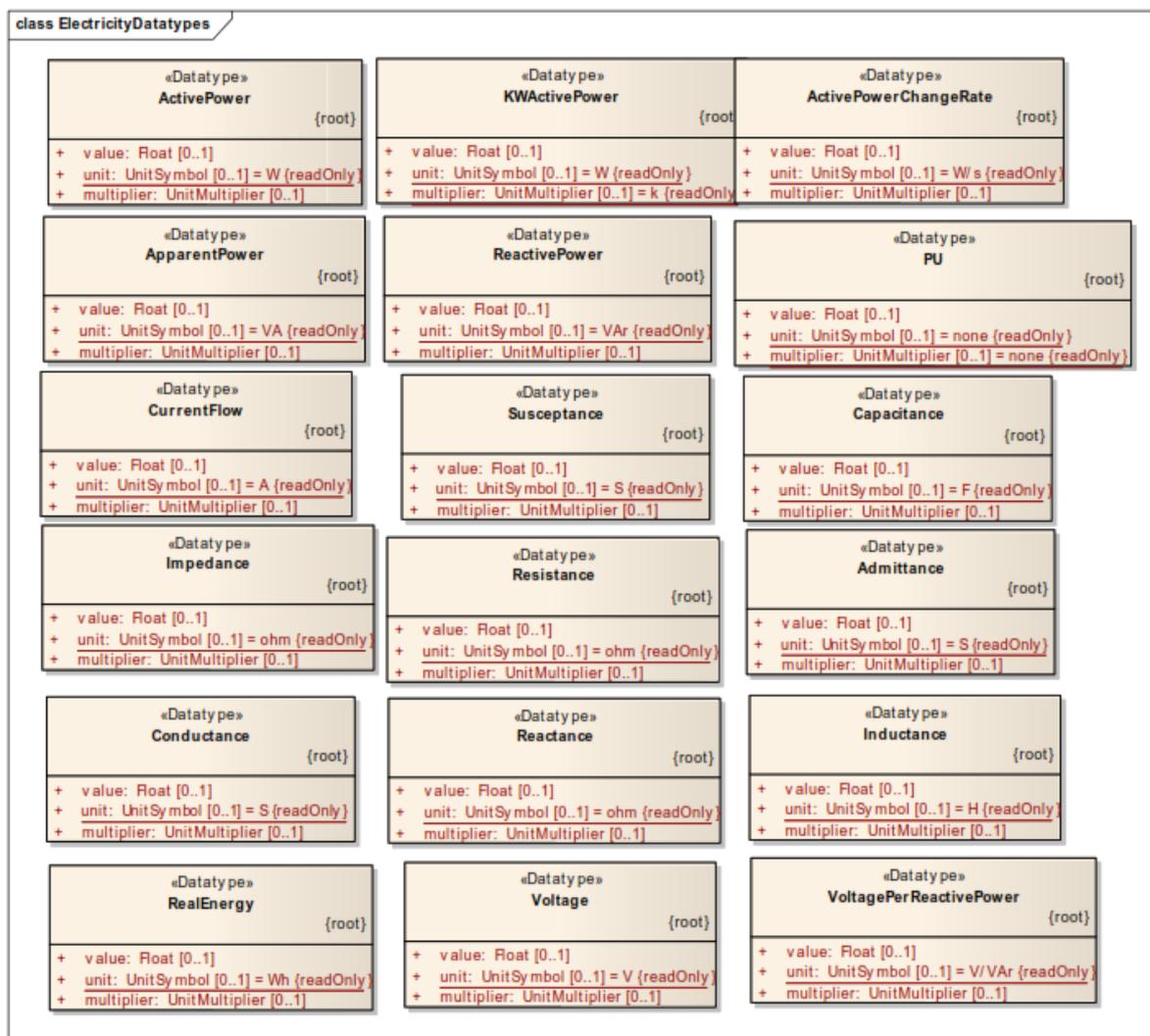


Figura 30. Tipos de datos y unidades eléctricas.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.1. *ActivePower datatype*

Producto del valor RMS de la tensión y el valor RMS de la componente en fase de la corriente. Sus atributos se pueden evidenciar en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Atributos de la clase *ActivePower datatype*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	Float	
unit=W (const)	UnitSymbol	
multiplier	UnitMultiplier	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.2. *ApparentPower datatype*

Producto del valor RMS de la tensión y el valor RMS de la corriente. Sus atributos se pueden evidenciar en la **Tabla 19**.

Tabla 19. Atributos de la clase *ApparentPower datatype*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	Float	
unit=VA (const)	UnitSymbol	
multiplier	UnitMultiplier	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.3. *Boolean primitive*

Es un tipo de dato con espacio de valores "verdadero" y "falso".

5.2.1.2.4. *Conductance datatype*

Factor por el cual se debe multiplicar el voltaje para obtener la pérdida de potencia correspondiente de un circuito. Sus atributos se pueden evidenciar en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Atributos de la clase *Conductance datatype*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	Float	
unit=S (const)	UnitSymbol	
multiplier	UnitMultiplier	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.5. *CurrentFlow datatype*

Flujo de carga eléctrica o corriente que recorre un sistema (el flujo positivo sale del equipo conductor hacia el nodo de conectividad). Sus atributos se indican en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Atributos de la clase *CurrentFlow datatype*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	Float	
unit=A (const)	UnitSymbol	
multiplier	UnitMultiplier	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.6. *Float primitive*

Un número de punto flotante. El rango no está especificado y no está limitado.

5.2.1.2.7. *Integer primitive*

Un número entero. El rango no está especificado y no está limitado.

5.2.1.2.8. *PerCent datatype*

Define un porcentaje, normalmente se establece un valor entre 0 - 100 en una base definida. Sus atributos se indican en la **Tabla 21**.

Tabla 22. Atributos de la clase *PerCent datatype*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	Float	Normalmente 0 - 100 en una base definida
unit=none (const)	UnitSymbol	
Multiplier=none (const)	UnitMultiplier	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.9. *Reactance datatype*

Reactancia (parte imaginaria de la impedancia), a frecuencia nominal. Sus atributos se indican en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Atributos de las clases *Reactance datatype* y *Resistance datatype*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	Float	
unit=ohm (const)	UnitSymbol	
Multiplier	UnitMultiplier	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.10. *ReactivePower*

Producto del valor RMS del voltaje y el valor RMS del componente de cuadratura de la corriente. Sus atributos se indican en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Atributos de la clase *ReactivePower datatype*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	Float	
unit=VAr (const)	UnitSymbol	
Multiplier	UnitMultiplier	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.2.11. *Resistance datatype*

Resistencia (parte real de la impedancia). Sus atributos se indican en la **Tabla 23**.

5.2.1.2.12. *String primitive*

Una cadena que consta de una secuencia de caracteres de 8 bits. La codificación de caracteres es UTF-8. La longitud de la cadena no está especificada y es ilimitada.

5.2.1.2.13. *UnitSymbol enumeration*

La **Tabla 25** presenta todas las unidades definidas para uso en el CIM.

Tabla 25. Unidades usadas en el CIM.

Literal	Descripción
VA	Potencia aparente en voltios amperios
W	Potencia activa en vatios
VAr	Potencia reactiva en voltios amperios reactivos
VAh	Energía aparente en voltios amperios hora
Wh	Energía real en qué horas
VArh	Energía reactiva en voltios amperios horas reactivas
V	Voltaje en voltios
ohm	Resistencia en ohmios
A	Corriente en amperios
F	Capacitancia en farad
H	Inductancia en Henry
°C	Temperatura relativa en grados Celsius
s	Tiempo en segundos
min	Tiempo en minutos
h	Tiempo en horas
deg	Ángulo plano en grados

Literal	Descripción
rad	Ángulo plano en radianes
J	Energía en Joule
N	Fuerza en Newton
S	Conductancia en siemens
none	Cantidad adimensional, p. número, por unidad, etc.
Hz	Frecuencia en hertz
g	Masa en gramos
Pa	Presión en pascales (n/m ²)
m	Longitud en metros
m ²	Área en metros cuadrados
m ³	Volumen en metros cúbicos
V/VAr	Voltio por voltio amperio reactivo
W/Hz	Vatio por hercio
J/s	Joule por segundo
s-1	por segundo
kg/J	Masa por energía
W/s	Watio por segundo
Hz-1	Por hertz

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3. Package Core

Contiene las entidades centrales de *PowerSystemResource* y *ConductingEquipment* compartidas por todas las aplicaciones, más las colecciones comunes de esas entidades.

No todas las aplicaciones requieren todas las entidades principales. Este paquete no depende de ningún otro, excepto el “Package Domain”, aunque la mayoría de los otros paquetes tienen asociaciones y generalizaciones que dependen de él.

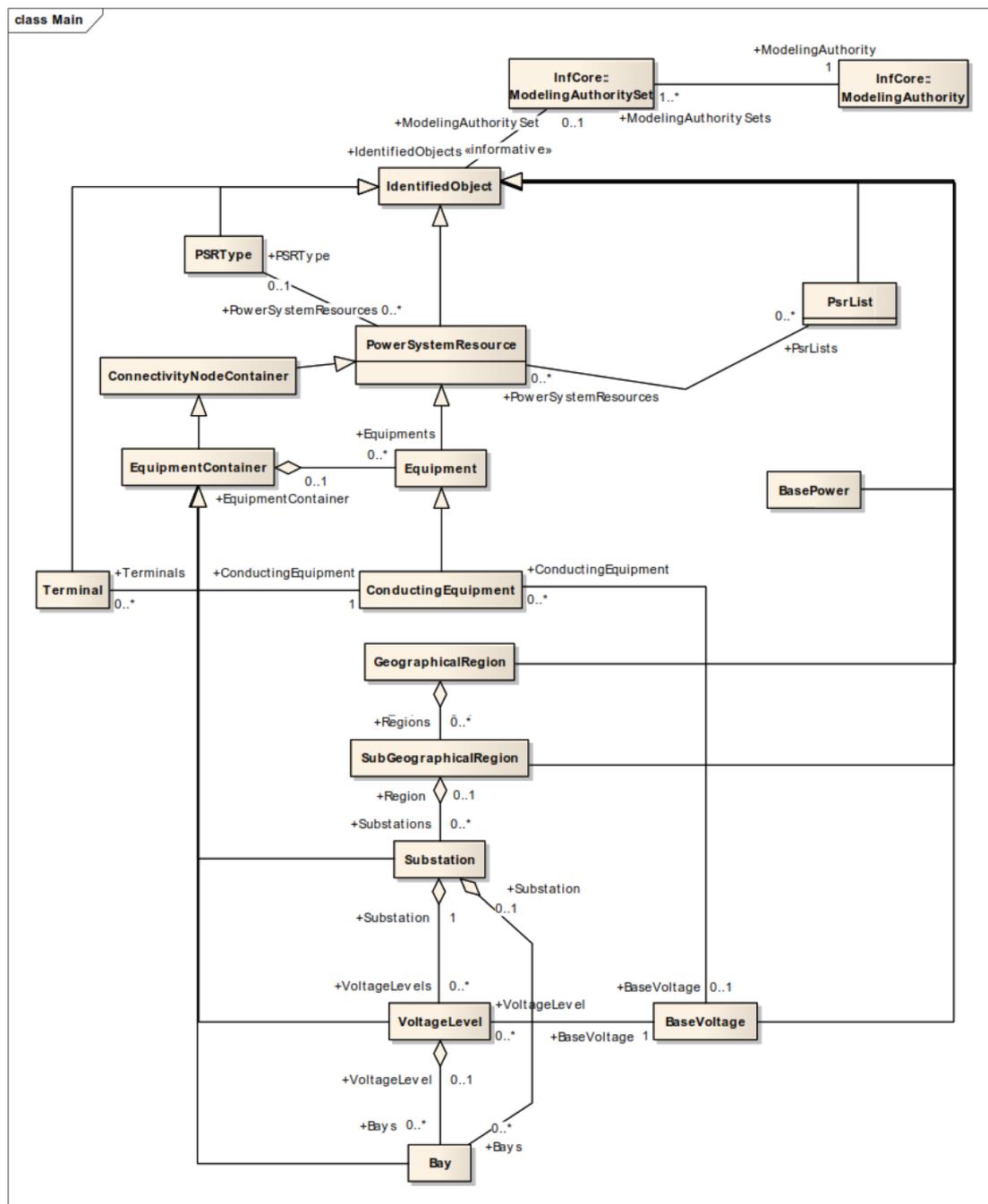


Figura 31. Clases para aplicación del CIM al modelar sistemas de transmisión y generación.
Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.1. *BasePower*

La clase *BasePower* define la potencia base utilizada en los cálculos por unidad.

Tabla 26. Atributos de la clase *BasePower*

Nombre	Tipo	Descripción
basePower	ApparentPower	Descripción de potencia base.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Además de la característica propia de esta clase mostrada en la **Tabla 26**, es propicio mencionar que además hereda atributos propios de la clase *IdentifiedObject*.

5.2.1.3.2. *BaseVoltage*

Define un voltaje base nominal al que se hace referencia en el sistema.

Tabla 27. Atributos de la clase BaseVoltage

Nombre	Tipo	Descripción
isDC	Boolean	Si es verdadero, este es un voltaje base de corriente continua y los elementos asignados a este voltaje base también están asociados con capacidades de corriente continua. Por el contrario, si es Falso indica corriente alterna.
nominalVoltage	Voltage	Voltaje base de <i>PowerSystemResource</i> .

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Además de las características propias de esta clase expuestas en la **Tabla 27**, hereda atributos propios de la clase *IdentifiedObject*. En cuanto a los extremos de asociación de *BaseVoltage* con otras clases se pueden apreciar en la **Tabla 28**:

Tabla 28. Extremos de asociacion de BaseVoltage con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[0..*] ConductingEquipment	ConductingEquipment	Utilice la asociación a ConductingEquipment solo cuando no se utilice ningún contenedor VoltageLevel.
[1..1]	[0..*] VoltageLevel	VoltageLevel	Para los niveles de voltaje que tiene esta clase.
[0..0]	[0..*] TopologicalNode	TopologicalNode	Los nodos topológicos en el voltaje base.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.3. *Bay*

Una colección de recursos del sistema de energía (dentro de una subestación dada) que incluye equipos conductores, relés de protección, mediciones y telemetría.

Tabla 29. Atributos de la clase Bay

Nombre	Tipo	Descripción
bayEnergyMeasFlag	Boolean	Indica la presencia o ausencia de mediciones de energía.
bayPowerMeasFlag	Boolean	Indica la presencia o ausencia de mediciones de potencia activa/reactiva.
breakerConfiguration	BreakerConfiguration	Configuración del interruptor.
busBarConfiguration	BusbarConfiguration	Configuración de la barra de bus.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de la clase *Bay* con otras clases se muestran en la **Tabla 30**, pero además de ellos se debe tomar en cuenta que hereda otros que son propios de las clases *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

Tabla 30. Extremos de asociación de Bay con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..*] Substation	Substation	Utilice la asociación a <i>ConductingEquipment</i> solo cuando no se utilice ningún contenedor <i>VoltageLevel</i> .
[0..*]	[0..*] VoltageLevel	VoltageLevel	Para los niveles de voltaje que tiene esta clase.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.4. *ConductingEquipment*

Esta clase define las partes del sistema de energía que están diseñadas para transportar corriente o que están conectadas conductivamente con el mismo. *ConductingEquipment* está contenido dentro de un “Contenedor de equipo” que puede ser una Subestación, un Nivel de voltaje o una Bahía dentro de una Subestación.

Los atributos propios de la clase *ConductingEquipment* se muestran en la **Tabla 31**, sin embargo, estos no son los únicos, también hereda otros que son característicos de las clases *Equipment* y *IdentifiedObject*.

Tabla 31. Atributos de la clase *ConductingEquipment*.

Nombre	Tipo	Descripción
phases	PhaseCode	Describe las fases que lleva un equipo conductor.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de esta clase con otras se pueden apreciar en la **Tabla 32**, pero además de aquellos se debe indicar que además hereda otros que son propios de las clases *Equipment*, y *PowerSystemResource*.

Tabla 32. Extremos de asociación de *ConductingEquipment* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..1] BaseVoltage	BaseVoltage	Use la asociación a <i>ConductingEquipment</i> solo cuando no se use un contenedor de <i>VoltageLevel</i> .
[1..1]	[0..*] Terminals	Terminal	<i>ConductingEquipment</i> tiene 1 o 2 terminales que se pueden conectar a otros terminales de <i>ConductingEquipment</i> a través de <i>ConnectivityNodes</i>
[0..*]	[0..*] ProtectionEquipments	ProtectionEquipment	Se puede usar equipo de protección para proteger equipos conductores específicos. Múltiples equipos pueden estar protegidos o monitoreados por múltiples equipos de protección.
[1..1]	[0..*] Clearancetags	ClearanceTag	El equipo de conducción puede tener múltiples etiquetas de autorización para trabajo de campo autorizado.
[1..1]	[0..1] SvStatus	SvStatus	El estado de la asociación con el equipo conductor.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.5. *ConnectivityNode*

Los nodos de conectividad son puntos donde los terminales de los equipos conductores están conectados entre sí con impedancia cero.

Todos los atributos propios de esta clase son todos aquellos que pertenecen o son heredados de *IdentifiedObject*. Mientras tanto, para representar los extremos de asociación de esta clase con otras se emplean los indicados en la **Tabla 33**:

Tabla 33. Extremos de asociación de *ConnectivityNode* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[1..1] ConnectivityNode Container	ConnectivityNode Container	Contenedor de este nodo de conectividad.
[0..*]	[0..1] TopologicalNode	TopologicalNode	Varios ConnectivityNode(s) pueden combinarse para formar un único TopologicalNode, dependiendo del estado actual de la red.
[0..*]	[0..1] BusNameMarker	BusNameMarker	El nombre asociado del bus (TopologicalNode) que contiene ConnectivityNode se deriva mediante un algoritmo que utiliza el marcador de nombre de bus.
[0..1]	[0..*] Terminals	Terminal	Los terminales se interconectan con impedancia cero en un nodo. Las mediciones en un nodo se aplican a todos sus terminales.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.6. *ConnectivityNodeContainer*

Una clase base para todos los objetos que pueden contener ConnectivityNodes o TopologicalNodes. Al igual que *ConnectivityNode* todos los atributos propios de esta clase son todos aquellos que pertenecen o son heredados de *IdentifiedObject*, y en la **Tabla 34** se presentan los extremos de asociación de esta clase con otras.

Tabla 34. Extremos de asociación de *ConnectivityNodeContainer* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..*] ConnectivityNodes	ConnectivityNode	Nodos de conectividad contenidos en este contenedor.
[0..1]	[0..*] TopologicalNode	TopologicalNode	Los nodos topológicos que pertenecen a este contenedor de nodos de conectividad.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Además de aquellos extremos de asociación anteriormente mencionados *ConnectivityNodeContainer* hereda otros propios de la clase *PowerSystemResource*.

5.2.1.3.7. *Equipment*

Define los componentes de un sistema de energía que pueden ser dispositivos físicos, electrónicos o mecánicos. Los atributos de esta clase son los indicados en la **Tabla 35**, además de aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject*.

Tabla 35. Atributos de la clase *Equipment*.

Nombre	Tipo	Descripción
normallyInService	Boolean	El equipo está normalmente en servicio.
aggregate	Boolean	Representa múltiples piezas de equipo que se han modelado juntas como un agregado. Como ejemplos tenemos a <i>PowerTransformers</i> o <i>SynchronousMachines</i> que operan en paralelo, modelados como un único <i>PowerTransformer</i> agregado o agregado <i>SynchronousMachine</i> . Esto no debe usarse para indicar equipos que forman parte de un grupo de equipos interdependientes producidos por un programa de producción en red.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de *Equipment* con otras clases son manifiestos en la **Tabla 36**, pero además de aquellos también hereda otros que son propios de la clase *PowerSystemResource*.

Tabla 36. Extremos de asociación de *Equipment* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..1] EquipmentContainer	EquipmentContainer	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.
[1..1]	[0..*] OperationalLimitSet	OperationalLimitSet	El límite del equipo se establece asociado con el equipo.
[1..1]	[0..*] ContingencyEquipment	ContingencyEquipment	El elemento de contingencia asociado con el equipo.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.8. *EquipmentContainer*

Contiene la clase *ConductingEquipment* y permite proporcionar una clase raíz para contener equipos en un Sistema de Energía. Puede ser una Subestación “Substation”, un Nivel de Tensión “VoltageLevel” o una Bahía “Bay” contenidos en una Subestación.

Todos los atributos propios de esta clase son aquellos heredados de *IdentifiedObject* y los extremos de asociación con otras clases son los indicados en la **Tabla 37**, además de los que hereda de las clases *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

Tabla 37. Extremos de asociación de *EquipmentContainer* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[0..*] Equipments	Equipment	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.9. *GeographicalRegion*

Permite representar una región geográfica de un modelo de red de sistema eléctrico.

Al igual que ciertas clases anteriormente descritas, los atributos propios de esta clase son todos aquellos que pertenecen o son heredados de *IdentifiedObject* y para representar los extremos de asociación de esta clase con otras se emplean los indicados en la **Tabla 38**:

Tabla 38. Extremos de asociación de *GeographicalRegion* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[0..*] Regions	SubGeographicalRegion	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.10. *IdentifiedObject*

Esta es una clase raíz para proporcionar atributos de nomenclatura comunes para todas las clases que los necesiten.

Los atributos de *IdentifiedObject* se describen a continuación en la **Tabla 39**, mismos que son heredados por todas las demás clases que se describen en este documento.

Tabla 39. Atributos de la clase *IdentifiedObject*.

Nombre	Tipo	Descripción
mRID	String	Una Autoridad Modelo emite mRIDs. Dado que cada autoridad modelo tiene una identificación única y esta identificación es parte del mRID, entonces el mRID es globalmente único.
name	String	Nombre del objeto de texto libre legible para cualquier persona. Puede que no sea único y no se corresponda con una jerarquía de nombres.
localName	String	Nombre del objeto legible para cualquier persona. Solo se usa con objetos organizados en una jerarquía de nombres, la más simple de estas jerarquías tiene solo un padre (la raíz) que proporciona una jerarquía de nombres plana. Sin embargo, la jerarquía de nombres suele tener varios niveles, p. Ej. Subestación, Nivel de voltaje, Equipo, etc. Los hijos del mismo padre tienen nombres que son únicos entre ellos. Si no se puede cumplir el requisito de unicidad, <i>IdentifiedObject.localName</i> no se utilizará, utilice <i>IdentifiedObject.name</i> en su lugar.
pathName	String	Nombre único del sistema, compuesto por todos los <i>IdentifiedObject.localNames</i> en una ruta de jerarquía de nombres desde el objeto hasta la raíz.
aliasName	String	Nombre del objeto alternativo a <i>IdentifiedObject.name</i> legible para cualquier persona. Puede que no sea único y no se corresponda con una jerarquía de nombres.
description	String	Texto libre legible por cualquier persona que describe o nombra el objeto. Puede que no sea único y no se correlacione con una jerarquía de nombres.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.11. *PowerSystemResource*

Un *PowerSystemResource* o “Recurso del Sistema de Energía” puede ser un elemento de equipo como un conmutador, un contenedor de equipo que contiene muchos elementos individuales como una subestación o una entidad organizativa como una empresa o un área de control secundaria. Esto proporciona el anidamiento de colecciones de *PowerSystemResources* dentro de otros *PowerSystemResources*. Por ejemplo, un conmutador podría ser miembro de una subestación y una subestación podría ser miembro de una división de una empresa.

Los atributos que conforman *PowerSystemResource* son todos aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject*, y sus extremos de asociación con otras clases son los que se indican a continuación en la **Tabla 40**:

Tabla 40. Extremos de asociación de *PowerSystemResources* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..1] PSRType	PSRType	PSRType (clasificación personalizada) para este <i>PowerSystemResource</i> .
[0..1]	[0..*] Measurements	Measurement	Las medidas que se incluyen en la jerarquía de nombres donde el PSR es el objeto contenedor.
[1..1]	[0..*] OperatingShare	OperatingShare	La vinculación a cualquier número de objetos de recurso compartido en estado operativo.
[0..*]	[0..*] PsrLists	PsrList	
[1..1]	[0..1] OutageSchedule	OutageSchedule	Un recurso del sistema de energía puede tener un horario de interrupciones
[0..*]	[0..*] ReportingGroup	ReportingGroup	Grupos de informes a los que pertenece <i>PowerSystemResource</i> .
[0..*]	[0..1] Location	Location	Define la ubicación del <i>PowerSystemResource</i> .

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.12. *SubGeographicalRegion*

Representa un *subconjunto* de una región geográfica dentro de un modelo de red de un Sistema de Energía.

Los atributos que *conforman* *SubGeographicalRegion* son todos aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject* y sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 41**.

Tabla 41. Extremos de asociación de *SubGeographicalRegion* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[0..*] Substations	Substation	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.
[0..1]	[0..*] Lines	Line	Una línea puede ser contenida por una <i>SubGeographicalRegion</i> .
[0..*]	[0..1] Region	GeographicalRegion	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.13. *Substation*

Permite representar una colección de equipos para fines distintos en la generación o utilización de energía eléctrica, a través de la cual se traslada esta energía en grandes cantidades con el fin de cambiar o modificar sus características.

Los atributos que conforman *Substation* son todos aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject* y sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 42**, además de los que hereda de las clases *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

Tabla 42. Extremos de asociación de *Substation* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..*] VoltageLevels	VoltageLevel	
[0..*]	[0..1] Region	SubGeographicalRegion	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.
[0..1]	[0..*] Bays	Bay	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.14. *Terminal*

Define un punto de conexión eléctrica hacia un equipo conductor. Los terminales están conectados en puntos de conexión físicos, llamados "nodos de conectividad".

Los atributos propios de la clase *Terminal* se muestran en la **Tabla 43**, pero además hereda otros que son característicos de la clase *IdentifiedObject*.

Tabla 43. Atributos de la clase *Terminal*.

Nombre	Tipo	Descripción
		Está relacionado con un modelo de bus-rama y la relación TopologicalNode-Terminal. Verdadero implica que la Terminal está conectada al <i>TopologicalNode</i> relacionado y falso implica que no lo está.
connected	Boolean	En un modelo de bus-rama, el estado conectado se usa para decir si el equipo está desconectado sin tener que cambiar la conectividad descrita por la relación TopologicalNode-Terminal, por ejemplo, <i>ConductingEquipment</i> se puede conectar en un extremo y abrir en el otro.

Nombre	Tipo	Descripción
sequenceNumber	Integer	Orientación de las conexiones de terminales para un equipo conductor de múltiples terminales. La numeración de secuencia comienza con 1 y deben seguir terminales adicionales en orden creciente. La primera terminal es el "punto de partida" para una rama de dos terminales. En el caso de la clase <i>TransformerWinding</i> solo se usa un terminal por lo que su número de secuencia debe ser 1.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de *Terminal* con otras clases son los descritos en la **Tabla 44**.

Tabla 44. Extremos de asociación de *Terminal* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[1..1] ConductingEquipment	ConductingEquipment	<i>ConductingEquipment</i> tiene 1 o 2 terminales que se pueden conectar a otros terminales de <i>ConductingEquipment</i> a través de <i>ConnectivityNodes</i> .
[0..1]	[0..*] RegulatingControl	RegulatingControl	El terminal es regulado por un control.
[0..*]	[0..1] ConnectivityNode	ConnectivityNode	Los terminales se interconectan con impedancia cero en un nodo. Las mediciones en un nodo se aplican a todos sus terminales.
[0..*]	[0..1] TopologicalNode	TopologicalNode	Se puede utilizar como una alternativa a la ruta del nodo de conectividad al nodo topológico, por lo que no es necesario modelar los nodos de conectividad en algunos casos. Si hay nodos de conectividad en el modelo, esta asociación probablemente no se utilizaría.
[1..1]	[0..*] BranchGroupTerminal	BranchGroupTerminal	Los terminales de grupos de ramas dirigidos para los que se supervisa el terminal.
[0..1]	[0..*] Measurements	Measurement	Se pueden asociar una o más mediciones con un terminal en la red. Measurement-Terminal define dónde se coloca la medición en la topología de la red.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..2] TieFlow	TieFlow	El área de control vincula los flujos a los que se asocia este terminal.
[0..1]	[0..*] OperationalLimitSet	OperationalLimitSet	Los límites operacionales establecen que se aplican específicamente a esta terminal. Se pueden aplicar otros conjuntos de límites operacionales a este terminal a través de la asociación al equipo.
[1..1]	[0..*] HasSecond_MutualCoupling	MutualCoupling	Acoplamientos mutuos con la rama asociada como primera rama.
[1..1]	[0..*] HasFirst_MutualCoupling	MutualCoupling	Acoplamientos mutuos con la rama asociada como primera rama.
[1..1]	[0..1] SvPowerFlow	SvPowerFlow	El estado de flujo de potencia asociado con el terminal.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.15. *Unit*

Define una cantidad que se mide. Dentro de esta clase se encuentra *Unit.name* que será único entre todas las cantidades especificadas y describirá la cantidad, en cambio *Unit.aliasName* está destinado a ser utilizado para la localización.

Los únicos atributos que conforman *Unit* son todos aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject* y sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 45**.

Tabla 45. Extremos de asociación de *Unit* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..*] Controls	Control	Los Controles que tiene la Unidad.
[1..1]	[0..*] ProtectionEquipments	ProtectionEquipment	Los Equipos de Protección que tiene la Unidad.
[1..1]	[0..*] Measurements	Measurement	Las medidas que tiene la unidad.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.3.16. *VoltageLevel*

Denominación para una colección de equipos a un voltaje común dentro de un Sistema que forma una celda. El equipo generalmente consta de interruptores, barras colectoras, instrumentos de instrumentación, control, regulación y dispositivos de protección, así como conjuntos de todos estos.

Los atributos correspondientes a esta clase además de los heredados de la clase *IdentifiedObject* son aquellos que se detallan en la **Tabla 46**.

Tabla 46. Atributos de la clase *VoltageLevel*

Nombre	Tipo	Descripción
highVoltageLimit	Voltage	Límite de alto voltaje de la barra de distribución.
lowVoltageLimit	Voltage	Límite de bajo voltaje de la barra de distribución

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de *Terminal* con otras clases son los descritos en la **Tabla 47**, además de los que hereda de las clases *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

Tabla 47. Extremos de asociación de *Unit* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[..1]	[0..*] Bays	Bay	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.
[0..*]	[1..1] BaseVoltage	BaseVoltage	Voltaje base utilizado para todos los equipos dentro del nivel de voltaje.
[0..*]	[1..1] Substation	Substation	La asociación se utiliza en la jerarquía de nombres.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.4. **Package Topology**

El paquete de topología, junto con la clase *Terminal* como ya se conoce proporciona definiciones de cómo se conectan los equipos de un Sistema de Energía en forma de nodos de conectividad. Las principales clases de este paquete se sistematizan a continuación.

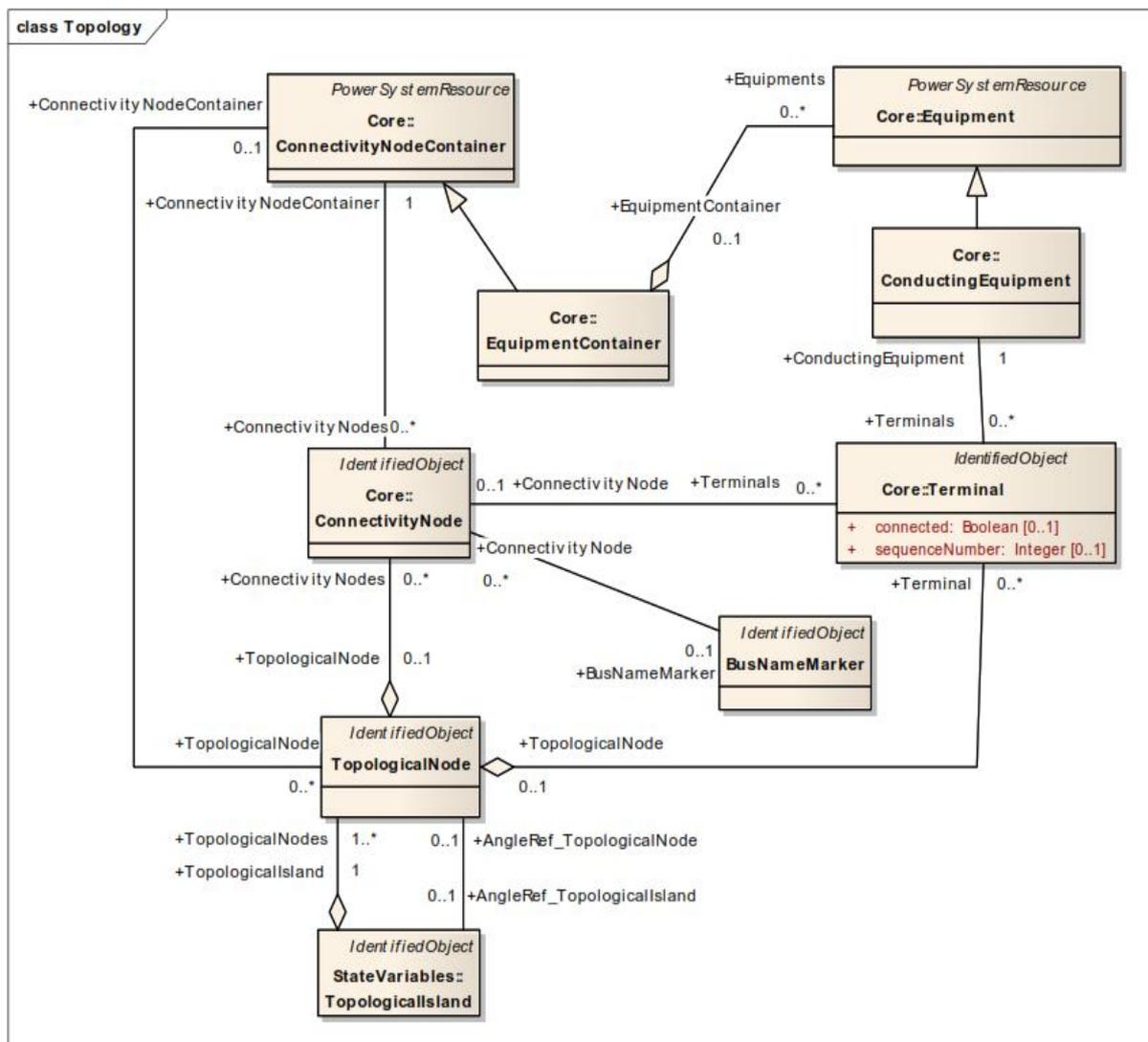


Figura 32. Diagrama lógico principal de la clase *Topology*.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.4.1. *TopologicalNode*

Traducida al español “Nodo Topológico”, es un conjunto de nodos de conectividad que, en el estado actual de la red, están conectados entre sí mediante cualquier tipo de conmutadores cerrados, incluidos los puentes. Los nodos topológicos cambian a medida que cambia el estado actual de la red (es decir, interruptores, seccionadores, etc. cambian de estado).

Los únicos atributos que conforman *TopologicalNode* son todos aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject* y en la **Tabla 48** se indican sus extremos de asociación con otras clases.

Tabla 48. Extremos de asociación de *TopologicalNode* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..*]	[1..1] TopologicalIsland	TopologicalIsland	Nodo topológico pertenece a una isla topológica.
[0..*]	[0..1] ReportingGroup	ReportingGroup	El grupo de informes al que pertenece el nodo topológico.
[0..*]	[0..1] ConnectivityNodeContainer	ConnectivityNodeContainer	El contenedor del nodo de conectividad al que pertenece el nodo topológico.
[0..*]	[0..1] BaseVoltage	BaseVoltage	El voltaje base del nodo topológico.
[0..1]	[0..*] ConnectivityNodes	ConnectivityNode	Varios <i>ConnectivityNode</i> pueden combinarse para formar un solo <i>TopologicalNode</i> , dependiendo del estado actual de la red.
[0..1]	[0..1] AngleRef_TopologicalIsland	TopologicalIsland	La isla para la que el nodo es una referencia de ángulo. Normalmente hay un nodo de referencia de ángulo para cada isla.
[0..1]	[0..*] Terminal	Terminal	Terminales asociados con el nodo topológico. Se puede utilizar como una alternativa a la ruta del nodo de conectividad al terminal, por lo que no es necesario modelar los nodos de conectividad en algunos casos.
[1..1]	[0..1] SvVoltage	SvVoltage	El voltaje de estado asociado con el nodo topológico.
[1..1]	[0..1] SvInjection	SvInjection	El estado de inyección asociado con el nodo topológico.
[1..1]	[0..1] SvShortCircuit	SvShortCircuit	El estado de cortocircuito asociado con el nodo topológico.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5. Package Wires

Como ya se mencionó en secciones anteriores el Paquete Wires define todos los equipos conectados eléctricamente a la red, además las clases que permiten definir propiedades adicionales y la disposición de los dispositivos eléctricos.

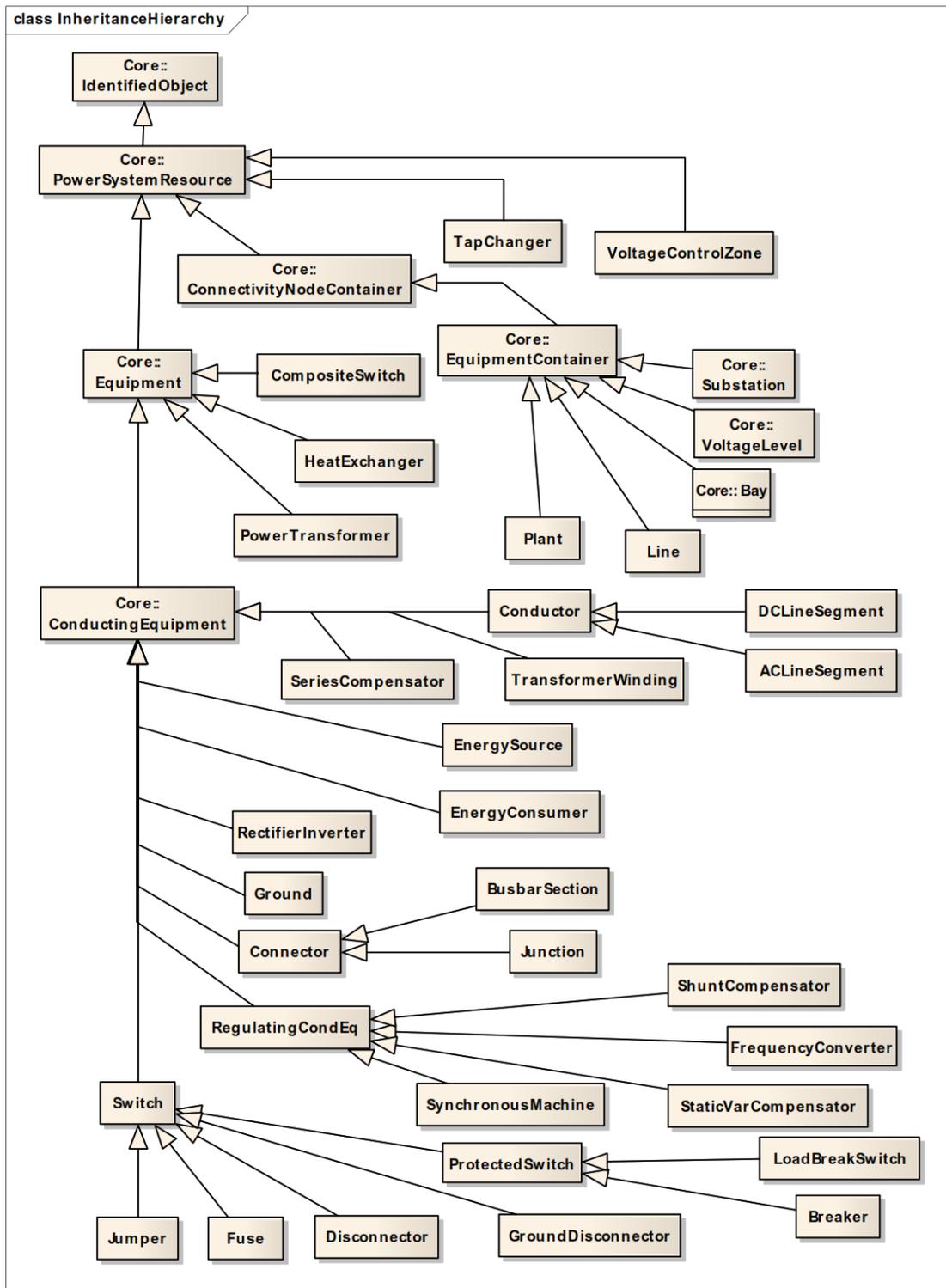


Figura 33. Diagrama de Herencia de las clases definidas en el paquete *Wires*.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Debido a la extensión de este paquete en el diagrama de la **Figura 33** se describe la herencia de los distintos elementos de la red eléctrica, para luego analizar los diagramas de líneas, transformadores y seccionadores con sus respectivos atributos. A continuación, se describirán todas las clases que fueron base para la modelación del SNI del Ecuador.

- **Modelo de Líneas de Transmisión**

A continuación, en la **Figura 34** se describen todas las clases relevantes dentro del Paquete *Wires* que se relacionan con el modelo de Línea de Transmisión, las cuales son heredadas de otras clases pertenecientes al Paquete *Core* también analizado en este documento.

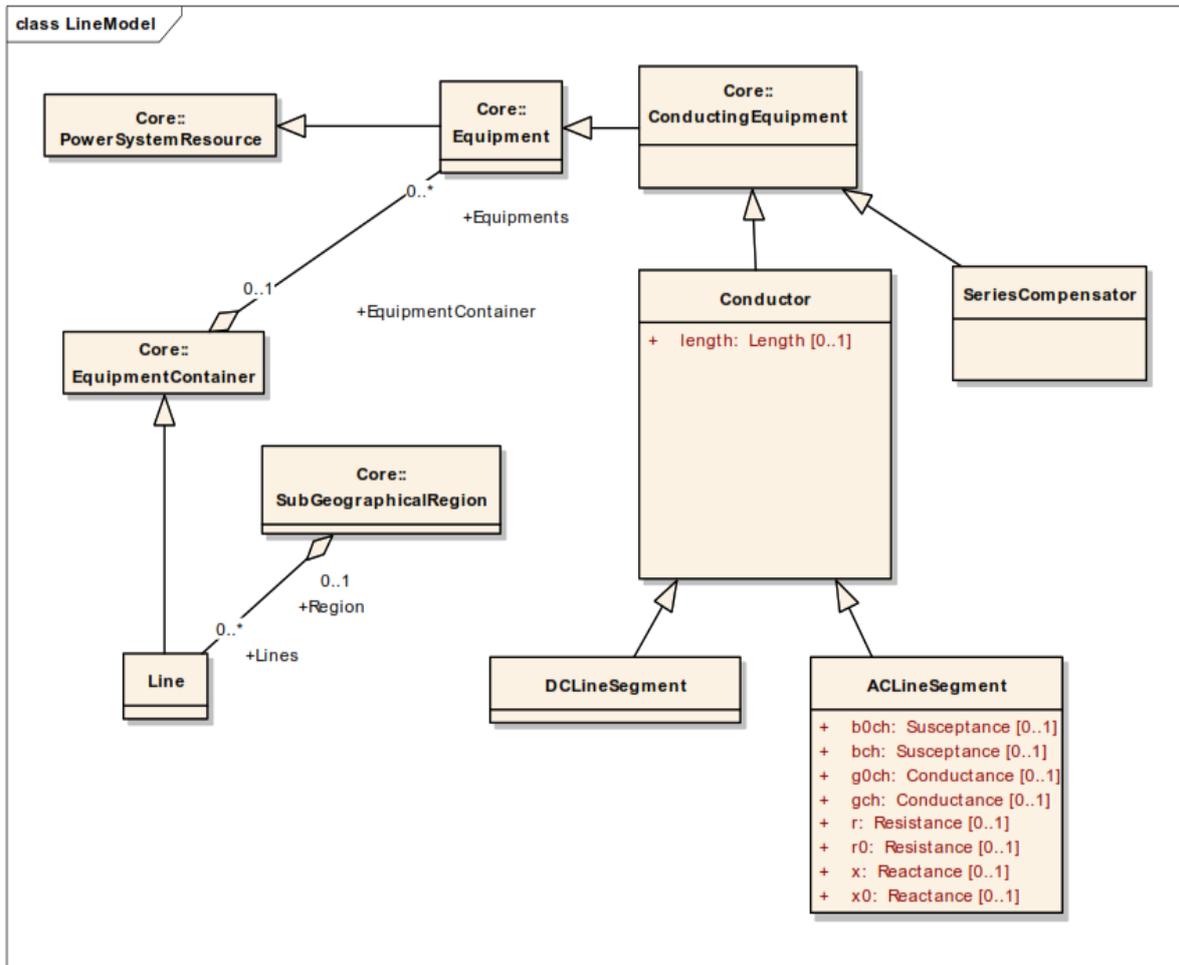


Figura 34. Diagrama lógico del modelo de líneas de transmisión.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.1. *Conductor*

Posee una relación de herencia directa desde la clase *ConductingEquipment* y esta a su vez de *Equipment*, además describe las características eléctricas que comúnmente se asocian a una Línea, como la resistencia, reactancia, conductancia, etc.

Su definición se la puede denotar como la combinación de material conductor con características eléctricas consistentes, construyendo un solo sistema eléctrico, utilizado para transportar corriente entre puntos en el sistema de energía.

Los atributos propios de esta clase además de los heredados de las clases *IdentifiedObject*, *ConductingEquipment* y *Equipment* son aquellos que se detallan en la **Tabla 49**.

Tabla 49. Atributos de la clase *Conductor*.

Nombre	Tipo	Descripción
length	Length	Longitud del segmento para calcular las capacidades de la sección de línea

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Para representar los extremos de asociación de esta clase con otras se emplean únicamente todos aquellos heredados de las clases *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

5.2.1.5.2. *Line*

Dispositivo que contiene equipos más allá de una subestación, perteneciente a una línea de transmisión de energía.

Los únicos atributos que conforman *Line* son todos aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject* y sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 50**, además de aquellos que hereda de las clases *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

Tabla 50. Extremos de asociación de *Line* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..1] Region	SubGeographicalRegion	Una línea puede estar contenida en una subregión geográfica.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.3. *ACLLineSegment*

Conductor o combinación de conductores con características eléctricas consistentes, que construye un solo sistema eléctrico y que se usa para transportar corriente alterna entre distintos puntos en el sistema de energía.

Los atributos correspondientes a esta clase se detallan en la **Tabla 51**, además de los heredados de las clases *IdentifiedObject*, *ConductingEquipment*, *Equipment* y *Conductor*.

Tabla 51. Atributos de la clase *ACLLineSegment*.

Nombre	Tipo	Descripción
b0ch	Susceptance	Susceptancia de derivación (carga) de secuencia cero uniformemente distribuida, de toda la sección de línea.
bch	Susceptance	Susceptancia de derivación (carga) de secuencia positiva uniformemente distribuido, de toda la línea de sección. Este valor representa la carga completa en toda la longitud de la línea.
g0ch	Conductance	Conductancia de derivación (carga) de secuencia cero uniformemente distribuida, de toda la sección de línea.
gch	Conductance	Conductancia de derivación (carga) de secuencia positiva, uniformemente distribuida, de toda la sección de línea.
r	Resistance	Resistencia en serie de secuencia positiva de toda la sección de línea.
r0	Resistance	Resistencia en serie de secuencia cero de toda la sección de línea.
x	Reactance	Reactancia en serie de secuencia positiva de toda la sección de línea.
x0	Reactance	Reactancia en serie de secuencia cero de toda la sección de línea.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

En cuanto a los extremos de asociación de *ACLLineSegment* con otras clases, los únicos que emplea son los heredados de las clases *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

5.2.1.5.4. *Connector*

Un conductor, o grupo de conductores, con impedancia insignificante, que sirven para conectar otros equipos conductores dentro de una sola subestación y se modelan con un solo terminal lógico.

Los únicos atributos que conforman *Connector* son todos aquellos que hereda de las clases *Conducting*, *Equipment* e *IdentifiedObject*, y en cuanto a sus extremos de asociación con otras clases de igual manera se modela únicamente en base a los heredados de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

5.2.1.5.5. *BusbarSection*

Un conductor, o grupo de conductores, con impedancia insignificante, que sirve para conectar otros equipos conductores dentro de una sola subestación. Las mediciones de voltaje se obtienen típicamente de transformadores de voltaje que están conectados a secciones de barras colectoras. Una sección de barra colectora puede tener muchos terminales físicos, pero para el análisis se modela exactamente con un terminal lógico.

Los únicos atributos que conforman *BusbarSection* son los que hereda de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject* y, sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 52**, además de aquellos que hereda de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 52. Extremos de asociación de *BusbarSection* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..1] VoltageControlZone	VoltageControlZone	Una <i>VoltageControlZone</i> está controlada por una sección de barras designada.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

- **Modelo de Equipos de Regulación**

En un Sistema Eléctrico de Potencia también es importante considerar todos los aspectos técnicos relacionados con la regulación de equipos y compensación de potencia reactiva, es por ello que la clase *RegulatingControl* proporciona la capacidad de modelar varios equipos que participan en un esquema de regulación, estos esquemas de regulación pueden implementarse física o manualmente en la operación real del sistema de energía, pero se reflejan en los modelos utilizados para fines de análisis de dicho sistema.

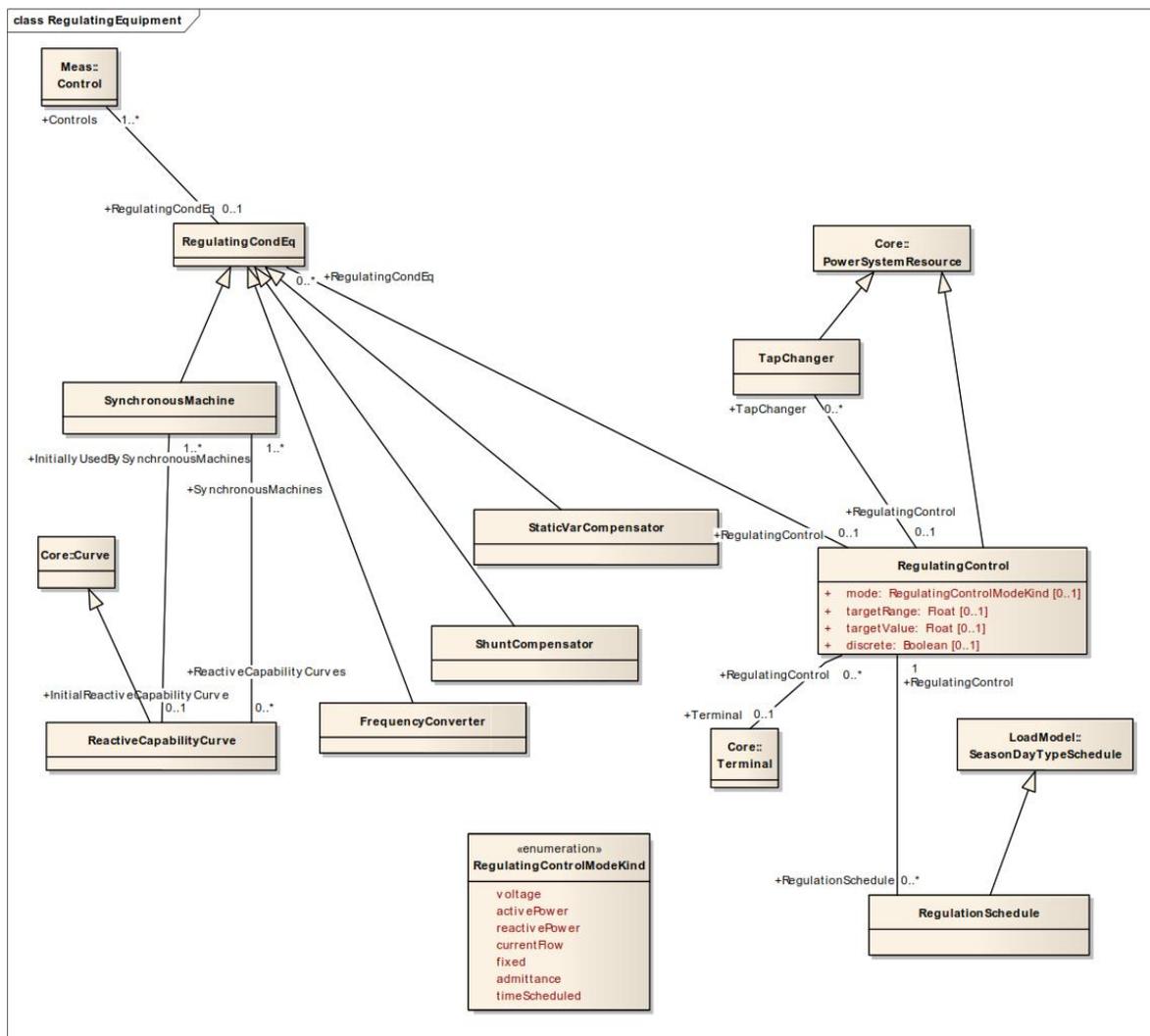


Figura 35. Diagrama lógico de clases de regulación de equipos y compensación de potencia reactiva. **Fuente.** (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.6. *RegulatingControlModeKind* enumeration

Permite hacer una regulación basada en un tipo de modelo. Por ejemplo, regulando tensión, potencia reactiva, potencia activa, etc. En la **Tabla 53** se pueden apreciar todos los tipos de datos que pueden emplearse dentro de esta clase.

Tabla 53. Literales de *RegulatingControlModeKind*.

Literal	Descripción
voltage	Permite especificar voltaje.
activePower	Especifica la potencia activa.
reactivePower	Se especifica la potencia reactiva.
currentFlow	Se especifica el flujo de corriente.
Fixed	El modo de regulación es fijo y, por lo tanto, no se regula.

Literal	Descripción
admittance	Se especifica la admisión.
timeScheduled	El control se enciende o apaga según la hora del día. Los horarios pueden cambiar durante el fin de semana o en diferentes estaciones.
temperature	El control se enciende o apaga según la temperatura local, es decir, funciona como un termostato.
powerFactor	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.7. *RegulatingCondEq*

Permite representar un tipo de equipo conductor que puede regular determinado nivel de voltaje o corriente en un punto específico de la red.

Los únicos atributos que conforman *RegulatingCondEq* son todos aquellos que hereda de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject*. Sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 54**, además de aquellos que hereda de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 54. Extremos de asociación de *RegulatingCondEq* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..1] <i>RegulatingControl</i>	<i>RegulatingControl</i>	Especifica el esquema de control regulador en el que participa este equipo.
[0..1]	[1..*] <i>Controls</i>	<i>Control</i>	Las salidas del controlador utilizadas para gobernar realmente un dispositivo de regulación, por ejemplo, la magnetización de una máquina síncrona o un actuador de interruptor de banco de condensadores.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.8. *RegulatingControl*

Especifica un conjunto de equipos que trabajan juntos para controlar un determinado nivel de voltaje o corriente en el Sistema de Energía.

Los atributos propios de la clase *Terminal* se muestran en la **Tabla 55**, pero además hereda otros que son característicos de la clase *IdentifiedObject*.

Tabla 55. Atributos de la clase *RegulatingControl*.

Nombre	Tipo	Descripción
Mode	RegulatingControlModeKind	Esta especificación permite determinar el tipo de regulación sin necesidad de obtener las unidades de un cronograma
targetRange	Float	Este es el rango objetivo de entrada del caso. Realiza la misma función que el atributo value2 en el horario de regulación, en el caso de que no se utilicen horarios.
targetValue	Float	El valor objetivo especificado para la entrada de casos. Este valor se puede utilizar para el valor objetivo sin el uso de programas. El valor tiene las unidades apropiadas para el atributo de modo.
discrete	Boolean	La regulación se realiza en modo discreto.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Para representar los extremos de asociación de esta clase con otras, se emplean los que se detallan en la **Tabla 56** y todos aquellos heredados de la clase *PowerSystemResource*.

Tabla 56. Extremos de asociación de *RegulatingControl* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[0..*] TapChanger	TapChanger	Los cambiadores de tap que participan en la regulación.
[0..*]	[0..1] Terminal	Terminal	El terminal asociado con este control de regulación.
[0..1]	[0..*] RegulatingCondEq	RegulatingCondEq	Los equipos que participan en la regulación del control.
[1..1]	[0..*] RegulationSchedule	RegulationSchedule	Calendario de este Reglamento regulador de control.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.9. *ShuntCompensator*

Dispositivo de terminal único que permite representar un condensador, un reactor en derivación, un banco conmutable de reactores o condensadores en derivación. Una sección de un compensador de derivación es un condensador o reactor individual.

Todos los atributos que caracterizan a esta clase se definen a continuación en la **Tabla 57**, además de los heredados de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject*. Dentro de ellos, una característica específica para *reactivePerSection* es que un valor negativo indica que el compensador es un reactor.

Tabla 57. Atributos de la clase *ShuntCompensator*.

Nombre	Tipo	Descripción
aVRDelay	Seconds	Retardo de tiempo requerido para que el dispositivo se conecte o desconecte mediante regulación automática de voltaje (AVR).
b0PerSection	Susceptance	Susceptancia de derivación (carga) de secuencia cero por sección.
bPerSection	Susceptance	Susceptancia de derivación (carga) de secuencia positiva por sección.
g0PerSection	Conductance	Conductancia de derivación (carga) de secuencia cero por sección.
gPerSection	Conductance	Conductancia de derivación (carga) de secuencia positiva por sección.
maximumSections	Integer	El número máximo de secciones que se pueden conectar para un banco de condensadores.
maxU	Voltage	La tensión máxima a la que debería funcionar el banco de condensadores.
minU	Voltage	La tensión mínima a la que debería funcionar el banco de condensadores.
nomQ	ReactivePower	Salida de potencia reactiva nominal del banco de condensadores a la tensión nominal. Este número debe ser positivo.
nomU	Voltage	La tensión nominal a la que se midió la potencia reactiva nominal. Normalmente debe estar dentro del 10% del voltaje al que el condensador está conectado a la red.
normalSections	Integer	El número normal de secciones conectadas para un banco de condensadores, este número debe corresponder a la potencia reactiva nominal (nomQ).

Nombre	Tipo	Descripción
reactivePerSection	ReactivePower	Para un banco de condensadores, el tamaño en potencia reactiva de cada sección conmutable a la tensión nominal.
switchOnCount	Integer	El interruptor en cuenta desde la última vez que se restableció o inicializó el recuento de condensadores.
switchOnDate	AbsoluteDateTime	La fecha y hora en que se encendió por última vez el banco de condensadores.
voltageSensitivity	VoltagePerReactivePower	Sensibilidad de voltaje requerida para que el dispositivo regule el voltaje del bus, en voltaje o potencia reactiva.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 58**, además de aquellos que hereda de las clases *RegulatingCondEq*, *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 58. Extremos de asociación de *ShuntCompensator* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..1] SvShuntCompensator Sections	SvShuntCompensatorSections	El estado del número de secciones del compensador de derivación en servicio.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.10. *StaticVarCompensator*

Representa una instalación para proporcionar potencia reactiva en derivación variable y controlable. El *StaticVarCompensator SVC* generalmente consta de un transformador reductor, un filtro, un reactor controlado por tiristores y brazos de condensadores conmutados por tiristores.

El SVC puede funcionar en modo de salida MVar fijo o en modo de control de voltaje. En el modo de control de voltaje, la salida del SVC será proporcional a la desviación del voltaje en el bus controlado del punto de ajuste de voltaje. La pendiente característica de SVC define la proporción. Si el voltaje en el bus controlado es igual al punto de ajuste de voltaje, la salida SVC MVar es cero.

Todos los atributos que caracterizan a esta clase se definen a continuación en la **Tabla 59**, además de los heredados de las clases *RegulatingCondEq*, *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 59. Atributos de la clase *StaticVarCompensator*.

Nombre	Tipo	Descripción
capacitiveRating	Reactance	Potencia reactiva capacitiva máxima disponible.
inductiveRating	Reactance	Potencia reactiva inductiva máxima disponible
sVCControlMode	SVCControlMode	Modo de control de <i>StaticVarCompensator</i> SVC.
slope	VoltagePerReactivePower	La pendiente característica de un SVC define cómo cambia la salida de potencia reactiva en proporción a la diferencia entre el voltaje del bus regulado y el punto de ajuste del voltaje.
voltageSetPoint	Voltage	La salida de potencia reactiva del SVC es proporcional a la diferencia entre el voltaje en el bus regulado y el punto de ajuste de voltaje. Cuando el voltaje del bus regulado es igual al punto de ajuste de voltaje, la salida de potencia reactiva es cero.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Para representar los extremos de asociación de esta clase con otras se emplean únicamente todos aquellos heredados de las clases *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

5.2.1.5.11. *SynchronousMachine*

Un dispositivo electromecánico que funciona de manera síncrona con la red. Es una sola máquina que funciona como generador, condensador o bomba síncrona. Los atributos que caracterizan a esta clase se definen a continuación en la **Tabla 60**, además de los heredados de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject*.

Tabla 60. Atributos de la clase *SynchronousMachine*.

Nombre	Tipo	Descripción
baseQ	ReactivePower	Valor de potencia reactiva base predeterminado, representa la potencia reactiva inicial que puede utilizar cualquier función de aplicación.
condenserP	ActivePower	Potencia activa consumida en funcionamiento en modo condensador.
coolantType	CoolantType	Método de enfriamiento de la máquina.
damping	Damping	Coefficiente de “par de amortiguación”, una constante de proporcionalidad que, cuando se multiplica por la velocidad angular de los polos del rotor con respecto al campo magnético (frecuencia), da como resultado el par de amortiguación.
inertia	PU	Permite representar la energía almacenada en el rotor cuando funciona a velocidad nominal. Este valor se utiliza en el marco de referencia de potencia de aceleración para soluciones de simuladores de capacitación de operadores.
manualToAVR	Seconds	Retardo de tiempo requerido al cambiar de regulación de voltaje manual a automática. Este valor se utiliza en el marco de referencia de potencia de aceleración para soluciones de flujo de potencia.
maxQ	ReactivePower	Límite máximo de potencia reactiva. Este es el límite máximo (placa de identificación) para la unidad.
maxU	Voltage	Límite máximo de voltaje para la unidad.
minQ	ReactivePower	Límite mínimo de potencia reactiva de la unidad.
minU	Voltage	Límite de voltaje mínimo para la unidad.
operatingMode	SynchronousMachineOperatingMode	Modo de funcionamiento actual.
qPercent	PerCent	Porcentaje del control reactivo coordinado que proviene de esta máquina.

Nombre	Tipo	Descripción
r	Resistance	Resistencia de secuencia positiva de la máquina síncrona.
r0	Resistance	Resistencia de secuencia cero de la máquina síncrona.
r2	Resistance	Resistencia de secuencia negativa.
ratedS	ApparentPower	Potencia aparente nominal de la placa de identificación de la unidad
type	SynchronousMachineType	Modos en los que puede operar esta máquina síncrona.
x	Reactance	Reactancia de secuencia positiva de la máquina síncrona.
x0	Reactance	Reactancia de secuencia cero de la máquina síncrona.
x2	Reactance	Reactancia de secuencia negativa.
xDirectSubtrans	Reactance	Reactancia subtransitoria de eje directo, también conocida como X "d.
xDirectSync	Reactance	Reactancia síncrona de eje directo.
xDirectTrans	Reactance	Reactancia transitoria de eje directo, también conocida como X'd.
xQuadSubtrans	Reactance	Reactancia subtransitoria del eje de cuadratura, también conocida como X "q.
xQuadSync	Reactance	Reactancia síncrona del eje de cuadratura (Xq).
xQuadTrans	Reactance	Reactancia transitoria del eje de cuadratura, también conocida como X'q.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 61**, además de aquellos que hereda de las clases *RegulatingCondEq*, *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 61. Extremos de asociación de *SynchronousMachine* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..1] HydroPump	HydroPump	La máquina síncrona impulsa la turbina que mueve el agua de una elevación baja a una elevación más alta. La dirección de rotación de la máquina para bombear puede o no ser la misma que para generar.
[1..*]	[0..1] InitialReactive CapabilityCurve	ReactiveCapabilityCurve	La <i>ReactiveCapabilityCurve</i> predeterminada para ser utilizada por <i>SynchronousMachine</i> .
[1..*]	[0..*] ReactiveCapabilityCurves	ReactiveCapabilityCurve	Todas las curvas de capacidad reactiva disponibles para esta máquina síncrona.
[1..*]	[0..1] GeneratingUnit	GeneratingUnit	Una máquina síncrona puede funcionar como un generador y, como tal, se convierte en miembro de una unidad generadora.
[0..*]	[0..*] PrimeMovers	PrimeMover	Motores principales que impulsan esta máquina síncrona.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.12. *SynchronousMachineOperatingMode enumeration*

Expresa un modo de funcionamiento de la máquina síncrona. En la **Tabla 62** se pueden apreciar todos los tipos de datos que pueden emplearse dentro de esta clase.

Tabla 62. Literales de *SynchronousMachineOperatingMode*.

Literal	Descripción
generator	
condenser	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.13. *SynchronousMachineType enumeration*

Permite representar un tipo de máquina síncrona. En la **Tabla 63** se pueden apreciar todos los tipos de datos que pueden emplearse dentro de esta clase.

Tabla 63. Literales de *SynchronousMachineType*.

Literal	Descripción
generator	
condenser	
generator_or_condenser	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

• **Modelo de Transformadores**

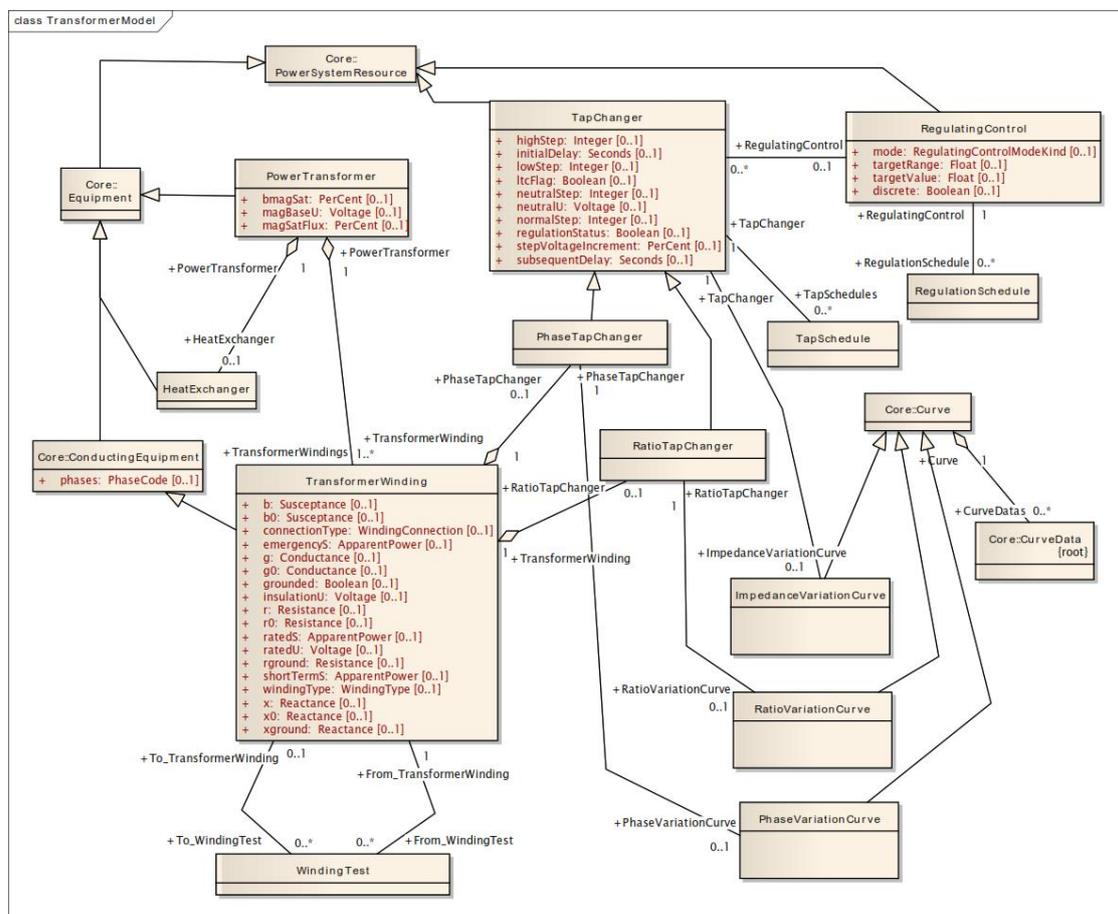


Figura 36. Diagrama lógico de clases relacionadas con el modelo de transformadores.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Este modelo de clases permite modelar un dispositivo *PowerTransformer* (Transformador de Potencia) y sus clases relacionadas con él, dicha clase es especializada de *Equipment*, que a su vez es una clase especializada de *PowerSystemResource*. Esto se muestra mediante el uso de la relación de tipo “generalización”, la cual permite que herede atributos tanto de *Equipment* como de *PowerSystemResource*.

La relación de *PowerTransformer* con otras clases son varias, siendo importante mencionar algunas de ellas como la relación de tipo “agregación” con *TransformerWinding*, es decir que puede tener (o contener) uno o más *TransformerWindings*, pero un *TransformerWinding* puede pertenecer (o ser miembro) de solo un *PowerTransformer*, esta y otras relaciones con otras clases se evidencian en la **Figura 36**, y a continuación se hace la descripción de cada clase junto con la definición de todos los atributos y relaciones admitidos en cada una de ellas.

5.2.1.5.14. *PowerTransformer*

Dispositivo eléctrico que consta de dos o más devanados acoplados (*TransformerWindings*), con o sin núcleo magnético, para introducir un acoplamiento mutuo entre circuitos eléctricos. Para su refrigeración y extracción de calor este dispositivo posee una relación de tipo “agregación” hacia el intercambiador de calor o *HeatExchanger*.

Los atributos propios de la clase *PowerTransformer* además de los heredados de las clases *Equipment* e *IdentifiedObject*, son los que se muestran en la **Tabla 64**.

Tabla 64. Atributos de la clase *PowerTransformer*.

Nombre	Tipo	Descripción
bmagSat	PerCent	Susceptancia de magnetización de derivación del núcleo en la región de saturación.
magBaseU	Voltage	La tensión de referencia en el que se hicieron las mediciones de la saturación de magnetización.
magSatFlux	PerCent	Nivel de flujo de rodilla de la curva de saturación de magnetización del núcleo.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Para representar los extremos de asociación de esta clase con otras se emplean todos aquellos heredados de las clases *Equipment* y *PowerSystemResource*, además de los que se detallan en la **Tabla 65**.

Tabla 65. Extremos de asociación de *PowerTransformer* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[1..*] TransformerWindings	TransformerWinding	Para definir los devanados del transformador.
[1..1]	[0..1] HeatExchanger	HeatExchanger	Para definir el intercambiador de calor de un transformador.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.15. *TransformerWinding*

Modela el devanado de un transformador asociado con cada terminal definida. Al existir una corriente variable en el devanado primario del transformador se crea un flujo magnético variable en el núcleo y además un campo magnético variable que incide en el devanado secundario del transformador.

Todos los atributos que caracterizan a esta clase se definen a continuación en la **Tabla 66**, además de los heredados de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject*.

Tabla 66. Atributos de la clase *TransformerWinding*.

Nombre	Tipo	Descripción
b	Susceptance	Define la susceptancia de rama de magnetización. El valor puede ser positivo o negativo.
b0	Susceptance	Susceptancia de rama de magnetización de secuencia cero.
connectionType	WindingConnection	Tipo de conexión del devanado.
emergencyS	ApparentPower	Potencia aparente que puede transportar el devanado en condiciones de emergencia.
g	Conductance	Conductancia de rama de magnetización.
g0	Conductance	Conductancia de rama de magnetización de secuencia cero.
grounded	Boolean	Permite establecer si el devanado está conectado a tierra.
insulationU	Voltage	Voltaje nominal del nivel de aislamiento básico.
r	Resistance	Resistencia en serie de secuencia positiva del devanado. Para un transformador de dos devanados, la resistencia total del transformador debe ingresarse en el devanado primario o alto voltaje.
r0	Resistance	Resistencia en serie de secuencia cero del devanado.
ratedS	ApparentPower	Potencia nominal aparente normal para el devanado
ratedU	Voltage	Tensión nominal (fase a fase) del devanado, generalmente la misma que la tensión neutra.
rground	Resistance	Trayectoria de resistencia a tierra a través de transformador de puesta a tierra conectado.
shortTermS	ApparentPower	Potencia aparente que el devanado puede transportar durante un corto período de tiempo.

Nombre	Tipo	Descripción
windingType	WindingType	Tipo de bobinado presente en el transformador.
x	Reactance	Reactancia en serie de secuencia positiva del devanado. Para un transformador de dos devanados, la reactancia total del transformador debe ingresarse en el devanado del alto voltaje o primario.
x0	Reactance	Reactancia en serie de secuencia cero del devanado.
xground	Reactance	Trayectoria de reactancia a tierra a través de transformador de puesta a tierra conectado.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 67**, además de aquellos que hereda de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 67. Extremos de asociación de *TransformerWinding* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..*] From_WindingTest	WindingTest	Las pruebas del devanado del transformador en las que el devanado del transformador (terminal) participa como parte "desde" de la prueba.
[1..*]	[1..1] PowerTransformer	PowerTransformer	Para definir los devanados del transformador.
[0..1]	[0..*] To_WindingTest	WindingTest	Las pruebas de devanado en las que participa el devanado (terminal) del transformador como final "a" de la prueba.
[1..1]	[0..1] PhaseTapChanger	PhaseTapChanger	El cambiador de tomas de fase asociado con el devanado del transformador.
[1..1]	[0..1] RatioTapChanger	RatioTapChanger	El cambiador de tomas de relación asociado con el devanado del transformador

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.16. *WindingConnection enumeration*

Tipo de conexión del bobinado de un transformador. En la **Tabla 68** se pueden apreciar todos los tipos de datos que pueden emplearse dentro de esta clase.

Tabla 68. Literales de *WindingConnection*.

Literal	Descripción
D	Conexión Delta o en Triangulo del bobinado el transformador.
Y	Conexión Y o Estrella del bobinado el transformador.
Z	Conexión ZigZag del bobinado el transformador.
Yn	Conexión Estrella, con neutral traído a tierra.
Zn	Conexión ZigZag, con neutral traído A tierra.
A	Devanado común del autotransformador
I	Bobinado independiente, para conexiones monofásicas.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.17. *WindingType enumeration*

Permite representar un tipo de bobinado en un transformador. En la **Tabla 69** se pueden apreciar todos los tipos de datos que pueden emplearse dentro de esta clase.

Tabla 69. Literales de *WindingType*.

Literal	Descripción
primary	
secondary	
tertiary	
quaternary	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

• **Modelo de Seccionadores**

5.2.1.5.18. *Switch*

Dispositivo genérico diseñado para abrir, cerrar o ambos, uno o más circuitos eléctricos. Los atributos que caracterizan a esta clase se definen a continuación en la **Tabla 70**, además de los heredados de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject*.

Tabla 70. Atributos de la clase *Switch*.

Nombre	Tipo	Descripción
normalOpen	Boolean	El atributo se utiliza en los casos en que no está presente ninguna medición para el valor de estado. Si el interruptor tiene una medición de estado, se espera que el valor <i>Discrete.normalValue</i> coincida con el <i>interruptor.normalOpen</i> .
switchOnCount	Integer	El interruptor en cuenta desde la última vez que se restableció o inicializó el recuento de condensadores.
switchOnDate	AbsoluteDateTime	La fecha y hora en que se encendió el interruptor por última vez.
retained	Boolean	La rama se retiene en un modelo de rama de autobús.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 71**, además de los que hereda de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 71. Extremos de asociación de *Switch* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..*] SwitchSchedules	SwitchSchedule	Un <i>Switch</i> se puede asociar con <i>SwitchSchedules</i> .
[0..*]	[0..1] CompositeSwitch	CompositeSwitch	Interruptor compuesto al que pertenece este interruptor.
[0..*]	[0..*] SwitchingOperations	SwitchingOperation	Un interruptor puede ser operado por muchos horarios.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.19. *Breaker*

Dispositivo de conmutación mecánico capaz de generar, transportar y cortar corrientes en condiciones normales de circuito y también generar, transportar durante un tiempo específico o cortar corrientes en condiciones de circuito anormales especificadas, por ejemplo, los de cortocircuito.

Los atributos propios de esta clase se indican en la **Tabla 72**, además de los heredados de las clases *Switch*, *IdentifiedObject*, *ConductingEquipment* y *Equipment*.

Tabla 72. Atributos de la clase *Breaker*.

Nombre	Tipo	Descripción
ratedCurrent	CurrentFlow	Valor de corriente para interrupción de fallas.
inTransitTime	Seconds	El tiempo de transición de abierto a cerrado.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

En cuanto a los extremos de asociación de *Breaker* con otras clases, los únicos que emplea son los heredados de *ProtectedSwitch*, *Switch*, *EquipmentContainer*, *ConnectivityNodeContainer* y *PowerSystemResource*.

5.2.1.5.20. *Disconnecter*

Dispositivo de conmutación mecánico operado manualmente o por motor que se usa para cambiar las conexiones en un circuito o para aislar un circuito o equipo de una fuente de energía. Se requiere abrir o cerrar circuitos cuando se interrumpe o genera una corriente insignificante.

Los únicos atributos que conforman *Disconnecter* son los que hereda de las clases *Switch*, *ConductingEquipment* e *IdentifiedObject*, y en cuanto a sus extremos de asociación con otras clases de igual manera se modela únicamente en base a los heredados de las clases *Switch*, *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

5.2.1.5.21. *EnergyConsumer*

Punto de consumo de un usuario genérico de energía en el modelo del sistema eléctrico. Los atributos correspondientes a esta clase se detallan en la **Tabla 73**, además de los heredados de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject*.

Tabla 73. Atributos de la clase *EnergyConsumer*.

Nombre	Tipo	Descripción
customerCount	Integer	Número de clientes individuales representados por esta demanda
pfixed	ActivePower	Cantidad fija que hace referencia a la Potencia activa de la carga.
pfixedPct	PerCent	Potencia activa fija como porcentaje de la potencia activa fija del grupo de carga

Nombre	Tipo	Descripción
qfixed	ReactivePower	Cantidad fija que hace referencia a la Potencia reactiva de la carga.
qfixedPct	PerCent	Potencia reactiva fija como porcentaje de la potencia reactiva fija del grupo de carga.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 74**, además de los que hereda de las clases *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 74. Extremos de asociación de *EnergyConsumer* con otras clases.

[mult from]	[Mult to]	Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..1]	LoadResponse	LoadResponseCharacteristic	La característica de respuesta de carga de esta carga.
[1..*]	[0..1]	PowerCutZone	PowerCutZone	Un consumidor de energía está asignado a una zona de corte de energía.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.5.22. *OperatingMode* datatype

Nombre textual que describe un modo de funcionamiento de determinado dispositivo en un sistema de energía. Los únicos atributos que identifican esta clase se describen en la **Tabla 75**, pero además es importante mencionar que no posee extremos de asociación con otras clases.

Tabla 75. Atributos de la clase *OperatingMode*.

Nombre	Tipo	Descripción
value	String	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.6. **Package Generation**

Este paquete contiene información para la definición y despacho económico de unidades de generación hidroeléctrica y térmica, la Previsión de Carga, el Control Automático de la Generación y el Modelado de Unidades para el Simulador de Entrenamiento Dinámico.

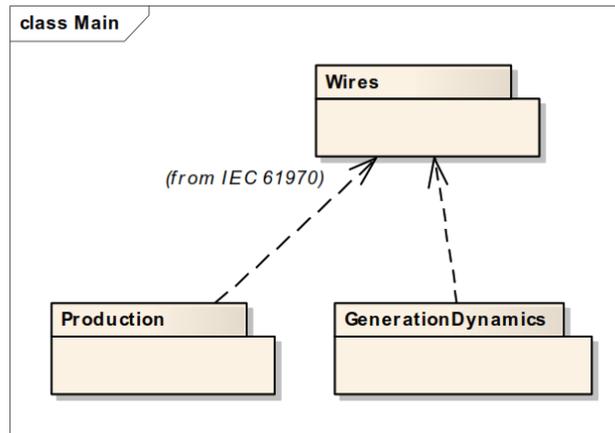


Figura 37. Diagrama lógico del Package Generation.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

El diagrama de la **Figura 37** muestra los dos paquetes principales que componen *Generation* y su relación de dependencia con el paquete *Wires*.

5.2.1.6.1. Package GenerationDynamics

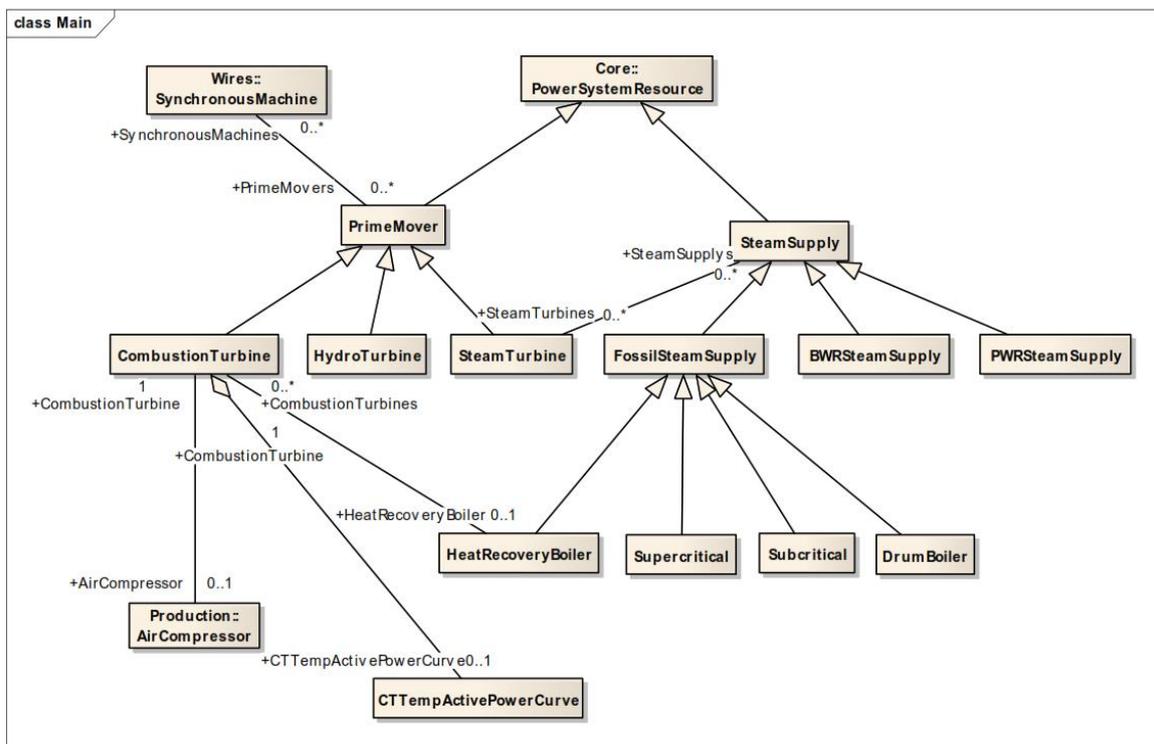


Figura 38. Clases y asociaciones de *GenerationDynamics*.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

El paquete *Generation Dynamics* contiene motores primarios, como turbinas y calderas, que son necesarios para fines **educativos** y de simulación. EL diagrama de la **Figura 38** muestra todas las clases incluidas en el paquete *GenerationDynamics*, así como las clases externas clave que tienen asociaciones con las clases de *GenerationDynamics*.

5.2.1.6.1.1. *HydroTurbine*

Un motor primario accionado por agua. Los tipos típicos de turbinas son: Francis, Kaplan y Pelton. Sus atributos son los heredados de las clases *IdentifiedObject*, *PrimeMover*, y aquellos que se detallan en la **Tabla 76**.

Tabla 76. Atributos de la clase *HydroTurbine*

Nombre	Tipo	Descripción
gateRateLimit	Float	Límite de velocidad de la puerta.
gateUpperLimit	PU	Límite superior de la puerta.
minHeadMaxP	ActivePower	Potencia activa de máxima eficiencia en condiciones de cabeza mínima.
maxHeadMaxP	ActivePower	Potencia activa de máxima eficiencia en condiciones de cabeza máxima.
speedRating	RotationSpeed	Velocidad nominal en número de revoluciones.
speedRegulation	PU	Regulación de velocidad
transientDroopTime	Seconds	Constante de tiempo de caída transitoria
transientRegulation	PU	Regulación Transitoria
turbineRating	ActivePower	Potencia activa nominal de la turbina
turbineType	TurbineType	Tipo de turbina.
waterStartingTime	Seconds	Tiempo de arranque del agua

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

En cuanto a los extremos de asociación de *HydroTurbine* con otras clases, los únicos que emplea son los heredados de *PowerSystemResource* y *PrimeMover*.

5.2.1.6.1.2. *PrimeMover*

La máquina utilizada para desarrollar la energía mecánica utilizada para accionar un generador. Los atributos que corresponden a esta clase además de los heredados de la clase *IdentifiedObject*, son los que se muestran en la **Tabla 77**.

Tabla 77. Atributos de la clase *PrimeMover*.

Nombre	Tipo	Descripción
primeMoverRating	Float	Clasificación del motor principal

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de esta clase con otras, son aquellos heredados de la clase *PowerSystemResource*, además de los que se detallan en la **Tabla 78**.

Tabla 78. Extremos de asociación de *PrimeMover* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..*] SynchronousMachines	SynchronousMachine	Máquinas síncronas que impulsan este motor primario.
[1..*]	[0..1] PowerCutZone	Zona de corte de energía	Un consumidor de energía está asignado a una zona de corte de energía.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.6.1.3. *SteamTurbine*

Refiere las características necesarias para definir una turbina de vapor. Sus atributos se detallan en la **Tabla 79**, además de los heredados de las clases *IdentifiedObject* y *PrimeMove*.

Tabla 79. Atributos de la clase *SteamTurbine*.

Nombre	Tipo	Descripción
crossoverTC	Seconds	Constante de tiempo de cruce.
reheater1TC	Seconds	Constante de tiempo del primer recalentador.
reheater2TC	Seconds	Constante de tiempo del segundo recalentador.
shaft1PowerHP	Float	Fracción de potencia del eje 1. Salida de turbina de alta presión.
shaft1PowerIP	Float	Fracción de potencia del eje 1. Salida de turbina de presión intermedia.
shaft1PowerLP1	Float	Fracción de potencia del eje 1. Salida de la primera turbina de baja presión.
shaft1PowerLP2	Float	Fracción de potencia del eje 1. Segunda salida de turbina de baja presión.
shaft2PowerHP	Float	Fracción de potencia del eje 2. Salida de turbina de alta presión.
shaft2PowerIP	Float	Fracción de potencia del eje 2. Salida de turbina de presión intermedia.
shaft2PowerLP1	Float	Fracción de potencia del eje 2. Salida de la primera turbina de baja presión.
shaft2PowerLP2	Float	Fracción de potencia del eje 2. Segunda salida de turbina de baja presión.
steamChestTC	Seconds	Constante de tiempo de la caja de vapor.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de *SteamTurbine* con otras clases, son aquellos heredados de las clases *PowerSystemResource* y *PrimeMover*, además de los que se detallan en la **Tabla 80**.

Tabla 80. Extremos de asociación de *SteamTurbine* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..*] SteamSupplys	SteamSupply	Las turbinas de vapor pueden tener vapor suministrado por un suministro de vapor.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.6.1.4. *TurbineType enumeration*

Nos permite identificar un tipo de turbina, como aquellos que se indican en la **Tabla 81**.

Tabla 81. Tipos de Turbina.

Literal	Descripción
francis	
pelton	
kaplan	

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.7. **Package Production**

El paquete de producción es responsable de las clases que describen varios tipos de generadores. Estas clases también brindan información de costos de producción que se utiliza para asignar económicamente la demanda entre las unidades comprometidas y calcular las cantidades de reserva.

El diagrama de la **Figura 39** muestra todas las clases incluidas en el paquete de producción que necesitan tanto la generación hidráulica como la térmica.

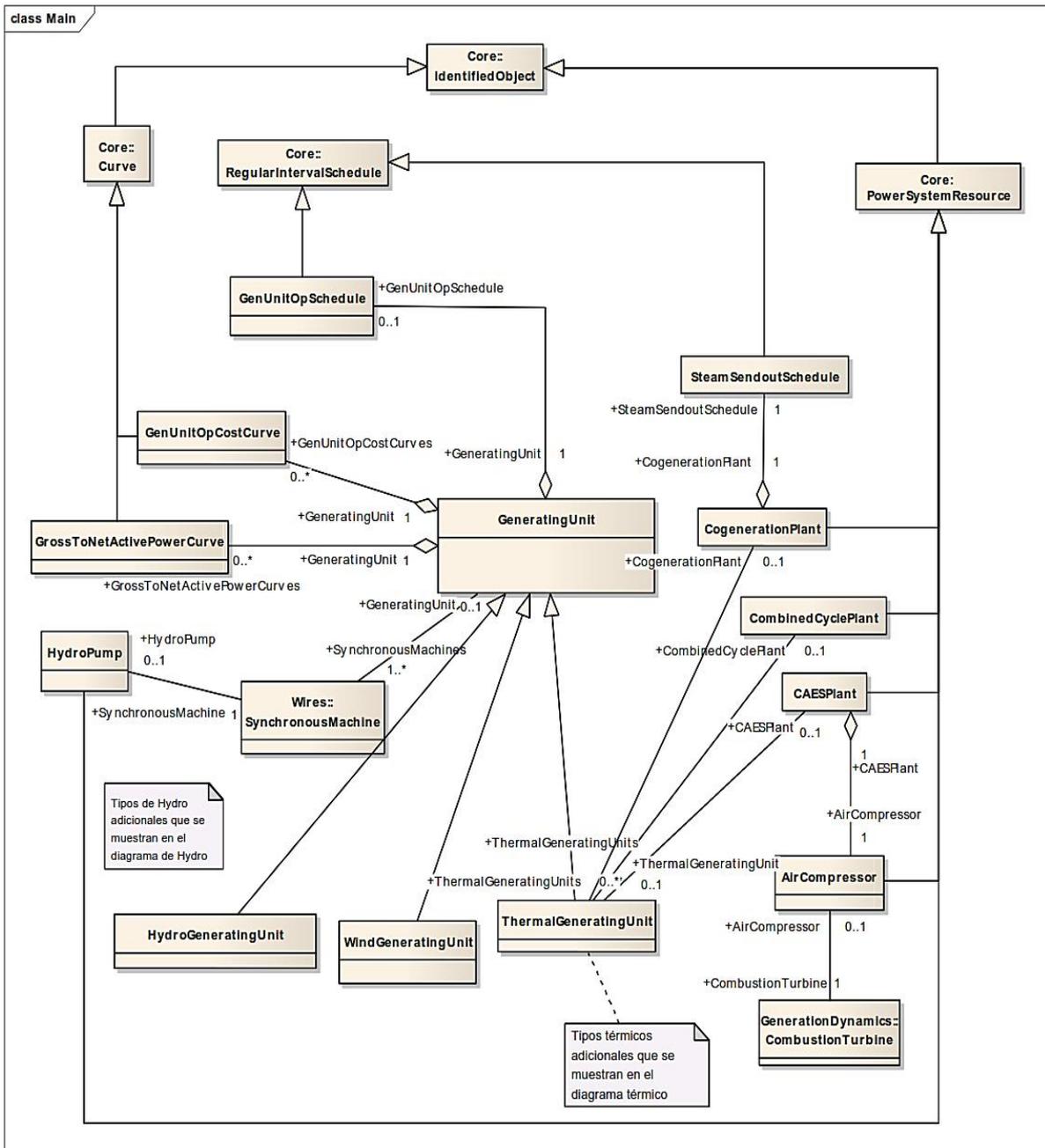


Figura 39. Diagrama lógico principal de la clase *GeneratingUnit*.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.7.1. *WindGeneratingUnit*

Permite definir una unidad generadora impulsada por el viento. Los únicos atributos que conforman esta clase son los que hereda de las clases *GeneratingUnit*, *Equipment* e *IdentifiedObject*, y en cuanto a sus extremos de asociación con otras clases de igual manera se modela únicamente en base a los heredados de las clases *GeneratingUnit*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

5.2.1.7.2. *GeneratingUnit*

Una sola o un conjunto de máquinas síncronas para convertir energía mecánica en energía de corriente alterna. Por ejemplo, las máquinas individuales dentro de un conjunto pueden definirse con fines de programación mientras se deriva una única señal de control para el conjunto. En este caso habría una *GeneratingUnit* para cada miembro del conjunto y una *GeneratingUnit* adicional correspondiente al conjunto.

Los atributos de esta clase son los heredados de las clases *IdentifiedObject*, *Equipment*, y aquellos que se detallan en la **Tabla 82**.

Tabla 82. Atributos de la clase *GeneratingUnit*.

Nombre	Tipo	Descripción
baseP	ActivePower	Para unidades despachables, este valor representa el punto base de potencia activa económica, para unidades no despachables, este valor representa el valor fijo de generación. El valor debe estar entre los límites operativo bajo y alto.
controlPulseHigh	Seconds	Límite alto de pulso, que es el pulso de control más grande al que la unidad puede responder.
controlPulseLow	Seconds	Límite bajo de pulso, que es el pulso de control más pequeño al que la unidad puede responder.
efficiency	PU	La eficiencia de la unidad en la conversión de energía mecánica, del motor primario, en energía eléctrica.
genControlMode	GeneratorControlMode	El modo de control de la unidad.
genControlSource	GeneratorControlSource	La fuente de controles para una unidad generadora.
genOperatingMode	GeneratorOperatingMode	Modo de funcionamiento para control secundario.
highControlLimit	ActivePower	Límite alto para control secundario (AGC)
initialP	ActivePower	Potencia activa inicial predeterminada que se utiliza para almacenar un resultado de flujo de potencia para la potencia activa inicial de esta unidad en esta configuración de red.
longPF	Float	Factor de participación económica de la unidad generadora.

Nombre	Tipo	Descripción
lowControlLimit	ActivePower	Límite bajo para control secundario (AGC).
lowerRampRate	ActivePowerChangeRate	Límite máximo alto de potencia activa económica, que no debe exceder el límite máximo de potencia activa operativa.
maxEconomicP	ActivePower	Límite máximo alto de potencia activa económica, que no debe exceder el límite máximo de potencia activa operativa.
maximumAllowable SpinningReserve	ActivePower	Reserva de giro máxima permitida.
maxOperatingP	ActivePower	Este es el límite máximo de potencia activa operativa que el despachador puede ingresar para esta unidad.
minEconomicP	ActivePower	Límite bajo de potencia activa económica que debe ser superior o igual al límite mínimo de potencia activa operativa.
minimumOffTime	Seconds	Intervalo de tiempo mínimo entre el apagado y el arranque de la unidad.
minOperatingP	ActivePower	Este es el límite mínimo de potencia activa operativa que el despachador puede ingresar para esta unidad.
modelDetail	Classification	Nivel de detalle de los datos del modelo del generador.
normalPF	Float	Factor de participación económica de la unidad generadora
ratedGrossMaxP	ActivePower	La capacidad máxima nominal bruta de la unidad (valor contable).
ratedGrossMinP	ActivePower	El nivel de generación mínimo nominal bruto en el que la unidad puede operar de manera segura mientras entrega energía a la red de transmisión.
ratedNetMaxP	ActivePower	La capacidad máxima nominal neta determinada restando la potencia auxiliar utilizada para operar la maquinaria interna de la planta de la capacidad máxima bruta nominal.
shortPF	Float	Factor de participación económica de la unidad generadora.

Nombre	Tipo	Descripción
startupCost	Money	El costo de puesta en marcha inicial incurrido por cada inicio de la Unidad Generadora.
startupTime	Seconds	Tiempo que se tarda en poner la unidad en línea, desde el momento en que se aplica la energía mecánica del motor principal.
nominalP	ActivePower	La potencia nominal de la unidad generadora.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de *GeneratingUnit* con otras clases son aquellos heredados de las clases *PowerSystemResource* y *Equipment*, además de los que se detallan en la **Tabla 83**.

Tabla 83. Extremos de asociación de *GeneratingUnit* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[1..*] SynchronousMachines	SynchronousMachine	Una máquina síncrona puede operar como generador y como tal se convierte en miembro de una unidad generadora.
[1..1]	[0..1] GenUnitOpSchedule	GenUnitOpSchedule	Una unidad generadora puede tener un cronograma de operación, indicando la operación planificada de la unidad.
[1..1]	[0..*] GrossToNetActive PowerCurves	GrossToNetActive PowerCurve	Una unidad generadora puede tener una curva de potencia activa bruta a potencia activa neta, que describe las pérdidas y los requisitos de potencia auxiliar de la unidad.
[1..1]	[0..*] GenUnitOpCostCurves	GenUnitOpCostCurve	Una unidad generadora puede tener una o más curvas de costo, según la mezcla de combustible y el costo del combustible.
[1..1]	[0..*] ControlAreaGeneratingUnit	ControlArea GeneratingUnit	Especificaciones de <i>ControlArea</i> para esta unidad generadora.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.7.3. *HydroGeneratingUnit*

Clase que permite definir atributos para una unidad generadora cuyo motor principal es una turbina hidráulica (por ejemplo, Francis, Pelton, Kaplan).

Los atributos correspondientes a esta clase se detallan en la **Tabla 84**, además de los heredados de las clases *GeneratingUnit*, *Equipment* e *IdentifiedObject*.

Tabla 84. Atributos de la clase *HydroGeneratingUnit*.

Nombre	Tipo	Descripción
energyConversionCapability	HydroEnergy ConversionKind	Capacidad de conversión de energía para generar.
hydroUnitWaterCost	Float	El costo equivalente del agua que impulsa la turbina hidráulica, expresado como costo por volumen.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Todos los atributos propios de esta clase son todos aquellos que pertenecen o son heredados de *GeneratingUnit*, *Equipment* y *PowerSystemResource*. Mientras tanto, en la **Tabla 85** se muestran todos los extremos de asociación de esta clase con otras.

Tabla 85. Extremos de asociación de *GeneratingUnit* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[1..1]	[0..*] TailbayLossCurve	TailbayLossCurve	Una unidad de generación hidroeléctrica tiene una curva de pérdida de la bahía de cola.
[1..*]	[1..1] HydroPowerPlant	HydroPowerPlant	La unidad hidrogeneradora pertenece a una central hidroeléctrica.
[1..1]	[0..*] HydroGenerating EfficiencyCurves	HydroGenerating EfficiencyCurve	Una unidad hidrogeneradora tiene una curva de eficiencia.
[1..1]	[0..1] PenstockLossCurve	PenstockLossCurve	Una unidad generadora hidroeléctrica tiene una curva de pérdidas en la tubería forzada.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.7.4. *StarRampCurve*

Tasa en potencia activa bruta/minuto (eje Y) a la que se puede cargar una unidad frente al número de horas (eje X) que la unidad estuvo fuera de línea. Los atributos propios de esta clase además de los heredados de las clases *Curve* e *IdentifiedObject*, se muestran en la **Tabla 86**.

Tabla 86. Atributos de la clase *StarRampCurve*

Nombre	Tipo	Descripción
hotStandbyRamp	ActivePowerChangeRate	La tasa de rampa de inicio en bruto para una unidad que está en espera activa.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Haciendo referencia a sus extremos de asociación con otras clases, se emplea los que se muestran en la **Tabla 87**.

Tabla 87. Extremos de asociación de *StarRampCurve* con otras clases.

[mult from]	[Mult to]	Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[1..1]	StartupModel	StartupModel	El modelo de inicio de la unidad puede tener una curva de rampa de inicio.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.7.5. *StartupModel*

Características de puesta en marcha de la unidad, en función del tiempo que la misma ha estado fuera de línea. Los atributos de esta clase son los indicados en la **Tabla 35**, además de aquellos que hereda de la clase *IdentifiedObject*.

Tabla 88. Atributos de la clase *StartupModel*.

Nombre	Tipo	Descripción
fixedMaintCost	CostRate	Costo fijo de mantenimiento.
hotStandbyHeat	HeatRate	La cantidad de entrada de calor por unidad de tiempo requerida para la operación de espera en caliente.
incrementalMaintCost	CostPerEnergyUnit	Costo de mantenimiento incremental.
minimumDownTime	Hours	El número mínimo de horas que la unidad debe estar inactiva antes de reiniciar.
minimumRunTime	Hours	El número mínimo de horas que la unidad debe estar operando antes de permitir que se apague.

Nombre	Tipo	Descripción
startupDate	AbsoluteDateTime	La fecha y hora de la puesta en marcha más reciente de la unidad generadora.
startupPriority	Integer	Prioridad de inicio dentro del área de control donde los números más bajos indican prioridades más altas.
stbyAuxP	ActivePower	El consumo de energía activa auxiliar de la unidad para mantener el modo de espera.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Los extremos de asociación de *StartupModel* con otras clases se muestran en la **Tabla 89**.

Tabla 89. Extremos de asociación de *StarRampCurve* con otras clases.

[mult from]	[Mult to]	Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[1..1]	ThermalGeneratingUnit	ThermalGeneratingUnit	Una unidad de generación térmica puede tener un modelo de puesta en marcha.
[1..1]	[0..1]	StartRampCurve	StartRampCurve	El modelo de arranque de la unidad puede tener una curva de rampa de arranque.
[0..1]	[1..1]	StartMainFuelCurve	StartMainFuelCurve	El modelo de arranque de la unidad puede tener una curva de combustible principal de arranque.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.7.6. *ThermalGeneratingUnit*

Clase por medio de la cual se representa una unidad generadora cuyo motor principal puede ser una turbina de vapor, una turbina de combustión o un motor Diesel.

Los atributos de esta clase se detallan en la **Tabla 90**, además de los heredados de las clases *GeneratingUnit*, *Equipment* e *IdentifiedObject*.

Tabla 90. Atributos de la clase *ThermalGeneratingUnit*

Nombre	Tipo	Descripción
oMCost	CostPerHeatUnit	Costo de operación y mantenimiento de la unidad térmica.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

Sus extremos de asociación con otras clases se indican en la **Tabla 91**, además de aquellos que hereda de las clases *GeneratingUnit*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 91. Extremos de asociación de *ThermalGeneratingUnit* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..1]	[1..1] HeatRateCurve	HeatRateCurve	Una unidad de generación térmica puede tener una curva de tasa de calor.
[1..1]	[0..1] CogenerationPlant	CogenerationPlant	Una unidad de generación térmica puede ser miembro de una planta de cogeneración.
[0..1]	[1..1] StartupModel	StartupModel	Una unidad de generación térmica puede tener un modelo de puesta en marcha.
[0..1]	[1..1] EmissionCurves	EmissionCurve	Una unidad generadora térmica puede tener una o más curvas de emisión.
[1..1]	[0..1] ShutdownCurve	ShutdownCurve	Una unidad de generación térmica puede tener una curva de apagado.
[0..1]	[1..1] FossilFuels	FossilFuel	Una unidad generadora térmica puede tener uno o más combustibles fósiles.
[0..1]	[1..1] CAESPlant	CAESPlant	Una unidad de generación térmica puede ser un miembro de una planta de almacenamiento de energía de aire comprimido.
[1..1]	[0..1] CombinedCyclePlant	CombinedCyclePlant	Una unidad de generación térmica puede ser miembro de una planta de ciclo combinado.
[1..1]	[0..1] EmissionAccounts	EmissionAccount	Una unidad de generación térmica puede tener una o más cuentas de derechos de emisión.
[0..1]	[1..1] HeatInputCurve	HeatInputCurve	Una unidad de generación térmica puede tener una curva de entrada de calor.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.8. Package LoadModel

Este paquete es responsable de modelar los consumidores de energía y la carga del sistema como curvas y datos de curvas asociados. También se incluyen aquí circunstancias especiales que pueden afectar la carga, como condiciones climáticas de estaciones o días.

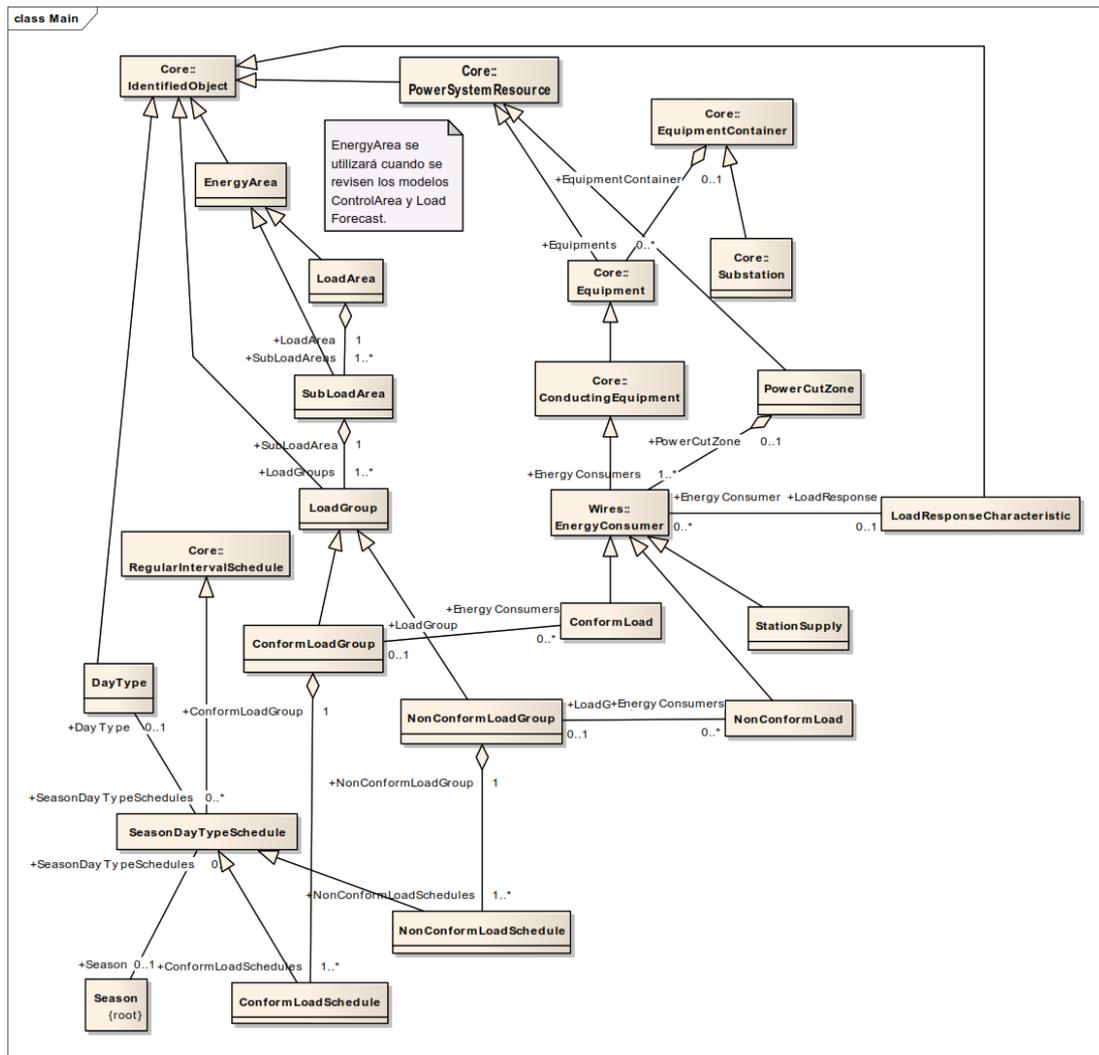


Figura 40. Diagrama de clases incluidas en el Paquete *LoadModel*.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.1.8.1. *NonConformLoad*

Representa cargas que no siguen un patrón de cambio de carga diario y los cambios no están correlacionados con el patrón de cambio de carga diario.

Los atributos que conforman *NonCoformLoad* son todos aquellos que hereda de las clases *EnergyConsumer*, *ConductingEquipment*, *Equipment* e *IdentifiedObject*, mientras que sus extremos de asociación se indican en la **Tabla 92**, además de los que hereda de las clases *EnergyConsumer*, *ConductingEquipment*, *Equipment* y *PowerSystemResource*.

Tabla 92. Extremos de asociación de *NonCoformLoad* con otras clases.

[mult from]	[Mult to] Nombre	Tipo	Descripción
[0..*]	[0..1] LoadGroup	NonConformLoadGroup	Grupo de este ConformLoad.

Fuente. (IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 2011)

5.2.2. Análisis a Diagrama Unifilar de SNI del Ecuador

Previo a la modelación del SNI del Ecuador se procedió a su estudio y ambientación, durante ello se estableció la correspondiente enumeración de las barras en todo el sistema y de esa manera estructurar un orden a seguir durante dicho proceso debido a la extensión del mismo. Una primera sección o anillo de transmisión fue el de 500 kV en el cual se enumeró por ejemplo un total de 13 barras, 8 unidades de generación con sus correspondientes unidades de transformación, líneas y algunos dispositivos adicionales como Compensadores de Derivación.

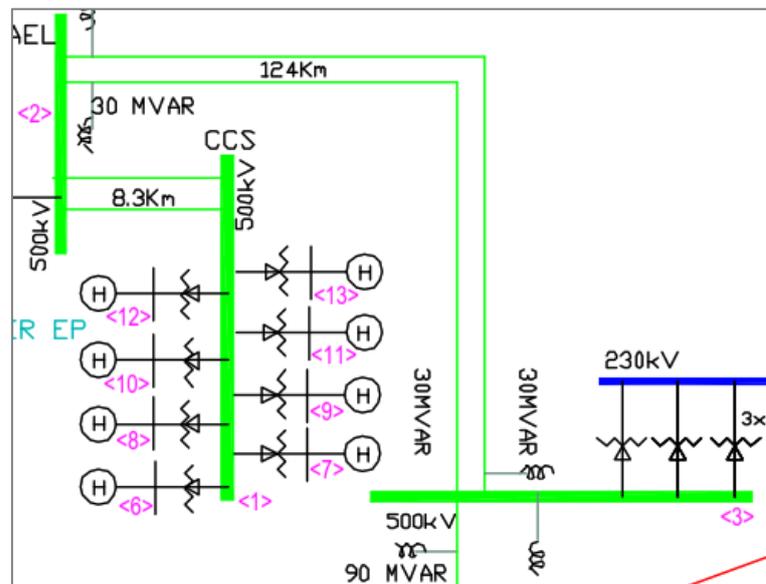


Figura 41. Sección Línea 500 kV Diagrama Unifilar SIN
Fuente. (Operador Nacional de Electricidad - CENACE, 2020)

En la **Figura 41** se puede apreciar una sección del SNI en su Línea de transmisión de 500 kV, pudiéndose evidenciar además la enumeración realizada a cada barra para proceder posteriormente al proceso de modelación.

Luego de este primer avance, la siguiente sección a modelar era la correspondiente a la Línea de transmisión de 230 kV. Esta sección se la modeló siguiendo los mismos principios que la anterior, con la excepción de que en este nivel de tensión existen las interconexiones con los países vecinos de Colombia y Perú, por ello existieron dispositivos con características especiales a modelar dentro del Estándar IEC 61970-301, en la figura se puede apreciar la interconexión que existe con Perú.

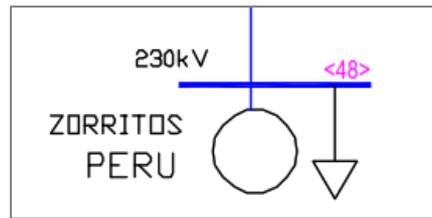


Figura 42. Interconexión del SNI con Perú.
Fuente. (Operador Nacional de Electricidad - CENACE, 2020)

Para las Líneas de Transmisión con niveles de tensión de 138 kV, 69 kV, 46 kV, 23 kV y 13.8 kV, de igual manera que las secciones de 500 kV y 230 kV se aplicó el mismo principio siguiendo el debido orden respecto con las barras numeradas en el análisis previo del SNI, además de ello es importante también mencionar que todos los nombres que identificaban a cada punto en el sistema como Subestaciones, Centrales de Generación Hidráulicas, Térmicas y Eólicas, valores de potencia de transformadores, voltaje en Líneas, entre otros, fueron establecidos debidamente dentro de la modelación de manera que sea fácil la búsqueda de cierto dispositivo o sección en particular.

Una vez cumplido con todo el análisis del SNI en todas sus Líneas de transmisión con sus diferentes niveles de tensión se debe mencionar que existieron un total de **272 Barras**, valor considerable en cuanto a la extensión del archivo en formato CIM/XML de la modelación del Sistema objeto de estudio, del cual toda la descripción propicia en cuanto a su desarrollo se describe en la siguiente sección.

5.2.3. Proceso para validación al modelo CIM/XML del SNI del Ecuador

Una vez que se ha cumplido satisfactoriamente con la estructuración del código CIM/XML en base a los protocolos del Estándar IEC 61970-301 es necesario realizar una validación del mismo, para de esa manera entre algunos otros aspectos poder identificar y corregir posibles errores que se pudieran presentar. Para este procedimiento se lo realizó con ayuda de la Herramienta **CIMPlanner** en su versión **v27-05-2019** la cual es producto del Proyecto de Investigación: “Herramienta para el Soporte en la Toma de Decisiones para la Planificación de la Restauración de Sistemas Eléctricos de Potencia de la Universidad Nacional de Loja, el cual basa su funcionamiento en el software **NetBeans IDE v8.2**.

Para el desarrollo de este objetivo se lo hizo por medio de los siguientes pasos:

- 1) Una vez abierto el software NetBeans IDE v8.2, por medio de la herramienta de “Open Project” abrimos el aplicativo o proyecto CIMPlanner v27-05-2019 como se muestra en la **Figura 43**.

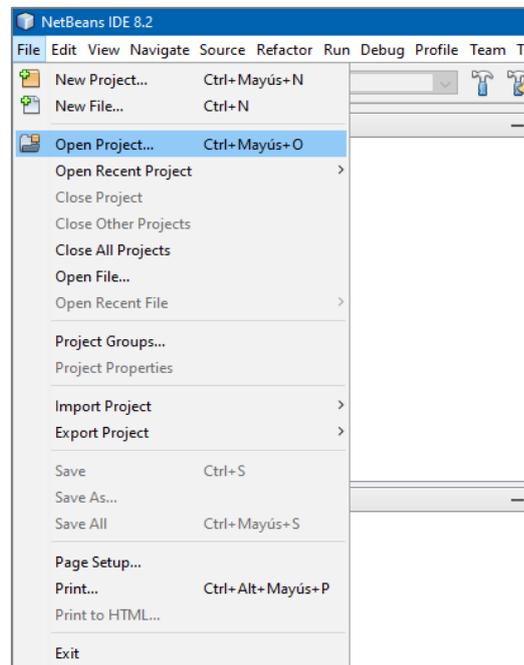


Figura 43. Abrir un proyecto en software NetBeans IDE v8.2
Fuente. Autor

- 2) Luego de cargar el proyecto CIMPlanner v27-05-2019, se procede a ejecutarlo y esperamos hasta que nos cargue la ventana propia del aplicativo que nos indique que el software está listo para trabajar. Un aspecto importante de recalcar es que para el correcto funcionamiento de esta herramienta se requiere de la instalación de un software adicional, el cual es de tipo libre y lleva por nombre **JAVA Oracle v1.8.0_111-b14**.

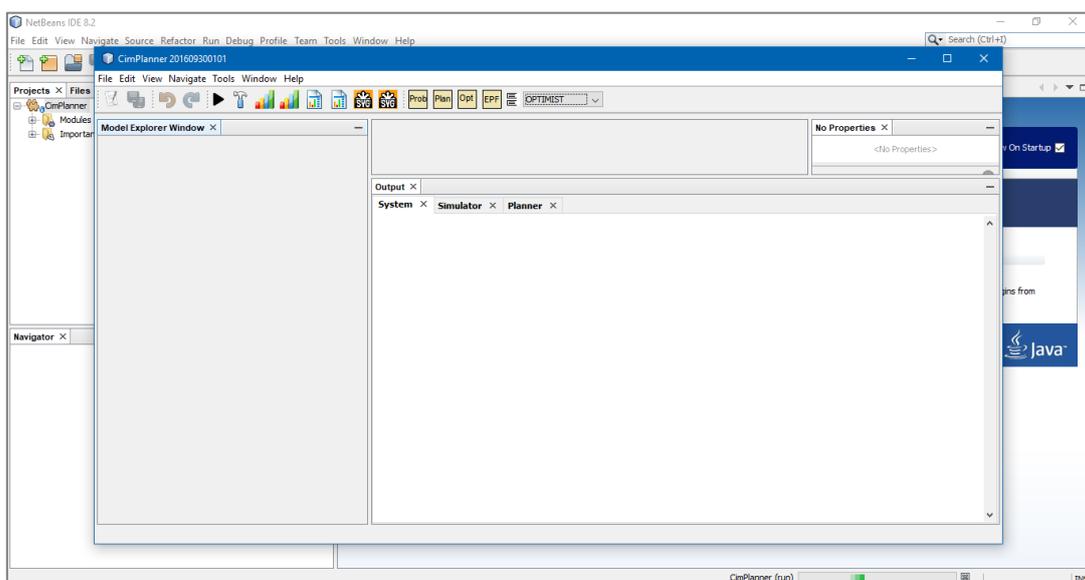


Figura 44. Interfaz de aplicativo CIMPlanner v27-05-2019
Fuente. Autor

- 3) Finalmente, para abrir el archivo .xml completo recurrimos a la opción “Open CIM” dentro de CIMPlanner y buscamos el archivo dentro de nuestro PC. Si al abrirlo el software no arroja ningún error significará que la estructura del código XML es correcta y nos mostrará los resultados como se muestra en la **Figura 45**, de lo contrario nos evidenciará los errores encontrados.

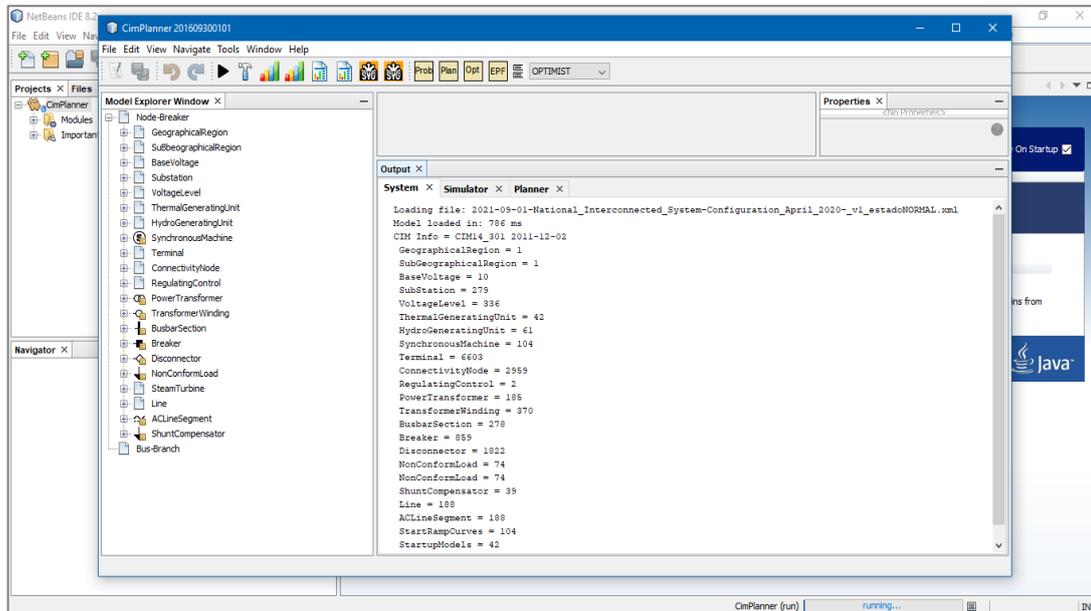


Figura 45. Resultado final de validación de modelación CIM XML de SNI del Ecuador.

Fuente. Autor

CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

En esta sección se ha descrito la metodología empleada en la presente investigación, la cual se base principalmente en el uso del estándar IEC – 61970. Aquí se describe de manera detallada el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) es decir, los distintos paquetes, clases, atributos de las clases y sus asociaciones, jerarquía, entre otros; según el estándar IEC – 61970, bajo el enfoque de la programación orientada a objetos. Esto corresponde a la ontología que se usará para modelar un SEP cualquiera. También se menciona el diagrama unifilar del SNI ecuatoriano, el cual se usó para establecer la información utilizada más adelante en la codificación CIM/XML según el estándar en estudio.

6. Resultados

6.1. Codificación CIM/XML del SNI del Ecuador

Para poder cumplir satisfactoriamente con el objetivo que hace referencia a la Modelación en formato CIM/XML del SNI en su diagrama unifilar con su configuración de abril 2020 se aplicó ciertas técnicas que en parte facilitaron o agilizaron dicho proceso. En primera instancia se tenía que buscar un software que permita desarrollar la modelación usando el Lenguaje de marcas Extensible XML y para dar solución a este problema se lo hizo por medio del software “Altova XMLSpy” en su versión 2018, el cual además de ser funcional con una licencia de acceso libre, presentaba todas las características necesarias para poder cumplir satisfactoriamente con el objetivo planteado.

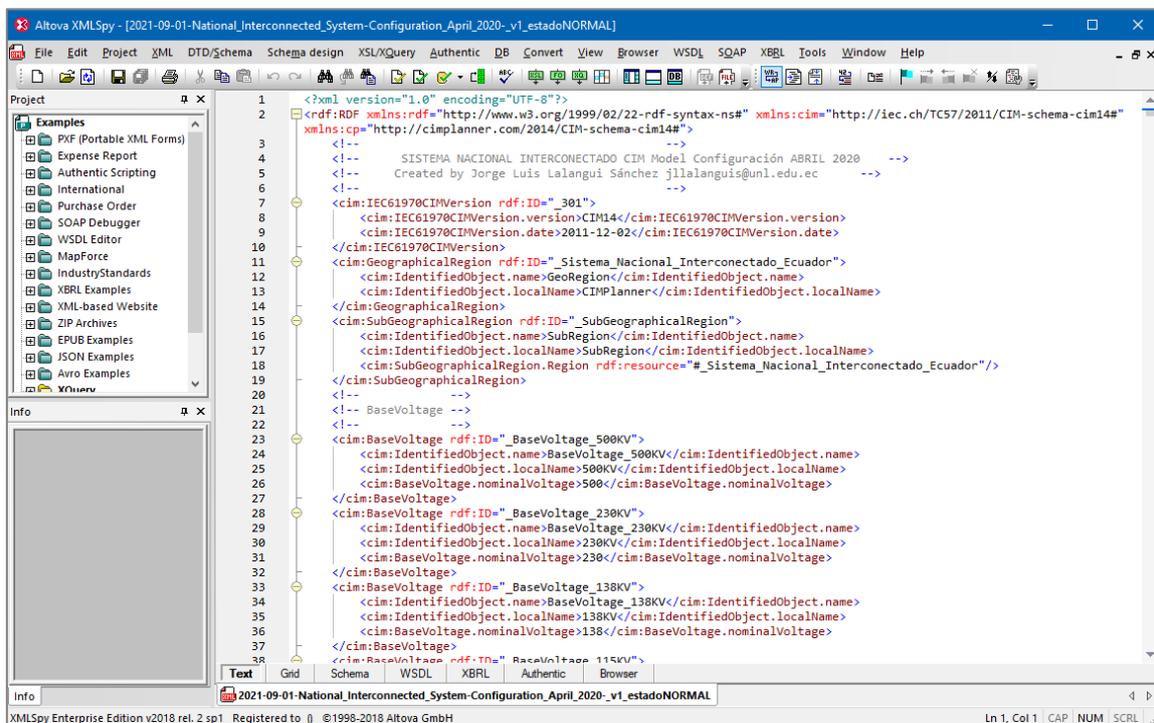


Figura 46. Modelación CIM XML de SNI en software Altova XMLSpy v2018
Fuente. Autor

Adicionalmente y una vez analizado todo el diagrama unifilar del SNI se pudo establecer que ciertos dispositivos tenían un código de modelación común, en el cual solo variaban atributos como por ejemplo los correspondientes a los ID's que definen una clase, cuya característica primordial es que sean únicos, es decir que no exista otra clase con esa denominación, otra característica única que variaba entre una clase y otra era el atributo que hacía referencia a la relación de dicha clase con otras, cuya representación se denotaba por

medio de **rdf: Resource**, y, por ultimo también se puede mencionar como valores únicos los valores eléctricos que identificaban a cada dispositivo presente en el sistema analizado.

Con todo lo antes mencionado se buscó la manera de agilizar este proceso de reemplazo de dichas variables, para lo cual la solución más eficaz fue por medio de una herramienta presente en el sistema operativo Windows denominada “Documento de texto” con su formato *.txt*, en este software se presenta una opción que permite cumplir con el proceso mencionado para luego proceder a introducirlo en el código general de la modelación.

La **Figura 47** muestra una sección ejemplo de la estructura del código de modelación para un transformador con unidad de generación de tipo térmica en la herramienta “Documentos de texto” de Windows.

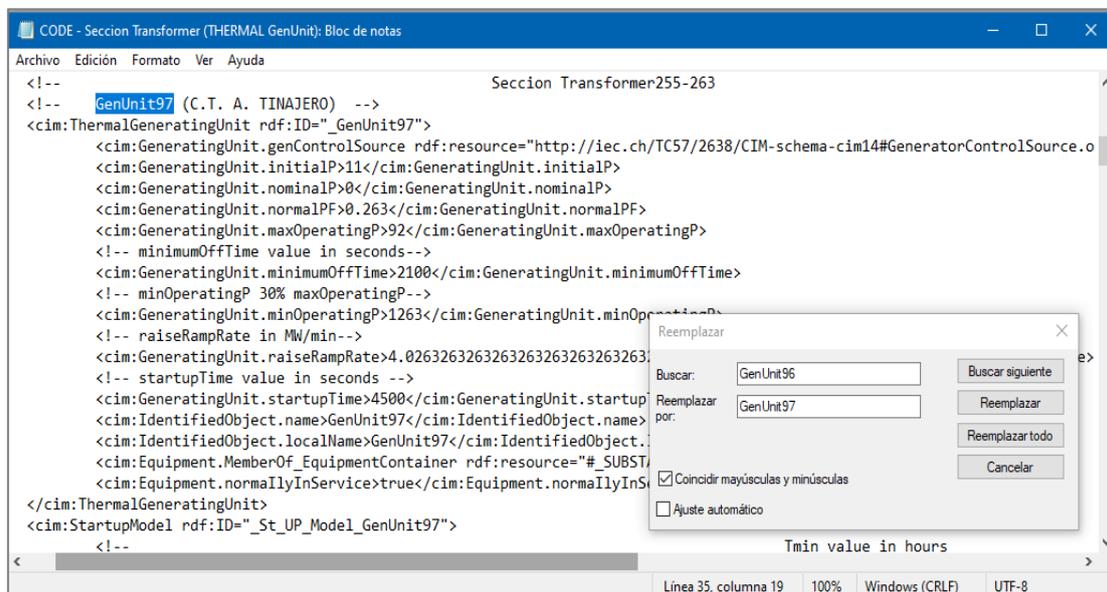


Figura 47. Redacción XML para un transformador con unidad de generación térmica.
Fuente. Autor

En base al proceso mencionado anteriormente se realizó la modelación CIM/XML de todo el SNI, siendo importante el generar los archivos de la **Figura 48**, mismos que agilizaron considerablemente el cumplir satisfactoriamente con este objetivo.

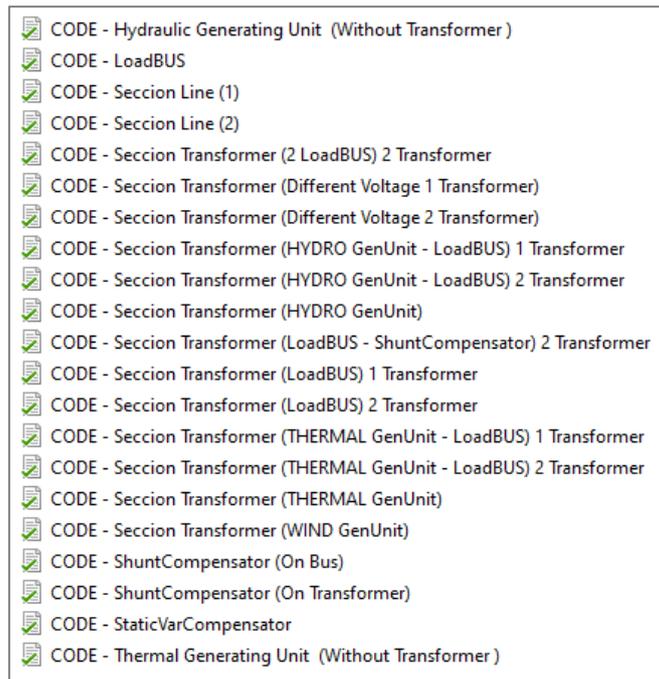


Figura 48. Códigos en formato CIM XML empleados en la modelación del SNI.

Fuente. Autor

Para facilitar la comprensión y a su vez contribuir a futuros proyectos a adoptar esta nueva tecnología en el **Anexo 3** se presentan todos los archivos que contienen la estructura XML para distintos componentes del SNI.

6.2. Modelación en formato CIM/XML al SNI del Ecuador

Con el dominio de los conocimientos necesarios se procedió a modelar el SNI del Ecuador con su configuración de abril 2020 en base al Estándar IEC 61970-301, para ello se lo hizo por medio de determinados softwares que agilizaron este proceso. Considerando la extensión de SNI, en esta sección se presenta únicamente la estructura XML de algunos componentes que forman parte de este sistema, el archivo final en formato CIM/XML se lo adjuntara en la presentación del presente trabajo de titulación. (Ver **Anexo 2**).

6.2.1. Aspectos generales en modelación

En este apartado se puede evidenciar una primera sección del código CIM XML modelado en base al SNI del Ecuador en donde las clases presentadas especifican algunos aspectos generales que ya previamente se describieron en secciones anteriores, por ejemplo, la clase ***IEC61970CIMVersion*** describe la versión de la Norma o Estándar en la que baso la modelación que en este caso fue la IEC 61970 en su apartado 301: Base del Modelo de Información Común (CIM14v15), con año de publicación en 2011-12-02. También se evidencia las clases ***GeographicalRegion*** y ***SubGeographicalRegion*** las cuales de manera general describen el

sistema objeto de estudio a seguir para la modelación en formato CIM XML, el cual se puede apreciar a continuación:

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#" xmlns:cim="http://iec.ch/TC57/2011/CIM-schema-cim14#"
3   xmlns:cp="http://cimplanner.com/2014/CIM-schema-cim14#"
4   <!-- SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO CIM Model Configuración ABRIL 2020 -->
5   <!-- Created by Jorge Luis Lalanguí Sánchez jllalanguis@unl.edu.ec -->
6   <!-- -->
7   <cim:IEC61970CIMVersion rdf:ID="_301">
8     <cim:IEC61970CIMVersion.version>CIM14</cim:IEC61970CIMVersion.version>
9     <cim:IEC61970CIMVersion.date>2011-12-02</cim:IEC61970CIMVersion.date>
10  </cim:IEC61970CIMVersion>
11  <cim:GeographicalRegion rdf:ID="_Sistema_Nacional_Interconectado_Ecuador">
12    <cim:IdentifiedObject.name>GeoRegion</cim:IdentifiedObject.name>
13    <cim:IdentifiedObject.localName>CIMPlanner</cim:IdentifiedObject.localName>
14  </cim:GeographicalRegion>
15  <cim:SubGeographicalRegion rdf:ID="_SubGeographicalRegion">
16    <cim:IdentifiedObject.name>SubRegion</cim:IdentifiedObject.name>
17    <cim:IdentifiedObject.localName>SubRegion</cim:IdentifiedObject.localName>
18    <cim:SubGeographicalRegion.Region rdf:resource="#_Sistema_Nacional_Interconectado_Ecuador"/>
19  </cim:SubGeographicalRegion>
20  <!-- -->

```

Figura 49. XML con aspectos generales en la modelación del SIN
Fuente. Autor

Cada una de las clases presentadas evidencian un **rdf:ID** único, lo que corrobora definiciones anteriores en las que se menciona que cada clase en todo el código XML debe mantener una obligatoria singularidad en este atributo, además de ello también existe una descripción general de todo el código representada en forma de texto general como lo exige el Lenguaje de Marcas Extensible XML.

6.2.2. Estructura CIM/XML para modelar una Unidad de Generación

Para ejemplificar como se modela una unidad de generación en el SNI nos basaremos en una de las 2 existentes en la subestación Central MANDURIACU, la cual como se puede apreciar en la **Figura 50** es de tipo Hidráulica con una capacidad máxima instalada de 60 MW de potencia total de generación, conectándose con el anillo de transmisión de 230 kV.

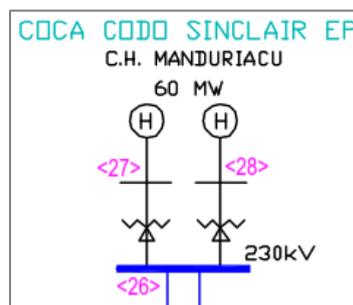


Figura 50. Unidad de Generación de tipo Hidráulica.
Fuente. Autor

Una primera sección del código XML contiene características propias para una unidad de generación de tipo Hidráulica, las cuales están contenidas dentro de la clase *HydroGeneratingUnit*. Destacando algunas de las propiedades importantes que se definen en este componente tenemos su Potencia Inicial, Potencia Nominal y Potencia Normal; Potencia

en su estado máximo y mínimo de operación, tiempo mínimo de inactividad, tiempo de inicio para operar, entre otras.

```

10243 <!-- Seccion Transformer26-27 -->
10244 <!-- GenUnit10 -->
10245 <cim:HydroGeneratingUnit rdf:ID="_GenUnit10">
10246   <cim:GeneratingUnit.genControlSource rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#GeneratorControlSource.onAGC"/>
10247   <cim:GeneratingUnit.initialP>10</cim:GeneratingUnit.initialP>
10248   <cim:GeneratingUnit.nominalP>30</cim:GeneratingUnit.nominalP>
10249   <cim:GeneratingUnit.normalPF>0.90</cim:GeneratingUnit.normalPF>
10250   <cim:GeneratingUnit.maxOperatingP>30</cim:GeneratingUnit.maxOperatingP>
10251   <!-- minimumOffTime value in seconds-->
10252   <cim:GeneratingUnit.minimumOffTime>2100</cim:GeneratingUnit.minimumOffTime>
10253   <!-- minOperatingP 30% maxOperatingP-->
10254   <cim:GeneratingUnit.minOperatingP>195</cim:GeneratingUnit.minOperatingP>
10255   <!-- raiseRampRate in Mw/min-->
10256   <cim:GeneratingUnit.raiseRampRate>4.066666666666666666666666666667</cim:GeneratingUnit.raiseRampRate>
10257   <!-- startupTime value in seconds -->
10258   <cim:GeneratingUnit.startupTime>4500</cim:GeneratingUnit.startupTime>
10259   <cim:IdentifiedObject.name>GenUnit10</cim:IdentifiedObject.name>
10260   <cim:IdentifiedObject.localName>GenUnit10</cim:IdentifiedObject.localName>
10261   <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_H10"/>
10262   <cim:Equipment.normallyInService>true</cim:Equipment.normallyInService>
10263 </cim:HydroGeneratingUnit>

```

Figura 51. Estructura CIM/XML para Unidad de Generación de tipo Hidráulica.
Fuente. Autor

También se modelan atributos adicionales de una unidad de generación por medio de las clases *StarRampCurve*, *HydroTurbine* y *SynchronousMachine*, las cuales para mayor comprensión se definen en secciones anteriores.

```

10264 <cim:StarRampCurve rdf:ID="_St_Rmp_Curve_GenUnit10">
10265   <!--hotStandbyRamp=GeneratingUnit_minOperatingP / GeneratingUnit_startupTime [W/s]-->
10266   <cim:StarRampCurve.hotStandbyRamp>43333.333</cim:StarRampCurve.hotStandbyRamp>
10267 </cim:StarRampCurve>
10268 <cim:HydroTurbine rdf:ID="_HT_GenUnit10">
10269   <cim:IdentifiedObject.name>HT_GenUnit10</cim:IdentifiedObject.name>
10270   <cim:IdentifiedObject.localName>HT_GenUnit10</cim:IdentifiedObject.localName>
10271   <cim:PrimeMover.SynchronousMachines rdf:resource="#_ShynchMachine_GenUnit10"/>
10272 </cim:HydroTurbine>
10273 <cim:SynchronousMachine rdf:ID="_ShynchMachine_GenUnit10">
10274   <cim:SynchronousMachine.maxQ>800</cim:SynchronousMachine.maxQ>
10275   <cim:SynchronousMachine.minQ>-500</cim:SynchronousMachine.minQ>
10276   <!-- ratedS no assigned -->
10277   <cim:SynchronousMachine.ratedS>0</cim:SynchronousMachine.ratedS>
10278   <cim:Equipment.normallyInService>true</cim:Equipment.normallyInService>
10279   <cim:SynchronousMachine.operatingMode rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#SynchronousMachineOperatingMode.generator"/>
10280   <cim:SynchronousMachine.type rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#SynchronousMachineType.generator"/>
10281   <cim:SynchronousMachine.referencePriority>0</cim:SynchronousMachine.referencePriority>
10282   <cim:IdentifiedObject.name>Synch_GenUnit10</cim:IdentifiedObject.name>
10283   <cim:IdentifiedObject.localName>Synch_GenUnit10</cim:IdentifiedObject.localName>
10284   <cim:SynchronousMachine.MemberOf_GeneratingUnit rdf:resource="#_GenUnit10"/>
10285   <cim:RegulatingCondEq.RegulatingControl rdf:resource="#_RegulatingControl_voltaje_1"/>
10286   <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_H10_VLevel_13.8KV_LV"/>
10287   <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_13.8KV"/>
10288 </cim:SynchronousMachine>

```

Figura 52. Clases para modelar una unidad de generación de tipo hidráulica
Fuente. Autor

Finalmente se modela las conexiones de la unidad de generación con los componentes en el S.N.I con los que se relacione, esto se realiza por medio de las clases *Terminal*, *ConnectivityNode* y *Disconnecter*.

```

10289 <!-- Terminal -->
10290 <!-- Terminal -->
10291 <!-- Terminal -->
10292 <!-- Terminal -->
10293 <!-- Terminal -->
10294 <!-- Terminal -->
10295 <!-- Terminal -->
10296 <!-- Terminal -->
10297 <!-- Terminal -->
10298 <!-- Terminal -->
10299 <!-- Terminal -->
10300 <!-- Terminal -->
10301 <!-- Terminal -->
10302 <!-- Terminal -->
10303 <!-- Terminal -->
10304 <!-- Terminal -->
10305 <!-- Terminal -->
10306 <!-- Terminal -->
10307 <!-- Terminal -->
10308 <!-- Terminal -->
10309 <!-- Terminal -->
10310 <!-- Terminal -->
10311 <!-- Terminal -->
10312 <!-- Terminal -->
10313 <!-- Terminal -->
10314 <!-- Terminal -->
10315 <!-- Terminal -->
10316 <!-- Terminal -->
10317 <!-- Terminal -->
10318 <!-- Terminal -->
10319 <!-- Terminal -->

```

Figura 53. XML para conexiones de unidad de Generación con otros componentes.

Fuente. Autor

El ejemplo presentado está realizado como ya se mencionó, con una Unidad de Generación de tipo Hidráulica la cual se modela específicamente por medio de la clase *HydroGeneratingUnit*, pero en el SNI existen además unidades de generación de tipo Térmicas y Eólicas que se modelan por medio de las clases *ThermalGeneratingUnit* y *WindGeneratingUnit* respectivamente, en el **Anexo 5** y **Anexo 6** se puede apreciar la estructura XML para este tipo de unidades de generación.

6.2.3. Estructura CIM/XML para modelar una Barra.

En este caso para la modelación de una barra se tomó como ejemplo aquella ubicada en la subestación CHILIBULO, misma que adopta la numeración 102 en el análisis de todo el SNI y como se puede apreciar en la **Figura 54**, esta barra forma parte del anillo de transmisión de 138kV.

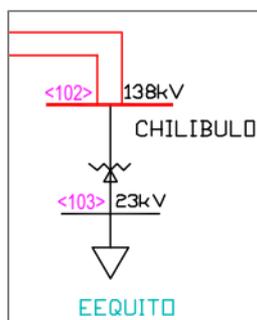


Figura 54. Barra de 138 kV en subestación CHILIBULO.

Fuente. Autor

La clase que define las características propias de una barra como sus identificativos y relaciones con otras clases se define como *BusbarSection*, y para las conexiones con otros componentes se lo realiza por medio de las clases *Terminal* y *ConectivityNode*.

```

37333 <!-- _BUS102 -->
37334 <cim:BusbarSection rdf:ID="_BUS102">
37335 <cim:IdentifiedObject.name>_BUS102</cim:IdentifiedObject.name>
37336 <cim:IdentifiedObject.localName>_BUS102</cim:IdentifiedObject.localName>
37337 <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_102_VLevel_138KV_HV"/>
37338 <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_138KV"/>
37339 </cim:BusbarSection>
37340 <cim:Terminal rdf:ID="_T1_BUS102">
37341 <cim:IdentifiedObject.name>_BUS102_T1</cim:IdentifiedObject.name>
37342 <cim:IdentifiedObject.localName>_BUS102_T1</cim:IdentifiedObject.localName>
37343 <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_BUS102"/>
37344 <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_BUS102_CN1"/>
37345 </cim:Terminal>
37346 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_BUS102_CN1">
37347 <cim:IdentifiedObject.name>_BUS102_CN1</cim:IdentifiedObject.name>
37348 <cim:IdentifiedObject.localName>_BUS102_CN1</cim:IdentifiedObject.localName>
37349 <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_102_VLevel_138KV_HV"/>
37350 </cim:ConnectivityNode>

```

Figura 55. Estructura CIM/XML para modelar una Barra.

Fuente. Autor

6.2.4. Estructura CIM/XML para modelar un Transformador.

El transformador de la subestación PEDERNALES ubicado entre las barras 78 y 79 según la numeración establecida en el análisis del diagrama unifilar al SNI, es el considerado para ilustrar cómo se modela en formato CIM/XML dicho componente.

Entre algunos de los aspectos importantes a resaltar de este componente tenemos que es un transformador con una potencia nominal de 67 MVA y es de tipo reductor, ya que disminuye el voltaje desde el anillo de transmisión de 138 kV al de 69 kV.

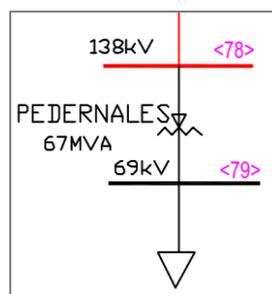


Figura 56. Transformador de Potencia en subestación PEDERNALES.

Fuente. Autor

Para la respectiva modelación de este dispositivo se lo realiza con una primera sección como se muestra en la **Figura 57** por medio de las clases *PowerTransformer* y *TransformerWinding*, mismas que permiten definir sus atributos identificativos y ciertos valores eléctricos en cada uno de los bornes del transformador. Su conexión con otros componentes dentro del SNI se modela por medio de las clases *Terminal* y *ConectivityNode*.

```

30178 <!-- Transformer78-79-->
30179 <cim:PowerTransformer rdf:ID="_Power_Transformer78-79">
30180 <cim:IdentifiedObject.name>Transformer78-79</cim:IdentifiedObject.name>
30181 <cim:IdentifiedObject.localName>Transformer78-79</cim:IdentifiedObject.localName>
30182 <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_79"/>
30183 <cim:Equipment.normallyInService>true</cim:Equipment.normallyInService>
30184 </cim:PowerTransformer>
30185 <cim:TransformerWinding rdf:ID="_Transformer78-79_W1">
30186 <cim:TransformerWinding.g>0</cim:TransformerWinding.g>
30187 <cim:TransformerWinding.b>0.0000</cim:TransformerWinding.b>
30188 <cim:TransformerWinding.r>0.0000</cim:TransformerWinding.r>
30189 <cim:TransformerWinding.x>0.0169</cim:TransformerWinding.x>
30190 <cim:TransformerWinding.ratedU>67</cim:TransformerWinding.ratedU>
30191 <cim:TransformerWinding.ratedS>67</cim:TransformerWinding.ratedS>
30192 <cim:TransformerWinding.windingType rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#windingType.primary"/>
30193 <cim:TransformerWinding.connectionType rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#windingConnection.Y"/>
30194 <cim:IdentifiedObject.name>Transformer78-79_W1</cim:IdentifiedObject.name>
30195 <cim:IdentifiedObject.localName>Transformer78-79_W1</cim:IdentifiedObject.localName>
30196 <cim:TransformerWinding.MemberOf_PowerTransformer rdf:resource="#_Power_Transformer78-79"/>
30197 <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_138KV"/>
30198 </cim:TransformerWinding>
30199 <cim:Terminal rdf:ID="_Transformer78-79_W1_T1">
30200 <cim:IdentifiedObject.name>Transformer78-79_W1_T1</cim:IdentifiedObject.name>
30201 <cim:IdentifiedObject.localName>Transformer78-79_W1_T1</cim:IdentifiedObject.localName>
30202 <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_Transformer78-79_W1"/>
30203 <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Transformer78-79_W1_CN1"/>
30204 </cim:Terminal>
30205 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_Transformer78-79_W1_CN1">
30206 <cim:IdentifiedObject.name>Transformer78-79_W1_CN1</cim:IdentifiedObject.name>
30207 <cim:IdentifiedObject.localName>Transformer78-79_W1_CN1</cim:IdentifiedObject.localName>
30208 <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_78_VLevel_138KV_HV"/>
30209 </cim:ConnectivityNode>
30210 <cim:TransformerWinding rdf:ID="_Transformer78-79_W2">
30211 <cim:TransformerWinding.g>0</cim:TransformerWinding.g>
30212 <cim:TransformerWinding.b>0</cim:TransformerWinding.b>
30213 <cim:TransformerWinding.r>0</cim:TransformerWinding.r>
30214 <cim:TransformerWinding.x>0</cim:TransformerWinding.x>
30215 <cim:TransformerWinding.ratedU>0</cim:TransformerWinding.ratedU>
30216 <cim:TransformerWinding.ratedS>0</cim:TransformerWinding.ratedS>
30217 <cim:TransformerWinding.windingType rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#windingType.secondary"/>
30218 <cim:TransformerWinding.connectionType rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#windingConnection.Y"/>
30219 <cim:IdentifiedObject.name>Transformer78-79_W2</cim:IdentifiedObject.name>
30220 <cim:IdentifiedObject.localName>Transformer78-79_W2</cim:IdentifiedObject.localName>
30221 <cim:TransformerWinding.MemberOf_PowerTransformer rdf:resource="#_Power_Transformer78-79"/>
30222 <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_69KV"/>
30223 </cim:TransformerWinding>
30224 <cim:Terminal rdf:ID="_Transformer78-79_W2_T1">
30225 <cim:IdentifiedObject.name>Transformer78-79_W2_T1</cim:IdentifiedObject.name>
30226 <cim:IdentifiedObject.localName>Transformer78-79_W2_T1</cim:IdentifiedObject.localName>
30227 <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_Transformer78-79_W2"/>
30228 <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Transformer78-79_W2_CN1"/>
30229 </cim:Terminal>
30230 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_Transformer78-79_W2_CN1">
30231 <cim:IdentifiedObject.name>Transformer78-79_W2_CN1</cim:IdentifiedObject.name>
30232 <cim:IdentifiedObject.localName>Transformer78-79_W2_CN1</cim:IdentifiedObject.localName>
30233 <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_79_VLevel_69KV_LV"/>
30234 </cim:ConnectivityNode>

```

Figura 57. Estructura CIM/XML para modelar un Transformador.

Fuente. Autor

Adicional al código CIM/XML presentado en la figura anterior se debe tener en cuenta los dispositivos de tipo interruptores presentes en el transformador, entre ellos tenemos aquellos que se representan por medio de las clases *Disconnecter* y *Breaker* cada una de ellas con su respectiva modelación de conexión con otros componentes en el SNI por medio de las clases *Terminal* y *ConnectivityNode*.

```

30235 <!-- Transformer78-79 Switch Devices
30236 <!-- Disconnector S1 Transformer78-79 -->
30237 <cim:Disconnector rdf:ID="_S1_Transformer78-79">
30238   <cim:Switch.normalOpen>false</cim:Switch.normalOpen>
30239   <cim:IdentifiedObject.name>S1</cim:IdentifiedObject.name>
30240   <cim:IdentifiedObject.localName>S1</cim:IdentifiedObject.localName>
30241   <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_78_VLevel_138KV_HV"/>
30242   <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_138KV"/>
30243 </cim:Disconnector>
30244 <cim:Terminal rdf:ID="_T1_S1_Transformer78-79">
30245   <cim:IdentifiedObject.name>S1_T1_Transformer78-79</cim:IdentifiedObject.name>
30246   <cim:IdentifiedObject.localName>S1_T1</cim:IdentifiedObject.localName>
30247   <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_S1_Transformer78-79"/>
30248   <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Transformer78-79_W1_CN1"/>
30249 </cim:Terminal>
30250 <cim:Terminal rdf:ID="_T2_S1_Transformer78-79">
30251   <cim:IdentifiedObject.name>S1_T2</cim:IdentifiedObject.name>
30252   <cim:IdentifiedObject.localName>S1_T2</cim:IdentifiedObject.localName>
30253   <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_S1_Transformer78-79"/>
30254   <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Breaker_B1_Transformer78-79_CN1"/>
30255 </cim:Terminal>
30256 <!-- Breaker B1 Transformer78-79 -->
30257 <cim:Breaker rdf:ID="_Breaker_B1_Transformer78-79">
30258   <cim:Breaker.ratedCurrent>0</cim:Breaker.ratedCurrent>
30259   <cim:Switch.normalOpen>false</cim:Switch.normalOpen>
30260   <cim:IdentifiedObject.name>Breaker_B1</cim:IdentifiedObject.name>
30261   <cim:IdentifiedObject.localName>B1</cim:IdentifiedObject.localName>
30262   <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_78_VLevel_138KV_HV"/>
30263   <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_138KV"/>
30264 </cim:Breaker>
30265 <cim:Terminal rdf:ID="_T1_Breaker_B1_Transformer78-79">
30266   <cim:IdentifiedObject.name>B1_T1</cim:IdentifiedObject.name>
30267   <cim:IdentifiedObject.localName>B1_T1</cim:IdentifiedObject.localName>
30268   <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_Breaker_B1_Transformer78-79"/>
30269   <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Breaker_B1_Transformer78-79_CN1"/>
30270 </cim:Terminal>
30271 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_Breaker_B1_Transformer78-79_CN1">
30272   <cim:IdentifiedObject.name>B1_Transformer78-79_CN1</cim:IdentifiedObject.name>
30273   <cim:IdentifiedObject.localName>B1_Transformer78-79_CN1</cim:IdentifiedObject.localName>
30274   <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_78_VLevel_138KV_HV"/>
30275 </cim:ConnectivityNode>
30276 <cim:Terminal rdf:ID="_T2_Breaker_B1_Transformer78-79">
30277   <cim:IdentifiedObject.name>B1_T2</cim:IdentifiedObject.name>
30278   <cim:IdentifiedObject.localName>B1_T2</cim:IdentifiedObject.localName>
30279   <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_Breaker_B1_Transformer78-79"/>
30280   <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Breaker_B1_Transformer78-79_CN2"/>
30281 </cim:Terminal>
30282 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_Breaker_B1_Transformer78-79_CN2">
30283   <cim:IdentifiedObject.name>B1_Transformer78-79_CN2</cim:IdentifiedObject.name>
30284   <cim:IdentifiedObject.localName>B1_Transformer78-79_CN2</cim:IdentifiedObject.localName>
30285   <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_78_VLevel_138KV_HV"/>
30286 </cim:ConnectivityNode>

```

Figura 58. Estructura CIM/XML para modelar interruptores en un Transformador.
Fuente. Autor

6.2.5. Estructura CIM/XML para modelar una Línea

Para ilustrar como se modela una Línea se lo realizará en base a la sección que conecta las barras 189 y 190 en el anillo de transmisión de 138 kV como se muestra en la **Figura 59**, aquí podemos evidenciar la existencia de 2 líneas, las cuales se modelan por separado y para este ejemplo se empleará una de ellas.

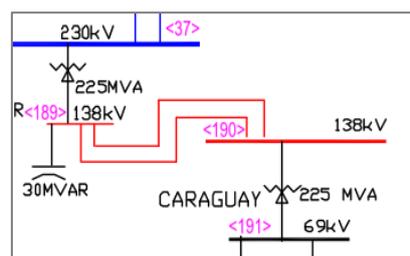


Figura 59. Líneas de interconexión 189-190 en SNI con nivel de tensión de 138 kV.
Fuente. Autor

El código correspondiente a la Línea 1 que conecta las barras 189 y 190 se muestra en la **Figura 60**, en donde se especifica la modelación para dicho componente por medio de las clases *Line* y *ACLineSegment*, adicionalmente se modela su conectividad con otros componentes por medio de las clases *Terminal* y *ConnectivityNode*.

```

69220 <!-- Line189-190_1 -->
69221 <cim:Line rdf:ID="_Line189-190_1_Line">
69222   <cim:IdentifiedObject.name>Line189-190_1</cim:IdentifiedObject.name>
69223   <cim:IdentifiedObject.localName>Line189-190_1</cim:IdentifiedObject.localName>
69224   <cim:Line.Region rdf:resource="#_SubGeographicalRegion"/>
69225 </cim:Line>
69226 <cim:ACLineSegment rdf:ID="_Line189-190_1_ACLineSeg">
69227   <cim:ACLineSegment.bch>0.2138</cim:ACLineSegment.bch>
69228   <cim:ACLineSegment.r>0.0011</cim:ACLineSegment.r>
69229   <cim:ACLineSegment.x>0.0133</cim:ACLineSegment.x>
69230   <cim:ACLineSegment.gch>0.0</cim:ACLineSegment.gch>
69231   <cim:ACLineSegment.g0ch>0.0</cim:ACLineSegment.g0ch>
69232   <cim:ACLineSegment.b0ch>0.0</cim:ACLineSegment.b0ch>
69233   <cim:ACLineSegment.r0>0.0</cim:ACLineSegment.r0>
69234   <cim:ACLineSegment.x0>0.0</cim:ACLineSegment.x0>
69235   <cim:Conductor.length>0</cim:Conductor.length>
69236   <cim:IdentifiedObject.name>Line189-190_1</cim:IdentifiedObject.name>
69237   <cim:IdentifiedObject.localName>Line189-190_1</cim:IdentifiedObject.localName>
69238   <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_138KV"/>
69239   <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_Line189-190_1_Line"/>
69240   <cim:Equipment.normallyInService>true</cim:Equipment.normallyInService>
69241 </cim:ACLineSegment>
69242 <cim:Terminal rdf:ID="_Line189-190_1_T1">
69243   <cim:IdentifiedObject.name>Line189-190_1_T1</cim:IdentifiedObject.name>
69244   <cim:IdentifiedObject.localName>Line189-190_1_T1</cim:IdentifiedObject.localName>
69245   <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_Line189-190_1_ACLineSeg"/>
69246   <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Line189-190_1_CN1"/>
69247 </cim:Terminal>
69248 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_Line189-190_1_CN1">
69249   <cim:IdentifiedObject.name>Line189-190_1_CN1</cim:IdentifiedObject.name>
69250   <cim:IdentifiedObject.localName>Line189-190_1_CN1</cim:IdentifiedObject.localName>
69251   <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_189_VLevel_138KV_HV"/>
69252 </cim:ConnectivityNode>
69253 <cim:Terminal rdf:ID="_Line189-190_1_T2">
69254   <cim:IdentifiedObject.name>Line189-190_1_T2</cim:IdentifiedObject.name>
69255   <cim:IdentifiedObject.localName>Line189-190_1_T2</cim:IdentifiedObject.localName>
69256   <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_Line189-190_1_ACLineSeg"/>
69257   <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_Line189-190_1_CN2"/>
69258 </cim:Terminal>
69259 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_Line189-190_1_CN2">
69260   <cim:IdentifiedObject.name>Line189-190_1_CN2</cim:IdentifiedObject.name>
69261   <cim:IdentifiedObject.localName>Line189-190_1_CN2</cim:IdentifiedObject.localName>
69262   <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_190_VLevel_138KV_HV"/>
69263 </cim:ConnectivityNode>

```

Figura 60. Estructura CIM/XML para modelar una Línea.
Fuente. Autor

6.2.6. Estructura CIM/XML para modelar una Carga

En este caso se modela una carga, tomándose como ejemplo aquella ubicada en la subestación POMASQUI, específicamente en base al análisis del SNI sobre la barra 110. El nivel de tensión sobre el que opera la carga en estudio es de 23 kV.

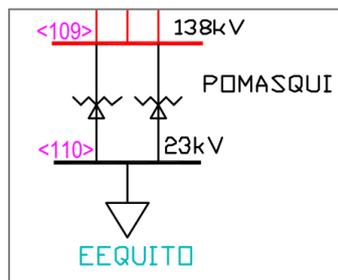


Figura 61. Carga en subestación POMASQUI con nivel de tensión de 23 kV.
Fuente. Autor

La estructura CIM/XML para este componente se muestra en la **Figura 62**, en donde se destacan la clase *NonConformLoad*, que es la que caracteriza la modelación de una carga y adicional a ello para representar su conexión con otros componentes dentro del SNI se realiza por medio de las clases *Terminal* y *ConnectivityNode*.

```

39992 <!-- _LOAD_Bus110 -->
39993 <cim:NonConformLoad rdf:ID="_LOAD_Bus110">
39994   <cim:EnergyConsumer.pfixed>139.000</cim:EnergyConsumer.pfixed>
39995   <cim:EnergyConsumer.qfixed>17.000</cim:EnergyConsumer.qfixed>
39996   <cim:EnergyConsumer.pfixedPct>0</cim:EnergyConsumer.pfixedPct>
39997   <cim:EnergyConsumer.qfixedPct>0</cim:EnergyConsumer.qfixedPct>
39998   <cim:IdentifiedObject.name>LOAD_Bus110</cim:IdentifiedObject.name>
39999   <cim:IdentifiedObject.localName>LOAD_Bus110</cim:IdentifiedObject.localName>
40000   <cim:Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_110"/>
40001   <cim:ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="#_BaseVoltage_23KV"/>
40002   <cim:Equipment.normallyInService>true</cim:Equipment.normallyInService>
40003 </cim:NonConformLoad>
40004 <cim:Terminal rdf:ID="_LOAD_Bus110_T1">
40005   <cim:IdentifiedObject.name>SUB2_LOAD1_T1</cim:IdentifiedObject.name>
40006   <cim:IdentifiedObject.localName>SUB2_LOAD1_T1</cim:IdentifiedObject.localName>
40007   <cim:Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="#_LOAD_Bus110"/>
40008   <cim:Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="#_LOAD_Bus110_CN1"/>
40009 </cim:Terminal>
40010 <cim:ConnectivityNode rdf:ID="_LOAD_Bus110_CN1">
40011   <cim:IdentifiedObject.name>LOAD_CN1</cim:IdentifiedObject.name>
40012   <cim:IdentifiedObject.localName>LOAD_CN1</cim:IdentifiedObject.localName>
40013   <cim:ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="#_SUBSTATION_110_VLevel_23KV_LV"/>
40014 </cim:ConnectivityNode>

```

Figura 62. Estructura CIM/XML para modelar una Carga.
Fuente. Autor

6.2.7. Estructura CIM/XML para modelar un Compensador en Derivación

Otro componente cuya estructura XML es necesario ejemplificar es la correspondiente a un *ShuntCompensator* o con su traducción al idioma español “Compensador en Derivación”. En la **Figura 63** se puede apreciar el componente a modelar, el cual se encuentra ubicado entre las barras 4 y 5 en el anillo de transmisión de 500 kV, poseyendo una capacidad de 120 MVAR.

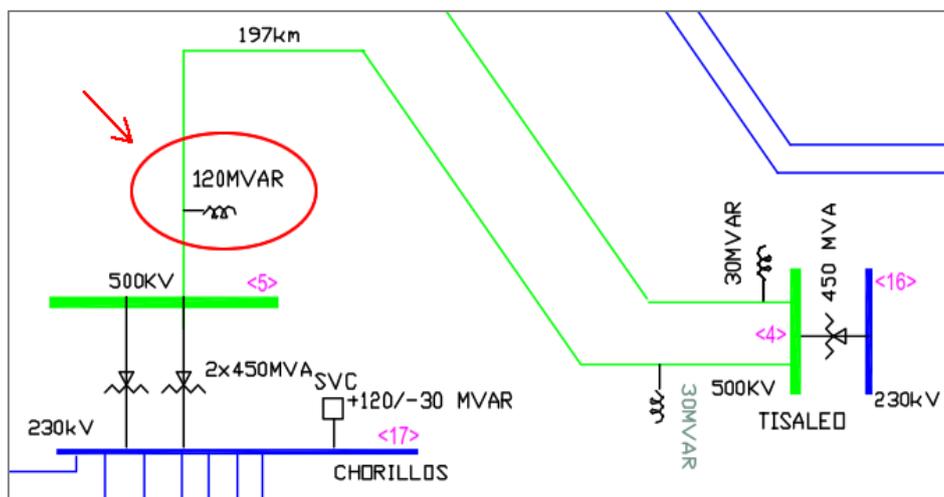


Figura 63. Compensador de Derivación en anillo de transmisión de 500 kV.
Fuente. Autor

La modelación de un Compensador de Derivación se muestra en la **Figura 64**, en donde se destaca la clase *ShuntCompensator* como la principal para definir los atributos propios de este componente, luego se modela su conexión con la Línea de transmisión de 500 kV en el SNI por medio de las clases *Terminal* y *ConnectivityNode*.

```

4656 <!-- -->
4657 <!--           _SHUNT_Line4-5_2 -->
4658 <!-- -->
4659 <!-- _SHUNT_Line4-5_2 -->
4660 <!--
4661 <!--
4662 <!--
4663 <!--
4664 <!--
4665 <!--
4666 <!--
4667 <!--
4668 <!--
4669 <!--
4670 <!--
4671 <!--
4672 <!--
4673 <!--
4674 <!--
4675 <!--
4676 <!--
4677 <!--
4678 <!--
4679 <!--

```

Figura 64. Estructura CIM/XML para modelar un Compensador de Derivación.

Fuente. Autor

Finalmente se modela aquellos dispositivos que permiten dar protección al componente en estudio, mismos que se representan por medio de las clases *Breaker* y *Disconnecter* cada una de ellas con sus correspondientes conexiones dentro del SNI.

6.3. Validación al modelo CIM/XML del SNI del Ecuador

En secciones anteriores se ha explicado el procedimiento a seguir para una vez que se ha obtenido el modelo CIM/XML del SNI del Ecuador se proceda a su validación de tal manera que promueva su confiabilidad y a la vez se permita consolidar su estructura lógica por medio de aplicaciones compatibles.

El cumplir con el proceso de validación permitió establecer la correcta estructura XML en la modelación del SNI, en la **Figura 65** se puede apreciar un listado en el que constan la cantidad de componentes que conforman el sistema en estudio, mismos que se muestran luego de ser procesados por el software y no presentar ningún error de sintaxis. Cabe recalcar que estos resultados son presentados únicamente si no existe ningún error, de lo contrario el software no mostrará ningún resultado, pero si especificará el o los errores que ha encontrado durante el análisis.

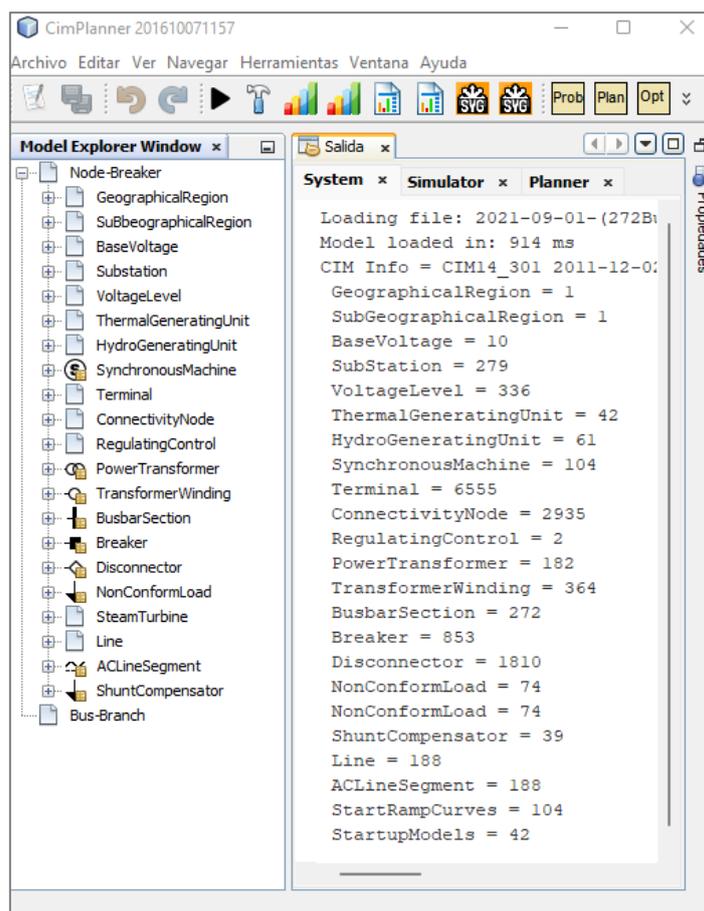


Figura 65. Validación al modelo CIM/XML del SNI del Ecuador en aplicativo CIMPlanner.

Fuente. Autor

Todos los resultados presentados por el software permitieron establecer una correspondencia con aquellos que se obtuvieron en el análisis del diagrama unifilar del SNI en el proceso de modelación. Entre algunos de los resultados que destacan tenemos: 10 niveles de tensión base nominal, 279 subestaciones, 42 Unidades de Generación Térmica, 61 Unidades de Generación Hidroeléctricas, 272 Barras, 188 Líneas de Transmisión en los distintos niveles de tensión, entre otras. Todos los demás componentes se presentan en la **Tabla 93**.

Tabla 93. Resultados de validación a estructura CIM/XML del SNI del Ecuador.

Componente	Resultado
Región geográfica	1
Región subgeográfica	1
Voltaje base	10
Subestación	279
Unidad de Generación Térmica	42
Unidad de Generación Hidráulica	61
Máquina síncrona	104
Terminales	6555
Nodo de Conectividad	2935

Componente	Resultado
Control de regulación	2
Transformador de Potencia	182
Devanado del transformador	364
Sección de barra colectora	272
Breaker	853
Seccionador	1810
Cargas	74
Compensador de derivación	39
Línea	188
Segmento de línea CA	188
Curvas de arranque	104
Modelos de arranque	42

Fuente. Autor

Debido a la extensa cantidad de componentes eléctricos que conforman el SNI, en el **Anexo 2** se presenta el archivo final de modelación CIM/XML.

6.4. Cumplimiento de Objetivos

En el presente trabajo de titulación aplicando la metodología propuesta se ha cumplido con todos los objetivos propuestos, obteniéndose como principal y único resultado el modelo CIM/XML del SNI del Ecuador, establecido en el tercer objetivo específico. Pero esto no quiere decir que no se presente resultados para los objetivos específicos 1 y 2, si no que más bien para darle una mejor estructura y facilitar la comprensión de los contenidos de esta investigación se los presenta en distintas secciones.

Con lo antes mencionado, en la **Figura 66** se presenta un flujograma en donde se detalla el procedimiento empleado para el cumplimiento de los objetivos específicos que ha manera de recordatorio se mencionan a continuación.

- Sistematizar los fundamentos teóricos del estándar IEC-61970 para su aplicación en la modelación común de la información de sistemas eléctricos de potencia.
- Presentar los fundamentos del lenguaje de marcas extensible (XML) para su utilización en el intercambio de la información de sistemas eléctricos de potencia utilizando el estándar IEC-61970.
- Desarrollar la modelación de un sistema eléctrico de potencia en el formato CIM/XML de acuerdo al estándar IEC-61970.

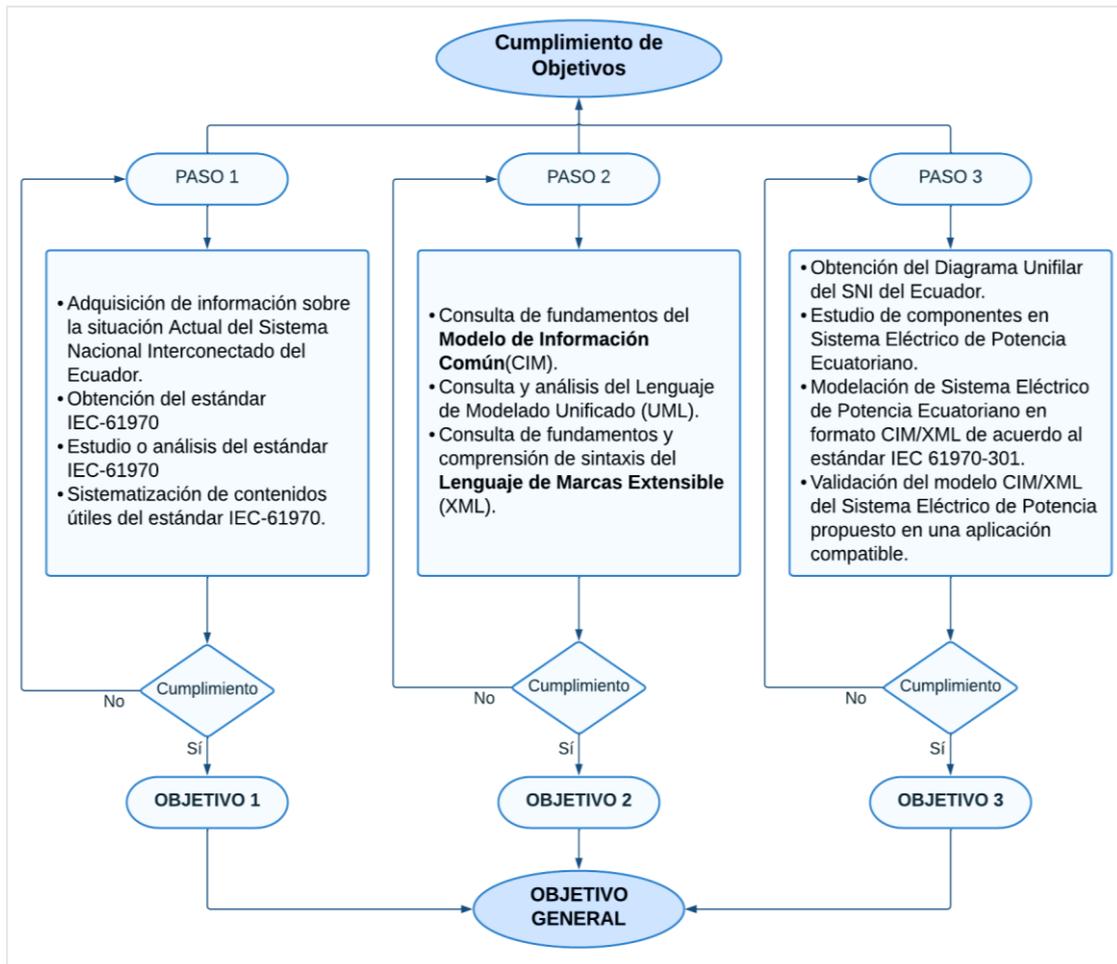


Figura 66. Flujograma de cumplimiento de objetivos.

Fuente. Autor

Importante mencionar que para poder dar cumplimiento al tercer objetivo específico de esta investigación es necesario dominar todos los conocimientos adquiridos en los objetivos específicos 1 y 2; y así también se cumple con el objetivo general, dando solución al problema de investigación.

CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

En el presente apartado se ha descrito la codificación del SNI del Ecuador según el estándar IEC – 61970 en el archivo CIM/XML, mostrando paso a paso, como se representa los diferentes elementos primarios de un SEP. Este archivo CIM/XML fue validado por el software *CIMPlanner* desarrollado por la UNL, el cual tiene la capacidad de importar esta base de datos. Adicional a ello se describe un flujograma en donde se expone el cumplimiento de los distintos objetivos de la presente investigación.

7. Discusión

El presente trabajo de titulación se focalizó en establecer los fundamentos técnicos, tecnológicos y metodológicos para la modelación común de la información de sistemas eléctricos de potencia utilizando el Estándar IEC – 61970, complementándolo con la aplicación de los conocimientos adquiridos por medio de la modelación de un Sistema Eléctrico de Potencia, el cual se consideró al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador con su diagrama unifilar Configuración abril-2020 para dicho proceso.

Varios autores han expuesto previamente documentación relacionada con la que en este trabajo de titulación se presenta, entre algunos de ellos; (Zambrano Asanza, 2011), (García & Machado, 2014), quienes analizan el CIM y varios requerimientos para la interoperabilidad de los Sistemas de Gestión de Energía, basados en estándares internacionales. Sin embargo, los resultados presentados no tienen la profundidad necesaria para poder modelar en formato CIM/XML un SEP, como ocurre en la presente investigación que además de ello se logró modelar en base al Estándar IEC – 61970 el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, siendo una importante contribución para el futuro del sector energético del País.

Como primer paso se recopiló toda la información necesaria para cumplir con los objetivos planteados en la investigación, partiendo del análisis de los contenidos del Estándar IEC – 61970 en su apartado 301: Base del Modelo de Información Común (CIM), edición No. 4 con fecha de publicación 2011-12-02 llevando por título: Interfaz del programa de aplicación del Sistema de Gestión de Energía (EMS-API). El CIM está dividido en un conjunto de paquetes permitiendo entre otros aspectos el agrupar elementos del modelo relacionados, estos paquetes son un total de 17 y se han establecido para que el modelo sea más fácil de diseñar, comprender y revisar, pero para el desarrollo del presente trabajo de titulación se trabajó únicamente con 7 de ellos; ya que específicamente estos son quienes contienen todas las clases necesarias para poder modelar en formato CIM/XML un SEP.

Adquirir y dominar toda la información relacionada con el metalenguaje XML a pesar de no ser un proceso sencillo fue primordial para cumplir con el objetivo de modelar el SNI del Ecuador, ya que al ser XML en la actualidad la base de la interoperabilidad para gran mayoría de sistemas de información en empresas, su estructura tiene por objetivo ser entendible de manera fácil tanto por personas como por máquinas.

Durante la estructuración del código XML en formato CIM, se trabajó de manera ordenada modelando por secciones todo el SNI, comenzando por el nivel de tensión de 500 kV en donde

se identificaron un total de 5 barras, luego en el nivel de tensión de 230 kV un total de 29 barras, en el nivel de tensión de 180 kV un total de 78 barras y finalmente en la sección con los niveles de tensión de 69 kV, 46 kV, 23 kV y 13.8 kV un total de 160 barras, obteniéndose como resultado final un total de 272 barras, valor que luego se corroboraría con los obtenidos en la validación del modelo CIM/XML al SNI.

Para la validación del archivo CIM/XML del SNI del Ecuador se utilizó el software CimPlanner_v27-05-2019 (Aleaga, *et al.*), el cual se ejecuta a través del software NetBeans IDE v8.2, mismo que permitió identificar la correcta sintaxis y estructura de acuerdo al estándar IEC 61970-301; ya que el núcleo de este software se basa justamente en dicho estándar.

Al modelar la información referente a magnitudes eléctricas en componentes del SNI se debe mencionar que se incluyó todas aquellas especificadas dentro del diagrama unifilar que fue objeto de estudio. Sin embargo, en base a los contenidos del Estándar IEC 61970-301 se ha tenido la necesidad de considerar otros datos técnicos, a los cuales su acceso no ha sido favorable dentro del “Operador Nacional de Electricidad CENACE”, por lo que se han tomado algunos datos desde un archivo CIM/XML del sistema **IEEE – 39 New England Test System**, el cual ha sido modelado en formato CIM/XML por el Ing. Leonel Francisco Aleaga Loaiza.

El desarrollo de la investigación está enfocado en impulsar a distintas empresas, primordialmente aquellas que tienen el control de Sistemas de Gestión de Energía a adoptar nuevas tecnologías en el manejo y comunicación de su información, de manera que se promueva la interoperabilidad de dichos datos entre aplicaciones.

8. Conclusiones

El presente trabajo de titulación se enfoca en el Estudio del Estándar IEC – 61970 para su aplicación en la Modelación Común de la Información de Sistemas Eléctricos de Potencia, estándar muy usado en la industria eléctrica moderna.

En el primer capítulo se logró recopilar y sistematizar la información relevante de las propiedades físicas y topológicas del SEP ecuatoriano, información actualizada que se obtuvo a partir de consultas en las plataformas del CENACE, esta información recolectada permitió la codificación CIM/XML del SNI bajo el estándar IEC – 61970.

En el segundo capítulo se ha analizado los aspectos más relevantes del estándar IEC – 61970, tales como; orígenes, organización, contenidos del mismo y su utilidad en la industria eléctrica como una base de datos compatible entre fabricantes de software y empresas, que pueda ser fácilmente intercambiada sin mayores complicaciones.

En el tercer capítulo se ha logrado sistematizar todos los fundamentos del Modelo de Información Común (CIM), destacando el uso del Lenguaje de Modelado Unificado (UML), que permite entender la forma de representar un sistema eléctrico de potencia bajo el enfoque de la programación orientada a objetos (POO) y de acuerdo a lo especificado en el estándar IEC – 61970. Asimismo, se presenta los fundamentos del Lenguaje de Marcas Extensible (XML), lenguaje único aceptado para guardar la información de un sistema eléctrico de potencia denominado CIM/XML. Este formato de archivo es aquel utilizado por las empresas y fabricantes de software como base de datos inicial para proceder a realizar los distintos análisis.

Se uso como metodología principal al estándar IEC – 61970, en donde se expone de manera detallada el Lenguaje de Modelado Unificado (UML) es decir, los distintos paquetes, clases, atributos de las clases y sus asociaciones, jerarquía, entre otros; según el estándar IEC – 61970, bajo el enfoque de la programación orientada a objetos. Esto corresponde a la ontología que se usará para modelar un SEP cualquiera.

Se logro entender los fundamentos del “Lenguaje de Marcas Extensible” XML y su codificación con el software “*Altova XMLSpy*” de acuerdo al estándar IEC – 61970. Aquí se ha usado el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador como ejemplo de aplicación de dicho estándar, el cual ha sido codificado en un archivo CIM/XML, sobre el cual, a fin de garantizar su utilidad en la comunidad, se ha usado el software *CIMPlanner* desarrollado por la UNL para su validación, este software tiene capacidades de importar archivos que cumplan con el estándar IEC – 61970.

Como resultado de la aplicación del presente trabajo de titulación, se logró establecer una base de datos de un sistema eléctrico de potencia real en base al Estándar IEC 61970, la cual corresponde al *Sistema Nacional Interconectado del Ecuador* en su diagrama unifilar con configuración de abril 2020, obteniéndose como resultado un circuito con 272 nodos entre los distintos niveles de tensión existentes.

9. Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda trabajar con la versión más reciente del Estándar IEC - 61970; para de esa manera tener actualizada la ontología que ha sido consensuada en los distintos comités de la IEC.

Para modelar Sistemas Eléctricos de Potencia ya sea de pequeña o gran magnitud como el considerado en este trabajo de titulación, se recomienda al momento de redactar el código XML hacerlo con la ayuda de software especializado para facilitar la identificación de errores de sintaxis en el modelo.

Se recomienda utilizar el modelo CIM/XML del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador de la presente investigación, en futuras investigaciones como base de datos de inicio en el análisis de la operación y planificación de este sistema, a fin de mejorar la confiabilidad del mismo.

Para poder modelar un SEP según el estándar IEC – 61970, se recomienda tener conocimientos previos de lenguajes de modelación unificado (UML), fundamentos básicos de programación orientada a objetos (POO) y lenguaje de marcas extensible (XML).

Incentivar tanto a estudiantes, profesionales y empresas a adoptar el uso de nuevas tecnologías como la expuesta en este trabajo de titulación, de manera que permitan agilizar el intercambio fluido de información existente en Sistemas Eléctricos de Potencia.

10. Bibliografía

- A. McMorran. (2007). An Introduction to IEC 61970-301 & 61968-11: The Common Information Model. *Power*, 1(January), 1–42. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:An+Introduction+to+IEC+61970-301+&+61968-11+:+The+Common+Information+Model#0>
- A. McMorran. (2013). *IntelliGrid Common Information Model Primer* (Vol. 2). <https://doi.org/3002001040>
- Adenda. (2013). Analisis de Sistemas Electricos. *Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2013*.
- Aranzana Gonzáles, R. (2012). *Creación de filtros para documentos XML en la plataforma SDL Trados Studio 2009*.
- CELEC EP. (2010). *Glosario de Términos Sistema Eléctrico Ecuatoriano*.
- Chiluisa Velasco, K. F., & Martínez Mena, L. R. (2011). *Estudio de los sistemas para la administración de la distribución DMS y de los requerimientos para su implementación*.
- CONELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022* (No. 2).
- CONELEC. (2018). *Plan Maestro de Electrificación 2018 - 2027*.
- Cuevas Bravo, D. (2011). *Calidad de la Energía en los Sistemas Eléctricos de Potencia*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, O. A., & Machado, E. R. (2014). *Desarrollo de una herramienta de software para asistir la restauración de Sistemas Eléctricos de*. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- Gómez Dueñas, L. F. (2011). XML, la base de la interoperabilidad en los sistemas de información documental. *Códices*, 3(2), 105–127.
- Grainger, J. J., & Stevenson Jr., W. D. (1996). *Análisis de Sistemas der Potencia*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MEXICO, S.A.
- IEC 61970-301 Ed.4: EMS-API – Part 301: Common Information Model (CIM) Base, 311 (2011).
- McMorran, A. (2013). IntelliGrid Common Information Model Primer. *EPRI - Electric Power Research Institute*, 2, 184. <https://doi.org/3002001040>

- Montes de Oca, R. A. (2014). *Introducción a Sistemas Eléctricos de Potencia*. Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez.
- Nolivos, E. I. (2015). *Control del perfil de voltaje a través de la determinación óptima de taps aplicada en MATLAB*. [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Operador Nacional de Electricidad - CENACE. (2020). *Diagrama Unifilar de Sistema Nacional Interconectado Ecuatoriano Config. ABRIL 2020*. Unifilar-SNI-Abril-2020. <http://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/unifilar-sni-diciembre-2018-v28jun2018.pdf>
- Oseguera Zuñiga, H. L., Cañizares Baquerizo, Á. A., & Pardo Carrasco, W. G. (2015). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para las diferentes Líneas de Transmisión*.
- Pañora Reyna, R. D., & Pérez Moreno, L. F. (2019). *Análisis de Flujo de Corriente Alterna Aplicados a un Sistema Eléctrico de Potencia*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- Reza, A. E., Manuel, T., Torres, C., Lenina, M., & Espíndola, T. (2013). *Interoperabilidad para la Red Eléctrica Inteligente: Modelo CIM y su Proceso de Adopción*. 2, 18–25.
- Robles, A. C. (2010). *Modelo de Gestión Comercial de Energía Eléctrica en el Ecuador*. Universidad De Cuenca.
- Yaoyu Wang, M. S. (2003). Communication And Control In Electric Power. In John Wiley & Sons (Ed.), *Applications of Parallel and Distributed Processing*. 2003/07/01.
- Zambrano Asanza, S. P. (2011). *Análisis del Modelo Común de Datos Eléctrico para la Integración de Sistemas del Manejo de la Distribución mediante Estándares Internacionales*. Universidad De Cuenca.
- Zhao, Y. (2016). Validation and conformity test of CGMES models of ENTSO-E test networks. *KTH Royal Institute of Technology*, 51.

11. Anexos

Anexo 1. Centrales de generación existentes ordenadas de mayor a menor potencia efectiva.

Empresa	Central	Provincia	Cantón	Sistema	Tipo de Central	Subtipo de Central	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
CELEC-Coca Codo Sinclair	Coca Codo Sinclair	Napo	El Chaco	S.N.I.	Hidráulica	Pasada	1.500,00	1.476,00
CELEC-Hidropaute	Paute	Azuay	Sevilla de Oro	S.N.I.	Hidráulica	Embalse	1.075,00	1.100,00
CELEC-Hidropaute	Sopladora	Azuay	Sevilla de Oro	S.N.I.	Hidráulica	Pasada	487,00	486,90
CELEC-Enerjubones	Minas San Francisco	Azuay	Pucara	S.N.I.	Hidráulica	Pasada	275,00	274,50
CELEC-Hidronación	Marcel Laniado	Guayas	El Empalme	S.N.I.	Hidráulica	Embalse	213,00	213,00
CELEC-Hidroagoyán	San Francisco	Tungurahua	Baños de Agua Santa	S.N.I.	Hidráulica	Pasada	230,00	212,00
CELEC-Genzur	Delstaniisagua	Zamora Chichipe	Zamora	S.N.I.	Hidráulica	Pasada	180,00	180,00
CELEC-Hidropaute	Mazar	Azuay	Sevilla de Oro	S.N.I.	Hidráulica	Embalse	170,00	170,00
CELEC-Hidroagoyán	Agoyán	Tungurahua	Baños de Agua Santa	S.N.I.	Hidráulica	Embalse	160,00	156,00
CELEC-Electroguayas	Gonzalo Zevallos (Vapor)	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	Turbovapor	146,00	140,00
CELEC-Electroguayas	Tritaria	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	Turbovapor	133,00	133,00
CELEC-Termogas Machala	Termogas Machala I	El Oro	El Guabo	S.N.I.	Térmica	Turbogás	138,56	130,60
CELEC-Termomanabi	Jaramijó	Manabi	Jaramijó	S.N.I.	Térmica	MCI	140,00	128,88
CELEC-Termoesmeraldas	Esmeraldas I	Esmeraldas	Esmeraldas	S.N.I.	Térmica	Turbovapor	132,50	125,00
Termogayas Generation S.A.	Termogayas	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	MCI	150,00	120,00
CELEC-Termogas Machala	Termogas Machala II	El Oro	El Guabo	S.N.I.	Térmica	Turbogás	136,80	119,00
Intervisa Trade	Victoria II	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	Turbogás	115,00	102,00
CNEL-Guayaquil	Anibal Santos (Gas)	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	Turbogás	113,27	97,00
CELEC-Electroguayas	Enrique García	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	Turbogás	102,00	96,00
Petroamazonas	EPF-Eden Yuturi	Orellana	Orellana	No incorporado	Térmica	MCI	119,62	85,51
CELEC-Termoesmeraldas	Esmeraldas II	Esmeraldas	Esmeraldas	S.N.I.	Térmica	MCI	100,20	84,00
CELEC-Termopichincha	Quevedo II	Los Rios	Quevedo	S.N.I.	Térmica	MCI	95,20	81,00
San Carlos	San Carlos	Guayas	Coronel Marcelino Maridueña	S.N.I.	Biomasa	Turbovapor	78,00	73,60
CELEC-Hidroagoyán	Pucará	Tungurahua	Pillaro	S.N.I.	Hidráulica	Embalse	73,00	73,00
Andes Petro	TPP	Sucumbios	Cuyabeno	No incorporado	Térmica	MCI	75,83	65,40
CELEC-Electroguayas	Santa Elena II	Santa Elena	Santa Elena	S.N.I.	Térmica	MCI	90,10	65,03
CELEC-Coca Codo Sinclair	Manduracu	Imbabura	Cotacachi	S.N.I.	Hidráulica	Pasada	63,36	65,00
CNEL-Guayaquil	Álvaro Tinajero	Guayas	Guayaquil	S.N.I.	Térmica	Turbogás	94,80	64,00

Fuente. (CONELEC, 2018)

Anexo 2. Modelación en formato CIM/XML de Sistema Nacional Interconectado - Configuración
Abril 2020.

Anexo 3. Códigos CIM/XML para componentes en Sistema Eléctrico de Potencia.

Anexo 4. Diagrama unifilar de Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador – Configuración
abril de 2020.

Archivos digitales en CD N°1.

Anexo 6. Estructura CIM/XML para un Transformador de tipo EÓLICO.

```

101601 <!-- Seccion Transformer271-272 -->
101602 <!-- GenUnit104 (CENTRAL VILLONACO) -->
101603 <!-- WindGeneratingUnit rdf:ID=" GenUnit104" -->
101604 <!-- GeneratingUnit.genControlSource rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#GeneratorControlSource.onAGC"/>
101605 <!-- GeneratingUnit.initialP>11</GeneratingUnit.initialP>
101606 <!-- GeneratingUnit.nominalP>0</GeneratingUnit.nominalP>
101607 <!-- GeneratingUnit.normalPF>0.85</GeneratingUnit.normalPF>
101608 <!-- GeneratingUnit.maxOperatingP>16.5</GeneratingUnit.maxOperatingP>
101609 <!-- minimumOffTime value in seconds-->
101610 <!-- GeneratingUnit.minimumOffTime>2100</GeneratingUnit.minimumOffTime>
101611 <!-- minOperatingP 30% maxOperatingP-->
101612 <!-- GeneratingUnit.minOperatingP>195</GeneratingUnit.minOperatingP>
101613 <!-- raiseRampRate in MW/min-->
101614 <!-- GeneratingUnit.raiseRampRate>4.066666666666667</GeneratingUnit.raiseRampRate>
101615 <!-- startupTime value in seconds -->
101616 <!-- GeneratingUnit.startupTime>4500</GeneratingUnit.startupTime>
101617 <!-- IdentifiedObject.name>GenUnit104</IdentifiedObject.name>
101618 <!-- IdentifiedObject.localName>GenUnit104</IdentifiedObject.localName>
101619 <!-- Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="# SUBSTATION_VILLONACO"/>
101620 <!-- Equipment.normallyInService>true</Equipment.normallyInService>
101621 </WindGeneratingUnit>
101622 <!-- StartRampCurve rdf:ID=" St_Rmp_Curve_GenUnit104" -->
101623 <!-- hotStandbyRamp=GeneratingUnit_minOperatingP / GeneratingUnit_startupTime [W/s]-->
101624 <!-- StartRampCurve.hotStandbyRamp>43333.333</StartRampCurve.hotStandbyRamp>
101625 </StartRampCurve>
101626 <!-- HydroTurbine rdf:ID=" HT_GenUnit104" -->
101627 <!-- IdentifiedObject.name>HT_GenUnit104</IdentifiedObject.name>
101628 <!-- IdentifiedObject.localName>HT_GenUnit104</IdentifiedObject.localName>
101629 <!-- PrimeMover.SynchronousMachines rdf:resource="# ShynchMachine_GenUnit104"/>
101630 </HydroTurbine>
101631 <!-- SynchronousMachine rdf:ID=" ShynchMachine_GenUnit104" -->
101632 <!-- SynchronousMachine.maxQ>800</SynchronousMachine.maxQ>
101633 <!-- SynchronousMachine.minQ>-500</SynchronousMachine.minQ>
101634 <!-- ratedS no assigned -->
101635 <!-- SynchronousMachine.ratedS>0</SynchronousMachine.ratedS>
101636 <!-- Equipment.normallyInService>true</Equipment.normallyInService>
101637 <!-- SynchronousMachine.operatingMode rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#SynchronousMachineOperatingMode.generator"/>
101638 <!-- SynchronousMachine.type rdf:resource="http://iec.ch/TC57/2008/CIM-schema-cim14#SynchronousMachineType.generator"/>
101639 <!-- SynchronousMachine.referencePriority>0</SynchronousMachine.referencePriority>
101640 <!-- IdentifiedObject.name>Synch_GenUnit104</IdentifiedObject.name>
101641 <!-- IdentifiedObject.localName>Synch_GenUnit104</IdentifiedObject.localName>
101642 <!-- SynchronousMachine.MemberOf_GeneratingUnit rdf:resource="# GenUnit103"/>
101643 <!-- RegulatingCondEq.RegulatingControl rdf:resource="# RegulatingControl_voltaje_1"/>
101644 <!-- Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="# SUBSTATION_VILLONACO_VLevel_34.5KV_LV"/>
101645 <!-- ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="# BaseVoltage_34.5KV"/>
101646 </SynchronousMachine>
101647 <!-- Terminal rdf:ID=" T1_ShynchMachine_GenUnit104" -->
101648 <!-- IdentifiedObject.name>GenUnit104_T1</IdentifiedObject.name>
101649 <!-- IdentifiedObject.localName>GenUnit104_T1</IdentifiedObject.localName>
101650 <!-- Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="# ShynchMachine_GenUnit104"/>
101651 <!-- Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="# ShynchMachine_GenUnit104_CN1"/>
101652 </Terminal>
101653 <!-- ConnectivityNode rdf:ID=" ShynchMachine_GenUnit104_CN1" -->
101654 <!-- IdentifiedObject.name>GenUnit104_CN1</IdentifiedObject.name>
101655 <!-- IdentifiedObject.localName>GenUnit104_CN1</IdentifiedObject.localName>
101656 <!-- ConnectivityNode.ConnectivityNodeContainer rdf:resource="# SUBSTATION_VILLONACO_VLevel_34.5KV_LV"/>
101657 </ConnectivityNode>
101658 <!-- ShynchMachine_GenUnit104 Disconnector -->
101659 <!-- Disconnector rdf:ID=" S1_ShynchMachine_GenUnit104" -->
101660 <!-- Switch.normalOpen>false</Switch.normalOpen>
101661 <!-- IdentifiedObject.name>S0</IdentifiedObject.name>
101662 <!-- IdentifiedObject.localName>S0</IdentifiedObject.localName>
101663 <!-- Equipment.MemberOf_EquipmentContainer rdf:resource="# SUBSTATION_VILLONACO_VLevel_34.5KV_LV"/>
101664 <!-- ConductingEquipment.BaseVoltage rdf:resource="# BaseVoltage_34.5KV"/>
101665 </Disconnector>
101666 <!-- Terminal rdf:ID=" T1_S1_ShynchMachine_GenUnit104" -->
101667 <!-- IdentifiedObject.name>S2_T1</IdentifiedObject.name>
101668 <!-- IdentifiedObject.localName>S2_T1</IdentifiedObject.localName>
101669 <!-- Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="# S1_ShynchMachine_GenUnit104"/>
101670 <!-- Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="# ShynchMachine_GenUnit104_CN1"/>
101671 </Terminal>
101672 <!-- Terminal rdf:ID=" T2_S1_ShynchMachine_GenUnit104" -->
101673 <!-- IdentifiedObject.name>S1_T2</IdentifiedObject.name>
101674 <!-- IdentifiedObject.localName>S1_T2</IdentifiedObject.localName>
101675 <!-- Terminal.ConductingEquipment rdf:resource="# S1_ShynchMachine_GenUnit104"/>
101676 <!-- Terminal.ConnectivityNode rdf:resource="# BUS272_CN1"/>
101677 </Terminal>

```

Fuente. Autor

Anexo 7. Certificación de traducción del Abstract.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN DE RESUMEN

Ing. Pio Oswaldo Palacios Jiménez con certificación C2 en el idioma inglés.

CERTIFICA:

Que la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de titulación denominado **“Estudio del Estándar IEC – 61970 para para su aplicación en la Modelación Común de la Información de Sistemas Eléctricos De Potencia”**, correspondiente al señor egresado: Jorge Luis Lalangui Sánchez, con cedula de identidad 1150105326, ha sido revisado y supervisado según se me ha solicitado, por lo cual cumple con la correcta traducción al idioma inglés.

Esto es lo que puedo mencionar y certificar en honor a la verdad para fines pertinentes.

Loja, 13 de julio de 2022



Firmado electrónicamente por:

**PIO OSWALDO
PALACIOS
JIMENEZ**

Ing. Pio Oswaldo Palacios Jiménez