



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GPC/17
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA - GPC

MODELO DE NODOS LÓGICOS, DATOS Y ATRIBUTOS DEL SISTEMA DE EXCITACIÓN DE UNA UNIDAD GENERADORA TÍPICA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITAIPU, BASADO EN LA SEGUNDA EDICIÓN LA NORMA IEC 61850

**Antonio Ruben Resquin Castellano (*)
FUNDACIÓN PARQUE TECNOLÓGICO
NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN**

**Mario Enrique López
FUNDACIÓN PARQUE TECNOLÓGICO
ITAIPU PARAGUAY**

**Rodrigo Andrés Ramos Galeano
ITAIPU BINACIONAL**

RESUMEN

La Norma IEC 61850 representa el estado del arte de la comunicación en sistemas eléctricos, está basada en una arquitectura abierta y es implementada con éxito en la estandarización de Centrales Hidroeléctricas.

Este trabajo presenta un modelo detallado de nodos lógicos, datos y atributos del sistema de excitación de una unidad generadora típica de la hidroeléctrica Itaipu, basado en los apartados IEC 61850-7-3, IEC 61850-7-4 e IEC 61850-7-410; permite la descripción de la automatización del sistema de excitación y tiene como objetivo servir de experiencia para implementaciones de la Norma IEC 61850 en centrales hidroeléctricas de la región.

PALABRAS-CLAVE

IEC 61850, Hidroeléctrica, Modelo, Automatización, Sistema de Excitación, Unidad Generadora

1.0 - INTRODUCCIÓN

El desarrollo actual de la sociedad humana nos ofrece un grado muy alto de dependencia tecnológica, para lo cual el abastecimiento de energía eléctrica confiable y de calidad es fundamental. Surge así la necesidad de garantizar la correcta operación de los puntos más importantes de los sistemas de potencia, que son las subestaciones y las centrales de generación.

Estas instalaciones poseen dispositivos de gran complejidad, tales como transformadores, generadores, reguladores de tensión, reguladores de velocidad, equipos de electrónica de potencia, entre otros, que deben ser protegidos y correctamente operados. Esta tarea recae en los sistemas de Protección, Supervisión y Control de estas instalaciones, que pueden también referirse, más sucintamente, como Sistemas de Automatización. Estos sistemas están constituidos principalmente por dispositivos de protección, supervisión y control inteligentes, denominados por sus siglas en inglés IED (*Intelligent Electronic Device*). Estos equipos interpretan los eventos y los comandos emitidos dentro del sistema, se comunican entre sí y con los equipos de maniobra y de mediciones (interruptores, seccionadores, transformadores de corriente, transformadores de potencial) por medio de un sistema determinado de comunicación.

Tradicionalmente, estos canales de comunicación están constituidos por cables de cobre, que transmiten tanto señales analógicas como discretas. En los últimos años se ha venido imponiendo el uso de redes de comunicación

(*) Central Hidroeléctrica Itaipu, Hernandarias, AP, – Paraguay
Tel: (+595 61) 599-7335 – Email: antonio.resquin@pti.org.py

digitales en los sistemas de automatización para comunicación entre IEDs. Estas redes pueden ser de diversos tipos, con protocolos propietarios de los fabricantes de IEDs o protocolos abiertos.

Debido a la existencia de numerosos fabricantes de IEDs en el mercado, y por la naturaleza de la ampliación de los sistemas de potencia, donde no siempre es posible uniformizar los fabricantes para todo el sistema, la interoperabilidad entre IEDs, es decir, la capacidad de intercambiar información es una característica difícilmente alcanzada, hasta el advenimiento de la norma IEC 61850.

Esta norma está basada en una arquitectura abierta ejecutándose sobre una red Ethernet. La misma viene siendo implementada con éxito, en los últimos años, en nuevas subestaciones de potencia, así mismo como en la actualización tecnológica y la ampliación de subestaciones existentes. Sin embargo, no existen muchas experiencias ni informaciones en la aplicación de esta norma en centrales de gran porte, como por ejemplo, la central hidroeléctrica Itaipu. La Norma IEC 61850 define a los Nodos Lógicos como la representación abstracta de una función utilizada para la automatización de una subestación.

De este modo, el presente trabajo busca contribuir como una nueva experiencia en la aplicación de este estándar en una central hidroeléctrica para la automatización del sistema de excitación.

2.0 - SISTEMA DE EXCITACIÓN DE UNA UNIDAD GENERADORA TÍPICA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ITAIPU

El sistema de excitación estática para todas las unidades de Itaipu es el "Unitrol DCN" suministrado por la Brown Boveri. La cabina de excitación estática (EC) con los puentes rectificadores tiristorizados y su control, el regulador de voltaje electrónico, los limitadores, el transformador para excitación positiva (TEP) y el transformador negativo (TEN) con sus respectivos equipos de maniobra están instalados en la elevación 98,50 m sobre el generador.

De acuerdo a los estudios realizados inicialmente, como se puede observar en el Libro Técnico de Itaipu (Itaipu Binacional, 2005a) en el sistema de 60 Hz existía la necesidad de contar con corriente de excitación negativa para aumentar la capacidad de carga de líneas de transmisión extensas descargadas y limitar la elevación de la tensión en el caso de rechazo de carga en el extremo lejano de las líneas de 60 Hz o en la estación de conversión de HVDC, ubicada en Foz do Iguaçu por el desequilibrio reactivo causado por los filtros de las armónicas. Posteriormente fue decidido deshabilitar la excitación negativa, ver el reporte técnico Itaipu Binacional 2004, y las nuevas unidades 09A y 18A han sido proporcionadas siempre con excitación positiva (Silva, 2010). Con todo lo mencionado, no existe la necesidad de considerar la TEN en diagramas y en el modelado del sistema.



FIGURA 1 Cubículo de Excitación (Itaipu Binacional, 2005a).

En la Figura 2 se muestra el diagrama funcional del sistema de excitación, donde para el inicio de la excitación se toma una alimentación desde el sistema de 460 Vca de la casa de máquinas a través de un banco de rectificadores. El cambio a la excitación normal se realiza cuando la tensión del generador alcanza el 70%. En las situaciones de emergencia en que el sistema de 460 Vca no se encuentra disponible, el inicio de la excitación de campo también puede ser efectuado desde el sistema de 125 Vcc corriente continua de la casa de máquinas. (Itaipu Binacional, 2005a).

1. Asignar un Dispositivo Lógico (DL) por Dispositivo Físico, donde se discriminan los DL por las funciones que realizan (protección, control, medición, supervisión, etc.).
2. Como el sistema posee 2(dos) interruptores Q2 y Q4, serán asignados 2 (dos) IEDs para los servicios de maniobra, 1 (uno) por interruptor.
3. Asignar 1 (un) IED para protección y control primaria del Sistema de Excitación del generador y otro IED para protección y control alternada.

4. Asignar 1 (un) IED para protección primaria del Transformador de Excitación (T1) y otro IED para la protección alternada.
5. Asignar 1 (un) IED para equipamientos primarios (motor, rectificador, etc.)
6. Asignar 1 (un) IED para monitoreamiento y supervisión del Sistema de Excitación.
7. Asignar 1 (un) IED para instrumentación y medición.

La asignación de los IEDs queda de la siguiente manera:

- Q2X: IED del interruptor Q2.
- Q4X: IED del interruptor Q4.
- PCPG: IED de protección y control primario del Sistema de Excitación.
- PCAG: IED de protección y control alternado del Sistema de Excitación.
- T1PP: IED de protección primaria del Transformador de Excitación (T1).
- T1PA: IED de protección alternada del Transformador de Excitación (T1).
- EQP: IED de equipamientos primarios del Sistema de Excitación del Generador.
- MSV: IED de monitoreamiento y supervisión del Sistema de Excitación de la unidad generadora.
- AVP: IED de instrumentación y medición.

Cabe destacar que se toman estos IEDs hipotéticos para la organización de los nodos lógicos.

1.1 Identificación de las instancias de los nodos lógicos

Una clase de nodo lógico puede ser utilizado en diversas instancias y de acuerdo con el apartado IEC 61850-7-2 ítem 19.2, los nombres de las instancias están formados por un prefijo + clase de NL + sufijo.

Para la formación de los nombres de las instancias será adoptado los siguientes criterios, considerando lo mencionado anteriormente:

- a. Prefijo hasta tres (3) caracteres alfanuméricos separados de la clase de NL por un guión bajo (under line). (m = 4)
- b. El nombre de la clase con cuatro (4) caracteres conforme a las partes 5, 7-4 y 7-410 de la norma IEC 61850.
- c. Sufijo hasta dos (2) caracteres numéricos para identificar la instancia de la clase dentro del dispositivo lógico. (n = 2)

En el ítem 19.2, apartado IEC 61850-7-2 menciona que la sumatoria entre el número de caracteres de los Prefijos “m” y el número de caracteres de los Sufijos “n” debe ser menor o igual a 7 (siete).

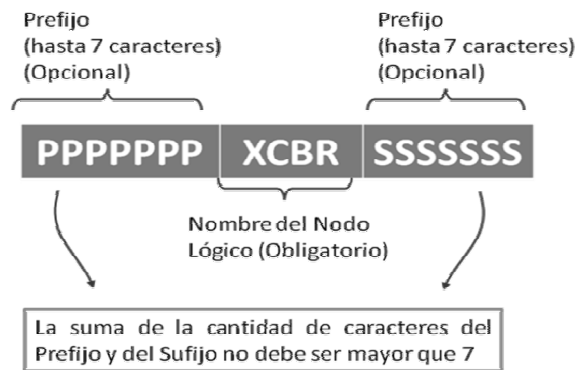


FIGURA 3 Identificación de las instancias de los nodos lógicos.

3.2 Nodos Lógicos del Sistema de Excitación

Se realizó un análisis de la automatización del sistema de excitación de una unidad generadora típica de la Itaipu Binacional. A partir de las funciones visualizadas en la FIGURA 2 y la posterior asociación de conceptos de la IEC 61850-7-4 y IEC 61850-7-410, se obtiene la Tabla 1 de representación de las informaciones necesarias para la automatización del sistema de excitación a través de los Nodos Lógicos.

Tabla 1 Instanciamiento de los Nodos Lógicos del sistema de excitación acorde a la IEC 61850

NRO.	DESCRIPCIÓN	INSTANCIACIÓN DE NODOS LÓGICOS (LN)
1	Seccionadora del Transformador de Excitación (S1)	EQP/S1XSWI1
2	Control de la Seccionadora (S1)	EQP/S1CSWI1
3	Transformador de Excitación (T1)	T1PP/T1YPTR1
4	Protección de sobrecarga del Transformador de Excitación(T1)	T1PP/T1PTTR1
5	Medición de corriente para Protección de sobrecarga del Transformador (T1)	T1PP/T1TCTR1
6	Transformador de Voltaje	PCPG/TVTVTR1

	Transformador de Corriente	PCPG/TCTCTR1
8	Protección de Sobre-excitación	PCPG/GPIOC1
9	Protección de Sub-excitación	PCPG/GPDUP1
10	Medición para valores alternos	APG/M1MMXU1
11	Medición para valores continuos	APG/R6MMDC1
12	Relé de bloqueo de pulsos	EQP/RPXSUI2
13	Control de Relé de bloqueo de pulsos	EQP/RPCSUI2
14	Función de bloqueo de pulsos	EQP/RPFXUT1
15	Protección de sub-tensión para función de bloqueo de pulsos	EQP/RPPTUV1
16	Transformador de Voltaje para función de bloqueo de pulsos	EQP/RPTCTV1
17	Relé de tensión para desactivación de la excitación inicial	EQP/RTXSUI3
18	Control de relé de tensión para desactivación de la excitación inicial	EQP/RTCSUI3
19	Protección de sobre-tensión para relé de tensión para desactivación de la excitación inicial	EQP/RTPTOV1
20	Transformador de Voltaje para relé de tensión	EQP/RTTCTV2
21	Convertor de Frecuencia con tiristores controlados	EQP/TRZSCR1
22	Protección del tiristor del Convertor de Frecuencia con tiristores controlados	EQP/TRPTHF1
23	Disyuntor de Campo (Q2)	QX2/Q2XCBI1
24	Control de Disyuntor (Q2)	QX2/Q2CSUI1
25	Disyuntor de Campo (Q4)	QX4/Q4XCBI1
26	Control de Disyuntor (Q4)	QX4/Q4CSUI1
27	Enclavamiento entre los Disyuntores (Q4) y (Q2)	QX2/Q2CLO1
28	Regulador Proporcional Integral Derivativo (PID)	PCPG/COFPID1
29	Limitador Volt/Herz	PCPG/VHFLIM1
30	Protección Volt/Herz	PCPG/VHPVPH1

31	Limitador de corriente del rotor	PCPG/RFLIM2
32	Protección de sobrecorriente del rotor	PCPG/RPTOC1
33	Transformador de corriente para protección del rotor	PCPG/RTCTR2
34	Limitador de corriente reactiva	PCPG/CRFLIM3
35	Protección de subpotencia direccional	PCPG/SDPDUP2
36	Limitador de corriente máxima de excitación	PCPG/CEFLIM4
37	Protección de sobrecorriente de excitación	PCPG/CEPTOC2
38	Transformador de corriente para protección de excitación	PCPG/CETCTR3
39	Limitador de ángulo del rotor	PCPG/RFLIM5
40	Protección ángulo de fase	PCPG/RPPAM1
41	Función de Control de Ajuste	PCPG/COFSPT1
42	Función de para modificación set point	PCPG/COFRMP1
43	Generador	PCPG/GZSMC1
44	Protección de Sobre-corriente en el Rotor (Corriente Continua)	PCPG/RPDCO1
45	Protección de Falla a Tierra del Rotor del Generador	PCPG/RPREF1
46	Protección de Falla a Tierra del Estator del Generador	PCPG/EPSEF1
47	Transformador de corriente para Protección de Falla a Tierra	PCPG/EFTCTR4
48	Sensor de temperatura del rotor del generador	MSV/GTTMP1
49	Supervisión de temperatura del rotor del generador	MSV/GSTMP1
50	Sensor de temperatura de los tiristores	MSV/TRTTMP2
51	Supervisión de temperatura de los tiristores	MSV/TRSTMP2
52	Ventilador para refrigeración de los tiristores	MSV/TRKFAN1
53	Alarmas	MSV/ALCALH1
54	Priorización de funciones	PCPG/COFXPS1
55	Freno eléctrico	PCPG/GHEBR1
56	Función de control conjunto de la central eléctrica	PCPG/COHJCL1
57	Turbina	PCPG/GHTUR1
58	Unidad de producción de energía hidroeléctrica	PCPG/GHUNT1
59	Detección de incendios y función de alarma.	PCPG/ALIFIR1
60	Protección del Rotor	PCPG/RPRTTR1
61	Configuración del interruptor de campo	EQP/QXRFB1
62	Supervisión del flujo medio	MSV/FLSFLW1

3.3 Datos y atributos del Sistema de Excitación

Para la representación de las informaciones de la automatización del Sistema de Excitación a nivel de datos y atributos se tomaron los datos obligatorios (*Mandatory*) de los Nodos Lógicos de la TABLA 2 correspondientes a los grupos X (*Switchgear*), C (*Supervisory control*), T (*Instrument transformer*), I (*Interface and archiving*) y K (*Mechanical and non-electrical primary equipment*) y los atributos obligatorios (*Mandatory*) de sus respectivas clases de datos comunes; las clases de datos comunes son estructuras para tipos de datos que comparten la misma forma de organización y los tipos de atributos, aunque tengan distinto significado. Los Nodos Lógicos que están especificados en la mencionada tabla y se encuentran fuera de estos grupos se describen sus datos y atributos en la tabla a continuación.



En la Figura 4 se observa la nomenclatura utilizada para la asignación de los datos de los nodos lógicos de la Tabla 2.

Tabla 2 Datos y Atributos de los Nodos Lógicos del Sistema de Excitación.

LOGICAL NODE	DATA	ATTRIBUTE
PIOC	Op (ACT/M)	general
		phA
		phB
		phC
		Q
		t
PTUV	OpCntRS (INC/O)	stVal
		q
		t
	Str (ACD/M)	general
		q
		t
PTOV	Op (ACT/M)	dirGeneral
		general
		stVal
	OpCntRS (INC/O)	q
		t
		t
ZSCR	Str (ACD/M)	general
		q
		t
	Op (ACT/O)	dirGeneral
		general
		stVal
FLIM	Alm (SPS)	q
		t
		t
	EEHealth	stVal
		q
		t
FLIM	HiLim (SPS/O)	Mandatory Attribute
	LoLim (SPS/O)	Mandatory Attribute
	Out (MV */M)	instMag
		Mag
		range
		q
		t
		units
		rangeC
		smpRate
	HiLimSpt (ASG */M)	setMag
		units
		sVC
		minVal
		maxVal

		stepSize
	LoLimSpt (ASG/O)	Attribute of CDC ASG *
	Blk (SPC */O)	stVal
		q
		t
		ctlModel
FPID	Out (MV/M)	Attribute of CDC MV *
	PAct (MV/C)	Attribute of CDC MV *
	IAct (MV/C)	Attribute of CDC MV *
	Kp (ASG/C)	Attribute of CDC ASG *
	Ki (ASG/C)	Attribute of CDC ASG *
	Ti (ING */C)	setVal
		minVal
		maxVal
		stepSize
		units
	P (MV/O)	Attribute of the CDC MV *
I (MV/O)	Attribute of the CDC MV *	
Blk (SPC/O)	Attribute of CDC SPC *	
FSPT	SptR (SPC/O)	Attribute of CDC SPC *
	SptL (SPC/O)	Attribute of CDC SPC *
	SptMem (MV/M)	Attribute of the CDC MV *
	ErrTerm (MV/O)	Attribute of the CDC MV *
	Auto (SPS/O)	Mandatory Attributes
	SptDvAlm (SPS/O)	Mandatory Attributes
	SptUp (SPS/O)	Mandatory Attributes
	SptDn (SPS/O)	Mandatory Attributes
	MaxRst (RST */O)	setMag
		id
		val
		units
		sVC
		minVal
		maxVal
	MinRst (RST/O)	Attribute of CDC RST *
	DvAlm (ASG/O)	Attribute of CDC ASG *
	SptVal (APC/O)	mxVal
		q
		t
DeadB (ASG/O)	Attribute of CDC ASG *	
Blk (SPC/O)	Attribute of CDC SPC *	
FXUT	Op (SPS/M)	Mandatory Attributes
	OpB (SPS/O)	Mandatory Attributes
	StrVal (ASG/C)	Attribute of CDC ASG *
	StrValB (ASG/O)	Attribute of CDC ASG *
	OpDITmms (ING/O)	Attribute of CDC ING *
	RsDITmms (ING/O)	Attribute of CDC ING *
	Blk (SPC/O)	Attribute of CDC SPC *

4.0 - CONCLUSIÓN

El Modelo de Nodos Lógicos, Datos y Atributos de la Norma IEC 61850 consiste en la representación virtual de los dispositivos y funciones de medición, supervisión, protección y control de un sistema eléctrico de potencia. Este modelo es fundamental para los proyectos de integración y migración de sistemas legados a la IEC 61850 y la ampliación de sistemas eléctricos diseñados con criterios basados en este estándar internacional, debido a que describe de manera detallada la automatización del sistema eléctrico y pueden ser escritos en un lenguaje propio de la Norma IEC 61850 lo cual puede ser utilizada tanto para fines de especificación de los dispositivos normalizados y su configuración, asegurando así la interoperabilidad entre estos equipos.

5.0 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Itaipu Binacional, (2005a) *Central Hidroeléctrica de Itaipu: Aspectos destacados de su ingeniería*, N° 1958-60-C8841-E-R0. Foz do Iguaçu, Archivo Técnico de ITAIPU.
- [2] Itaipu Binacional, (2004) *Sistema de Excitação (Regulador de Tensão) - Cubículo Eletrônico de Tensão - Desempenho das Pontes Negativas*, N° 6210-50-19860-P-R0. Foz do Iguaçu, Archivo Técnico de ITAIPU.
- [3] Mendes, M. y J. Jardini, (2009) "Evolução dos sistemas de automação elétrica: caminhos das modernizações de usinas hidrelétricas", XIII ERIAC Decimotercer Encuentro Regional Iberoamericano de CIGRÉ, 2009. Puerto Iguazú,
- [4] Lidén, J. (2006) *Design and Implementation of an IEC 61850 gateway for PLC Systems*. Master Thesis. Stockholm, Royal Institute of Technology (KTH).
- [5] STRI, (2008) *Network Topologies: Hands-on IEC 61850 training*. Itaipu Binacional. 17-20 Agosto de 2008.
- [6] Moore, R. y M. Goraj, (2010) "Ethernet for IEC 61850" en *PAC World magazine* [En Línea]. Setiembre 2010, disponible en: http://www.pacw.org/issue/september_2010_issue/cover_story/ethernet_for_iec_61850/complete_article/1.html [Accesado el 13 de Enero de 2011]
- [7] Siemens SCL-Validator [En línea]. Disponible en: <http://scl-validator.erlm.siemens.de/validator/upload.html> [Accesado el 4 de Mayo de 2011].
- [8] SILVA, J., (2010) *Distribuição de Funções e Integração dos IEDs para Automação das Unidades Geradoras da Usina Hidrelétrica de Itaipu*. Tesis de posgraduación. Foz do Iguaçu, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
- [9] IEC TC 57. IEC 61850-6: *Communication Networks and Systems in Substations, Part 6: Substation automation system configuration description language*. Edición 1.0, Geneva, 2003
- [10] IEC TC 57. IEC 61850-7-410: *Communication networks and systems for power utility automation. Part 7-410: Hydroelectric power plants - Communication for monitoring and control*. Edición 1.0 y 2.0.
- [11] IEC TC 57. IEC 61850-7-4: *Communication networks and systems in substations. Part 7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment – Compatible logical node classes and data classes*. Edición 1.0, Geneva, 2003.
- [12] ITAIPU BINACIONAL. Schematic Diagram - Excitation 50hz, N° 6210-DF-73041-I-R13. Foz do Iguaçu, Archivo Técnico de ITAIPU. 2003a.
- [13] Resquin, A; López, M. y Ramos, R (2012) *Asignación de nodos lógicos y servicios de comunicación del sistema de excitación de una unidad generadora típica de la Central Hidroeléctrica Itaipu, acorde a la Norma IEC 61850*. ARANDUCON 2012. Sección Paraguay del IEEE-R9. Asunción, Paraguay

6.0 - BIOGRAFIA DEL AUTOR

Antonio Ruben Resquin Castellano, nació el 13 de Junio de 1988 en Colonia Independencia, Guaira, Paraguay. Es Ingeniero Electromecánico graduado de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción en el año 2010. Trabaja en el Parque Tecnológico Itaipu desde el año 2010 en proyectos basados en la Norma IEC 61850, ha dictado cursos de la Norma IEC 61850 y actualmente está trabajando con tecnologías asociadas a Smart Grid y la IEC 61850.

