



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**"Estudio Técnico para la Migración de los Actuales
Reguladores de Voltaje Automáticos (AVRs) de las dos
Unidades de Generación Eléctrica de la Central Ocaña a
Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs). "**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA

Autor:
MARÍA SOLEDAD ILLESCAS MOGROVEJO

Director:
ING. HUGO TORRES SALAMEA PhD.

Codirector:
Mst. SANTIAGO VILLALBA ORELLANA

CUENCA, ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Al cabo de cinco años de sacrificio, esfuerzo, estudio, malas noches y experiencias, en su mayoría gratas, culmino una etapa importante con este trabajo de titulación; el cual, se lo dedico con profundo amor a las personas más importantes en mi vida, mi familia.

A mi heroína, la persona que más amo y admiro, mi modelo a seguir, quien me enseñó a luchar día a día por mis sueños y a entregar lo mejor de mí al realizar cualquier actividad, mi Madre. A mis hermanas: Neni, Claudi, Magui, Mandito, Vicky, Tita y a mis hermanos Milton y Jame, con quienes he compartido mis alegrías y mis tristezas, mis logros y mis fracasos, de quienes me siento muy orgullosa por cada uno de sus logros tanto profesionales como personales, los cuales han sido, sin duda, de mis mayores motivaciones para alcanzar esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Al culminar con una etapa tan importante como mis estudios de pregrado, quiero expresar un agradecimiento sincero a todas las personas que me acompañaron a lo largo del camino y a quienes contribuyeron a mi crecimiento tanto profesional como personal.

En primer lugar, deseo agradecer a la Virgen María y a Dios por regalarme sabiduría e inteligencia, enviar siempre en mi auxilio ángeles de la guarda y escuchar mis plegarias suscitadas cada noche. A mis padres por regalarme la vida, a mi madre y a cada uno de mis hermanos por creer en mí, por su generosidad y por brindarme su apoyo incondicional. Agradezco a mis hermanos: Neni, por sacrificar su sueño y estar pendiente de mí cada noche; Mandito, Magui y Marlon, por su corazón tan grande y desinteresado; Tita, mi mejor amiga, mi cómplice y mi compañera, por sacarme una sonrisa incluso en mis momentos más difíciles y a Claudi, Vicky, Milton y Jame por haberme acompañado durante toda la carrera y haber estado pendientes de mí en todo momento.

Deseo agradecer a la Empresa ELECAUSTRO S.A., por permitirme desarrollar mi tema de tesis en sus instalaciones con el acompañamiento del Ing. Santiago Villalba Orellana, quien siempre estuvo presto a responder mis dudas y a transferirme su conocimiento sobre temas particulares del trabajo de titulación. Así también, al Ing. Pablo Reyes por su apoyo y a todos los ingenieros que pertenecen a la DCG. Finalmente, agradezco a la Empresa por haberme permitido conocer a varios colegas que se han convertido en amigos: Cristina, Marcelo, Jonathan y Felo.

De igual manera, agradezco a mi director de tesis, Ing. Hugo Torres, por su dedicación y compromiso durante el desarrollo de este trabajo, también a mis tribunales: Ing. Sempertegui, Ing. Zúñiga e Ing. Méndez y a los buenos amigos que me dejaron mi paso por la Universidad del Azuay: Cris., Cata, Franky, Juanji, Luis, Fer y Sebastián.

Para terminar, agradezco a mis amigas de toda la vida, Maritza, Tatiana y en especial a Paulina, por haberme brindado su amistad verdadera en todo este tiempo, pese a que nuestras diferentes ocupaciones nos impidieran vernos seguido. Finalmente, agradezco a mi compañero de estudio y de vida, mi mejor amigo, Paúl, por sus palabras de aliento, por haber sido un pilar importante en mi vida, por su preocupación, ayuda y apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO 1: GENERADORES SÍNCRONOS Y SISTEMAS DE EXCITACIÓN1

Introducción	1
1.1. MÁQUINAS SÍNCRONAS.....	1
1.1.1. Generadores Síncronos	3
1.1.1.1. Componentes principales de un generador síncrono CA	4
1.1.1.2. Funcionamiento de un generador síncrono	7
1.2. SISTEMAS DE EXCITACIÓN PARA GENERADORES SÍNCRONOS	14
1.2.1. Tipos de excitatrices.....	15
1.2.1.1. Excitatrices Estáticas	15
1.2.1.2. Excitatrices Rotativas	17
1.2.2. Reguladores automáticos de voltaje (AVRs).....	19
1.2.2.1. Definición de Regulador Automático de Voltaje.....	20
1.2.2.2. Principio de funcionamiento.....	22
1.2.2.3. Controlador de un Regulador Automático de Voltaje.....	23
1.2.2.4 Modelado de un Regulador Automático de Voltaje	25
1.2.3. Descripción de los Reguladores Automáticos de Voltaje instalados en las Centrales Saucay y Ocaña	28
1.2.3.1. Regulador automático de voltaje THYNE-GMR3	29
1.2.3.2. Regulador automático de voltaje Basler Electric DECS-250.....	31

CAPÍTULO 2: LEVANTAMIENTO DE CAMPO CENTRALES OCAÑA Y SAUCAY34

Introducción	34
2.1. LEVANTAMIENTO DE CAMPO DE LOS TABLEROS DE EXCITACIÓN DE LA CENTRAL OCAÑA	34
2.1.1. Descripción del Regulador Automático de Voltaje	34
2.1.1.2. Descripción del Hardware.....	36
2.1.2.2. Descripción del Software	44
2.1.2. Levantamiento de Campo del Tablero de Excitación de las Unidades de Generación I y II de la Central Hidroeléctrica Ocaña	51
2.1.2.1. Estado físico de los tableros de excitación de las unidades de generación I y II	51
2.1.2.2. Estado funcional del tablero de excitación de las unidades de generación I y II	56
2.2. LEVANTAMIENTO DE CAMPO DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN II DE LA CENTRAL SAUCAY	58
2.2.1. Descripción del Regulador Automático de Voltaje	58
2.2.1.1. Controles e Indicadores	61
2.2.1.2. Entradas y Etapa de Potencia.....	63
2.2.1.3. Medición de Tensión y Corriente.....	64
2.2.1.4. Regulación.....	66
2.2.1.5. Entradas y Salidas de Contacto	67
2.2.1.6. Protección.....	68
2.2.1.7. Limitadores	68
2.2.1.8. Medición.....	70
2.2.1.9. Ajuste de Estabilidad	71
2.2.1.10. Software BESTCOMSPlus.....	73
2.2.1.11. Comunicación.....	74
2.2.2. Levantamiento de Campo del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 en la Unidad de Generación II de la Central Saucay	76
2.2.2.1. Estado físico de los tableros utilizados por el DECS-250	76

2.2.2.2. Estado funcional del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250	79
---	----

CAPÍTULO 3: ESTUDIO PARA LA MIGRACIÓNS DE LOS ACTUALES REGULADORES AUTOMÁTICOS DE VOLTAJE A IEDs.....80

Introducción	80
3.1. INGENIERÍA EN LOS TABLEROS DE EXCITACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA	80
3.1.1. Identificación de los equipos y componentes que deben permanecer en los tableros de excitación.....	81
3.2. ESTUDIO PARA EL REEMPLAZO DE LOS AVR _s DE LA CENTRAL OCAÑA AL SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE EXCITACIÓN DECS-250	86
3.2.1. Terminales y Conectores del DECS-250.....	86
3.2.2. Ingeniería para la implementación del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250.....	91
3.2.2.1. Componentes nuevos para la ingeniería del DECS-250	91
3.2.2.2. Componentes reutilizados para la ingeniería del DECS-250	92
3.2.2.3. Conexiones varias del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250.....	92
3.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS AVR _s (THYNE4 Y DECS-250)	93

CAPÍTULO 4: SISTEMA SCADA.....97

Introducción	97
4.1. TOOLBOX II v6.0	97
4.1.1. OPM Object Oriented Process data Manager	98
4.1.2. CAEx Plus Tool for logics and control functions	103
4.2. SICAM 230 (Software para el Sistema SCADA)	114
4.2.1. Interfaz	115
4.2.2. Escalamiento de Señales.....	116

4.2.3. Cargar Señales	119
4.2.4. Interfaz Hombre – Máquina	120
4.2.5. SICAM 230 aplicado al Regulador automático de voltaje de la Central Ocaña	121
4.3. ESTUDIO DE SEÑALES PARA EL SISTEMA SCADA.....	131
4.3.1. Señales Analógicas y Digitales del Regulador Automático de Voltaje Thyne4	131
4.3.2. Señales Analógicas y Digitales del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	150
ANEXOS	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Conexión en Estrella de un generador.	5
Figura 1.2: Conexión en Delta de un generador.	5
Figura 1.3: Tipos constructivos para un rotor.	6
Figura 1.4: Conmutador mostrando sus partes.	7
Figura 1.5: Generador CA monofásico.	9
Figura 1.6: Posición de la armadura en 0°	10
Figura 1.7: Armadura del generador CA en posición 90°	10
Figura 1.8: Armadura del generador CA en posición 180° de rotación.	11
Figura 1.9: Forma de onda generada por un giro completo de la espira del alternador.	12
Figura 1.10: Generador trifásico de corriente alterna de un par de polos.	12
Figura 1.11: Formas de onda de un generador CA trifásico.	13
Figura 1.12: Generador alimentando a la carga a través de un transformador o un tablero.	14
Figura 1.13: Diagrama de Bloques de un Sistema de Excitación.	15
Figura 1.14: Diagrama unifilar de una excitatriz estática.	16
Figura 1.15: Diagrama unifilar de una excitatriz estática con fuente compuesta.	17
Figura 1.16: Sistema de excitación con dinamo excitatriz.	18
Figura 1.17: Excitatriz de corriente alterna con rectificadores estacionarios.	18
Figura 1.18: Excitatriz de corriente alterna con rectificadores giratorios.	19
Figura 1.19: Diagrama de bloques de un sistema de control de excitación para un generador síncrono.	20
Figura 1.20: Regulador de Voltaje.	21
Figura 1.21: Regulación de Voltaje en un bucle cerrado.	23
Figura 1.22: Diagrama de bloques de un controlador PI.	25
Figura 1.23: Diagrama de bloques en bucle cerrado de un sistema de regulación automática de voltaje.	26
Figura 1.24: Modelo simplificado de un AVR.	28
Figura 1.25: Regulador de voltaje Thyne4.	29
Figura 1.26: Diagrama de bloques del AVR.	30
Figura 1.27: Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250.	32

Figura 2.1: Posición de los mini-interruptores en estado normal.	38
Figura 2.2: Descripción de la ejecución del programa.....	45
Figura 2.3: Disposición frontal de los tableros de excitación, protección y medida de las dos unidades de generación.	52
Figura 2.4: Parte posterior de la puerta del tablero de excitación.....	53
Figura 2.5: Visión general de la parte interna del tablero de excitación.....	54
Figura 2.6: Componentes varios de los tableros de excitación.....	54
Figura 2.7 (a): Etiqueta impresa.....	55
Figura 2.7 (b): Etiqueta escrita con esferográfico	55
Figura 2.8 (a): Etiqueta Ilegible.....	55
Figura 2.8 (b): Etiqueta Corregida.....	55
Figura 2.9: Controles e indicadores del panel frontal.....	61
Figura 2.10: Conexiones típicas de medición de tensión del generador.....	65
Figura 2.11: Conexiones Típicas de Medición de la Corriente del Generador.....	65
Figura 2.12: Ajustes de Regulación AVR.....	66
Figura 2.13: Tablero en el que se encuentra el DECS-250.....	76
Figura 2.14 (a): Tablero PCG22.....	77
Figura 2.14 (b): Tablero PCG22 internamente.....	77
Figura 2.15 (a): Tablero de control PCG21.....	78
Figura 2.15 (b): Tablero de control PCG21 internamente.....	78
Figura 3.1: Terminales y conectores del lateral izquierdo del DECS-250.....	87
Figura 3.2 Terminales y conectores del lateral derecho.....	89
Figura 4.1: Topología de una Unidad de Automatización.....	99
Figura 4.2: Creación de puntos de datos.....	100
Figura 4.3: Señales cableadas analógicas de entrada.....	102
Figura 4.4: Señales digitales de entrada.....	102
Figura 4.5: Transformación de la base de datos a CAEx Plus.....	103
Figura 4.6: Transformar señales del Rango o de toda la Planta.....	104
Figura 4.7: Interfaz SICAM 230.....	116
Figura 4.8: Exportar Señales a SICAM 230.....	117
Figura 4.9: Generar Señales para SICAM 230.....	117
Figura 4.10: Archivos generados .DBF.....	118
Figura 4.11: Transformación de la base de datos a CAEx Plus.....	118

Figura 4.12: Transformación del presente Rango de señales o de todas las señales de la Planta a controlar.....	119
Figura 4.13: Transformación del controlador 1703.	119
Figura 4.14: Importar base de datos de Toolbox II.	120
Figura 4.15: SIMATIC PANEL PC Tuchsreen.	120
Figura 4.16: Topología para las señales digitales del DECS-250.....	139
Figura 4.17: Topología actual de señales que deben permanecer.....	140
Figura 4.18: Señales provenientes de comunicación Modbus.	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: División de tareas del programa principal del regulador.....	48
Tabla 2-2: Descripción de cada columna de la base de datos.	57
Tabla 2-3: Significado de colores en las bases de datos.	58
Tabla 2-4: Descripción de controles e indicadores del Panel Frontal.	62
Tabla 2-5: Especificaciones de la Potencia de Funcionamiento en DECS-250.....	63
Tabla 3-1: Componentes y equipos permanentes en los tableros de protección, medida y excitación (G1 y G2).	81
Tabla 3-2: Componentes de AVR que deben permanecer en el tablero.	84
Tabla 3-3: Representación por colores del Anexo 6.	84
Tabla 3-4: Descripción de cada columna del Anexo 6.	85
Tabla 3-5: Descripción de terminales y conectores del lateral izquierdo.	88
Tabla 3-6: Descripción de Terminales y Conectores del Lateral Derecho.	90
Tabla 3-7: Componentes de la ingeniería para la implementación del DECS-250....	91
Tabla 3-8: Componentes reutilizados para la ingeniería del DECS-250.	92
Tabla 3-9: Conexiones varias para la ingeniería del DECS-250.....	93
Tabla 3-10: Comparación entre los Reguladores de Voltaje THYNE4 y DECS-250.	94
Tabla 4-1: Señales digitales y analógicas IN/OUTPUT del AVR Thyne4.....	131
Tabla 4-2: Salidas de contacto programable cableadas al PLC.	139
Tabla 4-3: Señales cableadas que deben mantenerse para el DECS-250.....	140
Tabla 4-4: Señales digitales y analógicas del AVR por comunicación Modbus.	141
Tabla 5-1: Datos obtenidos a partir de los levantamientos realizados en los tableros de excitación.	144
Tabla 5-2: Datos obtenidos a partir del levantamiento de campo del DECS-250. ..	145
Tabla 5-3: Datos numéricos de la ingeniería en el tablero.	146
Tabla 5-4: Señales del Sistema de Excitación Thyne 4.	147
Tabla 5-5: Señales para el DECS-250.	148

ÍNDICE DE ANEXOS

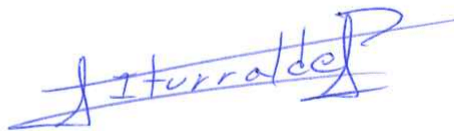
ANEXO 1: DATOS TÉCNICOS DEL REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE THYNE4.....	153
ANEXO 2: BASE DE DATOS CORRESPONDIENTE AL LEVANTAMIENTO DE CAMPO REALIZADO EN EL TABLERO DE EXCITACIÓN DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN I	156
ANEXO 3: BASE DE DATOS CORRESPONDIENTE AL LEVANTAMIENTO DE CAMPO REALIZADO EN EL TABLERO DE EXCITACIÓN DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN II.	161
ANEXO 4: DATOS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE EXCITACIÓN DECS-250.....	167
ANEXO 5: BASE DE DATOS CORRESPONDIENTE AL LEVANTAMIENTO DE CAMPO REALIZADO EN LA UNIDAD DE GENERACIÓN II DE LA CENTRAL SAUCAY	180
ANEXO 6: INGENIERÍA EN LOS DOS TABLEROS DE EXCITACIÓN, PROTECCIÓN Y MEDIDA DE LAS DOS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL OCAÑA	198
ANEXO 7: PLANOS ELÉCTRICOS DE CONEXIÓN PARA EL SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE EXCITACIÓN DECS-250	202

Estudio Técnico para la Migración de los Actuales Reguladores de Voltaje Automáticos (AVRs) de las dos Unidades de Generación Eléctrica de la Central Ocaña a Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs).

RESUMEN

El presente trabajo de titulación describe el estudio técnico realizado para la migración de los actuales AVRs, a IEDs, en las dos unidades de generación de la Central Ocaña. Se efectuaron tres levantamientos de campo, dos en la Central Ocaña y una en la Central Saucay; los datos obtenidos permitieron llevar a cabo la ingeniería en los dos tableros de excitación y el diseño de los planos eléctricos correspondientes a los nuevos AVRs para su futura instalación. Finalmente, se identificaron las señales físicas y de control de los nuevos reguladores para la integración al sistema SCADA SICAM 230 (Siemens) existente.

Palabras clave: Centrales Hidroeléctricas, Generadores Síncronos, Regulador Automático de Voltaje DECS-250, SCADA SICAM 230.



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D
Coordinador de Carrera



Ing. Hugo Torres Salamea. Ph.D
Director de Trabajo de Titulación



María Soledad Illescas Mogrovejo.

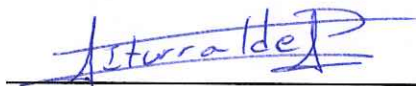
Autor

Technical Study for the Migration of the Current Automatic Voltage Regulators (AVRs) to Intelligent Electronic Devices (IEDs) of the two Electric Generation Units of the Ocaña Plant.

ABSTRACT

This degree work describes the technical study carried out for the migration of the current AVRs to IEDs in the two generation units of the Ocaña Plant. Three field surveys were carried out, two in the Ocaña Central and one in the Saucay Central. The obtained data allowed to carry out the engineering in two excitation boards and the design of the electrical plans corresponding to the new AVRs for their future installation. Finally, the physical and control signals of the new regulators were identified for integration into the existing SCADA SICAM 230 system (Siemens).

Keywords: Hydroelectric Power Plants, Synchronous Generators, DECS-250 Automatic Voltage Regulator, SCADA SICAM 230.



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D
Faculty Coordinator



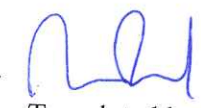
Ing. Hugo Torres Salamea. Ph.D
Thesis Director



María Soledad Illescas Mogrovejo.
Author



UNIVERSIDAD
DEL AZUAY
UNIDAD
DE IDIOMAS



Translated by
Ing. Paúl Arpi

CAPÍTULO 1

GENERADORES SÍNCRONOS Y SISTEMAS DE EXCITACIÓN

Introducción

A lo largo del presente capítulo se desarrollan de una manera teórica los conceptos principales de un tipo de máquina eléctrica. Al inicio, se presenta una breve descripción de las máquinas síncronas aportando conocimientos generales sobre sus partes y funcionamiento. Las máquinas síncronas pueden ser de dos tipos, motores y generadores dependiendo de su funcionamiento; como el objetivo general de la tesis involucra a los generadores síncronos se realizará un estudio exhaustivo de estos en la segunda parte del capítulo. A continuación, se estudia una parte de vital importancia para los generadores, su sistema de excitación. Al finalizar el capítulo, se encuentran las dos partes principales de un sistema de excitación, los tipos de excitatrices y los reguladores automáticos de voltaje con sus principios de funcionamiento, otros conceptos de utilidad y una descripción general de los tres tipos de AVR's considerados para la migración de los reguladores automáticos de voltaje ubicados en las dos unidades de generación de la Central Ocaña.

1.1. MÁQUINAS SÍNCRONAS

Las máquinas síncronas son una subdivisión de las máquinas eléctricas de corriente alterna (CA). Estas pueden ser tanto motores como generadores; al funcionar como motores transforman la energía eléctrica en energía mecánica y al hacerlo como generadores, convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Además, se caracterizan por obtener la corriente de campo magnético de una fuente de potencia CA externa. Estas máquinas tienen dos componentes ferromagnéticos principales, el primero es un cilindro hueco denominado estator o armadura, el cual se encuentra en estado estacionario y cuenta con ranuras longitudinales que poseen bobinas del devanado inducido o de armadura; por otro lado, se tiene al rotor, el cual gira alrededor de un eje llamado flecha dentro del estator hueco, el devanado que se encuentra sobre el rotor se denomina devanado de campo y se alimenta con corriente continua (CD);

en algunas aplicaciones la disposición de los devanados es de la manera anterior, sin embargo, hay algunas otras aplicaciones que requieren una ubicación inversa, es decir, el devanado de campo en el estator y el devanado inducido en el rotor. Las fuerzas magnetomotrices¹ (fmm) producidas por las corrientes presentes tanto en el devanado de campo como en el de armadura se combinan, dando como resultado un flujo en el entrehierro² que genera voltajes en las bobinas de los devanados inducidos y da lugar al par electromagnético entre el estator y el rotor. El par electromagnético es producido por la interacción entre el campo magnético del estator y el del rotor (Chapman, 2012) (Grainger & Stevenson, 1995).

La manera más común de suministrar CD al devanado de campo del rotor es por medio de un excitador, el cual puede ser un generador o una fuente de CD, sin embargo, los grandes generadores de CA poseen un excitador que cuenta con una fuente CD con rectificadores de estado sólido. Para un generador CA, la flecha es impulsada por una fuente de energía mecánica como una turbina hidráulica y el par electromagnético que desarrolla cuando suministra potencia, es opuesto al par producido por la fuente de energía mecánica. Cuando se trata de un motor, por lo contrario, el par electromagnético producido se convierte en el par de la flecha que impulsa la carga mecánica (Grainger & Stevenson, 1995).

En las máquinas síncronas también se pueden encontrar pérdidas como las que se describen a continuación (Chapman, 2012):

- Pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre: Estas pérdidas en el cobre son producidas por el calentamiento resistivo tanto en el devanado de armadura como de campo.
- Pérdidas en el núcleo: Pérdidas por histéresis y corrientes parásitas que se presentan en el material magnético del motor.
- Pérdidas mecánicas: Pueden ser de dos tipos, por la fricción entre los cojinetes y por rozamiento con el aire por la fricción entre las partes móviles y el aire dentro de la caja del motor.

¹ Fuerza magnetomotriz: "La fuerza magnetomotriz de un circuito magnético es igual al flujo efectivo de corriente aplicado al núcleo" (Chapman, 2012, pág. 9).

² Entrehierro: "Zona de aire que separa al estator y al rotor" (León Martínez, Montañana Romeu, & Peñalvo López, 2018, pág. 233).

- Pérdidas dispersas: Aquellas que no se pueden colocar en ningún tipo de pérdida descrito anteriormente, por lo general representan el 1% de la plena carga.

Finalmente, para concluir con esta pequeña reseña sobre las máquinas síncronas y antes de adentrarnos en los generadores síncronos, es importante recalcar que tanto éstos como los motores tienen un tipo de regulación. Los generadores se comparan entre sí con una cifra denominada regulación de voltaje, esta representa la medida de la capacidad que posee un generador para mantenerse en un valor de voltaje constante en sus terminales cuando la carga varía. Por otra parte, los motores también se comparan entre sí con otra cifra llamada regulación de velocidad, la cual representa la medida de la capacidad que tiene un motor para mantener su velocidad de eje constante cuando la carga varía (Chapman, 2012).

1.1.1. Generadores Síncronos

Como se mencionó anteriormente, los generadores eléctricos transforman la energía mecánica en energía eléctrica. Un principio electromagnético del cual dependen los generadores para su funcionamiento se denomina acción del generador o principio de inducción. Un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético posee un voltaje inducido, el cual se produce cuando el flujo magnético atraviesa el área del conductor, ocasionando distintos movimientos: únicamente el del alambre, en otros casos solo el del campo magnético y finalmente, moviendo tanto el conductor como el campo, pero a velocidades diferentes. Este principio toma la energía mecánica para producir el movimiento y generar electricidad (Enríquez Harper, 2004).

El campo magnético presente en los generadores síncronos da lugar a un efecto importante en el estudio de los mismos. Este corresponde a la aparición de las fuerzas electromotrices (f.e.ms) inducidas en los devanados, definidas numéricamente por la Ley de Inducción Electromagnética de Faraday³ y sus sentidos definidos por la Ley de Lenz⁴. Las f.e.ms inducidas producen corrientes inducidas, dando lugar a la generación de energía eléctrica. A breves rasgos se puede decir que, el campo magnético

³ Ley de Inducción Electromagnética de Faraday: "Si un flujo atraviesa una espira de alambre conductor, se inducirá en ésta un voltaje directamente proporcional a la tasa de cambio del flujo con respecto al tiempo" (Chapman, 2012, pág. 22).

⁴ Ley de Lenz: "La dirección del voltaje inducido en la bobina es tal que si los extremos de ésta estuvieran en cortocircuito, se produciría en ella una corriente que generaría un flujo opuesto al flujo inicial" (Chapman, 2012, pág. 22).

producido por los generadores eléctricos se obtiene por medio de una máquina exterior (turbina, motor térmico, etc.) que acciona el rotor generando movimiento de giro (energía mecánica), formando el campo magnético giratorio, el cual da lugar a las f.e.ms (energía eléctrica) (León Martínez, Montañana Romeu, & Peñalvo López, 2018).

Una aplicación muy importante para los generadores síncronos, es su operación activa en las centrales generadoras. Estos han ido evolucionando con el pasar de los años, han pasado de generar potencias muy bajas hasta llegar a los MW o incluso superar los 1000 MW. Los generadores síncronos para centrales generadoras de gran capacidad pueden ser de dos tipos, de polos lisos o polos salientes. Los generadores con polos lisos se caracterizan por tener únicamente un par de polos que les permiten girar a 3600 r.p.m o 60 Hz y se utilizan en plantas termoeléctricas. Los polos salientes son los hidrogenadores, los cuales poseen bajas velocidades y varios pares de polos (Juárez Cervantes, 1998). La razón por la cual se utilizan generadores síncronos en las centrales eléctricas convencionales, recae en que los generadores asíncronos son receptores inductivos, es decir, no son capaces de producir potencia reactiva, ni tan siquiera la que necesitan para originar su propio campo magnético, al contrario del funcionamiento de los generadores síncronos, el cual será descrito a continuación (León Martínez et al., 2018).

1.1.1.1. Componentes principales de un generador síncrono CA

El autor Harper indica que los componentes principales de un generador síncrono son los siguientes (2004):

- Estator: Parte fija, los devanados del estator pueden estar conectados de dos maneras, en estrella o en delta como se muestran en las figuras 1.1 y 1.2 respectivamente.

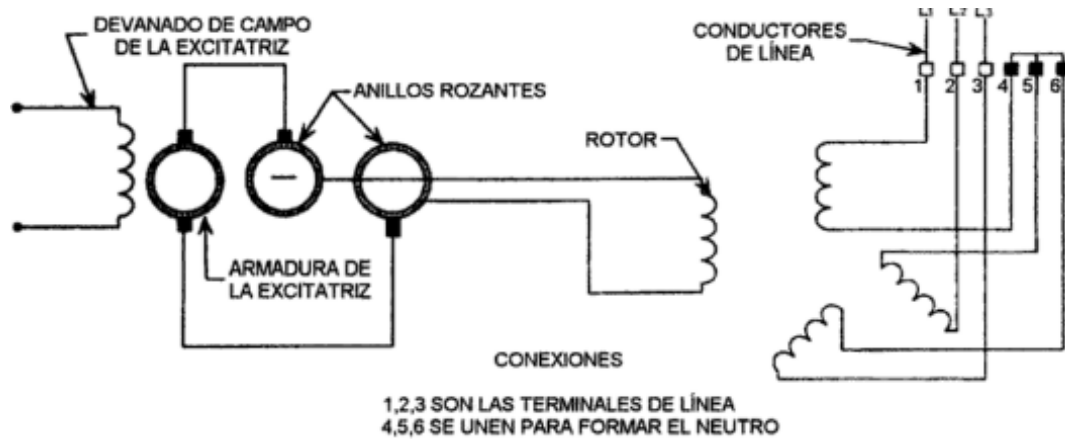


Figura 1.1: Conexión en Estrella de un generador.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

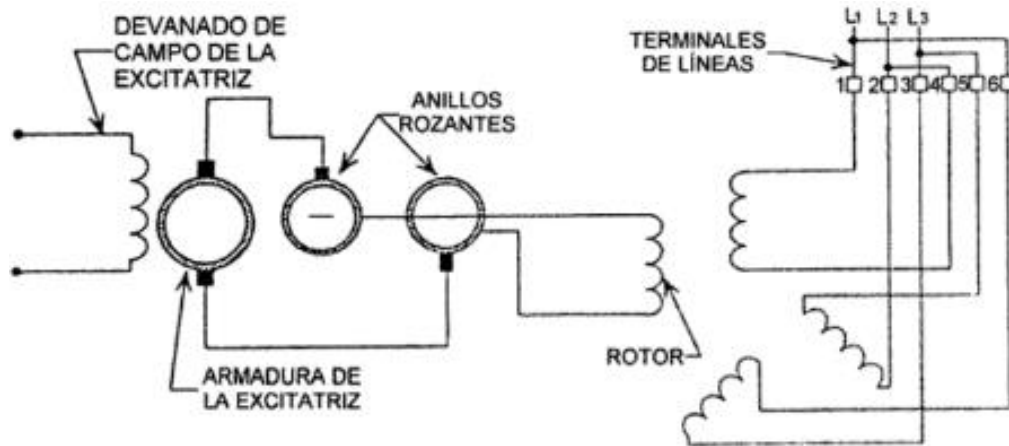


Figura 1.2: Conexión en Delta de un generador.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

- Rotor: Estructura ferromagnética que se puede fabricar en dos versiones si el devanado de campo se encuentra sobre el rotor: polos salientes (Figura 1.3 a) y polos lisos o rotor cilíndrico (Figura 1.3 b). Una diferencia que existe entre las dos versiones es la velocidad, en los polos salientes la velocidad es baja, mientras que en el rotor cilíndrico la velocidad es alta. Como se mencionó, las bobinas del devanado de campo se encuentran presentes en el rotor, son estas las que inducen el voltaje en las bobinas del devanado de armadura, las cuales determinan si el generador es monofásico o trifásico (Enríquez Harper, 2004).

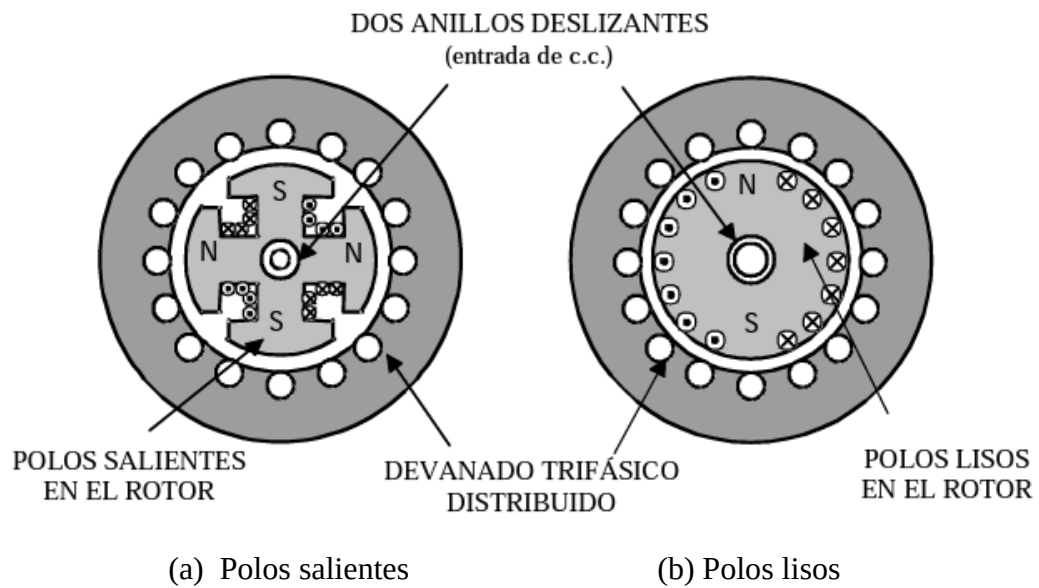


Figura 1.3: Tipos constructivos para un rotor.

Fuente: (Fraile Mora, 2008)

- Sistema de enfriamiento: Los sistemas de enfriamiento utilizados con más frecuencia en los generadores síncronos son los que se describen a continuación (Enríquez Harper, 2004):
 - Método de aire enfriado: Consiste en tomar aire del exterior a temperatura ambiente, este circula por el estator y el rotor por medio de impulsores que se encuentran ubicados en los dos extremos del rotor; por otro lado, el aire caliente es expulsado al exterior por la parte posterior del generador completando así el ciclo.
 - Cambiador de calor aire-aire: Este método consiste en intercambiar el aire caliente por aire frío constantemente y circularlo por el estator; incluyendo la ventaja de tener siempre limpios los aislamientos eliminando de esta manera la necesidad de filtros del sistema.
 - Cambiador de calor aire-agua: Diferente a los anteriores métodos ya que en este el calor que producen tanto el estator como el rotor circula a través de un enfriador que tiene tubos de cobre con perforaciones circulares en el diámetro exterior de los mismos; además, poseen una fuente de agua de enfriamiento, la cual se hace circular por los enfriadores.

- **Excitatriz:** La excitatriz de un generador síncrono es la encargada de suministrar a la máquina corriente CD. Existen diferentes tipos de excitatrices, los cuales serán estudiados detalladamente en la sección 1.2 Sistemas de excitación.
- **Conmutador:** Los conmutadores son utilizados para plantas de emergencia en las cuales los sistemas de excitación aun consisten en pequeños generadores de corriente directa acoplados directamente al eje del generador. La función de los conmutadores recae en la rectificación de la corriente alterna que producen estos pequeños generadores a corriente CD. En la Figura 1.4 se puede observar a un conmutador con sus partes.

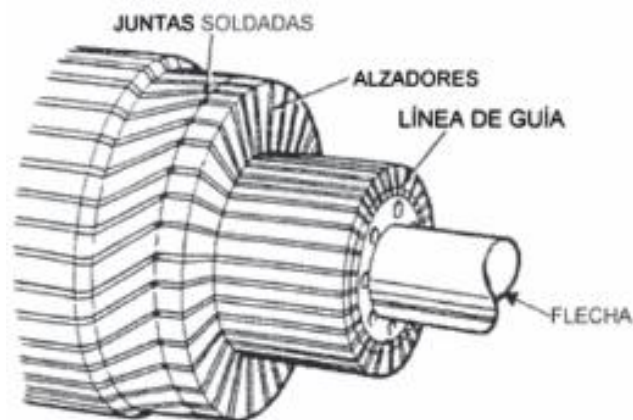


Figura 1.4: Conmutador mostrando sus partes.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

1.1.1.2. Funcionamiento de un generador síncrono

A lo largo del capítulo se han venido describiendo varias características acerca de los generadores síncronos, las cuales serán de gran ayuda al momento de comprender su funcionamiento. Los generadores de corriente alterna funcionan conectados al eje de una turbina o un sistema motriz, estos captan la energía para convertirla en energía mecánica y transmitirla al rotor del generador; es decir, los generadores reciben energía mecánica por medio del rotor para luego convertirla en energía eléctrica. Entre los sistemas motrices más utilizados tenemos a la turbina hidráulica y al buje de un aerogenerador. La ventaja que tienen las turbinas hidráulicas frente a otros sistemas, es que proporcionan una veloz y fácil regulación mediante sus válvulas de admisión.

Como se mencionó anteriormente, un generador síncrono está formado por dos estructuras ferromagnéticas, estator y rotor. Estas estructuras presentan dos devanados,

el inducido y el inductor, respectivamente. El rotor es el encargado de recibir una tensión directa denominada voltaje de excitación, el cual sirve para su regulación; por otra parte, el devanado inducido genera una señal alterna trifásica (Balbás García, 2017).

Cuando se aplica el voltaje directo al rotor, se genera una intensidad a través de su devanado llamada intensidad de excitación. Esta genera un campo magnético de magnitud constante en el entrehierro, el cual gira con el eje de la turbina o sistema motriz a una velocidad dada. La intensidad de excitación viene dada por una pequeña excitatriz que se conecta al devanado del rotor por medio de unos anillos situados en el eje del generador. Se debe recordar que para máquinas eléctricas de potencias elevadas, el devanado inductor se encuentra en el rotor, debido a que la intensidad de excitación que ingresa por los anillos es de menor magnitud que la que produce la máquina, la misma que sale del generador por medio del devanado inducido (Balbás García, 2017).

Al empezar a girar al mismo tiempo tanto el rotor como el campo magnético producido por el devanado inductor, la Ley de Faraday expresa que al existir variación de flujo magnético en las espiras del conductor se producen fuerzas electromotrices en el devanado del estator (inducido), generándose de esta manera la intensidad trifásica que sale del generador y es inyectada a la red eléctrica (Balbás García, 2017).

Para una explicación más simple acerca del funcionamiento del generador de corriente alterna, el autor Enríquez Harper (2004) propone un modelo simple en el cual se puede observar de manera sencilla la interacción de todas las partes del generador. En su modelo se distingue a las siguientes: imanes permanentes, armadura, bobina de la armadura devanada sobre el rotor, anillos rozantes y escobillas. El correcto funcionamiento de todas estas partes da como resultado la conversión de energía mecánica a energía eléctrica. Este modelo es el más básico de los generadores de energía eléctrica y se lo puede llamar generador monofásico⁵. Todas sus partes se pueden observar en la Figura 1.5 mostrada a continuación:

⁵ Generador monofásico: Un generador monofásico es aquel que tiene solo un devanado de armadura en el estator (Enríquez Harper, 2004).

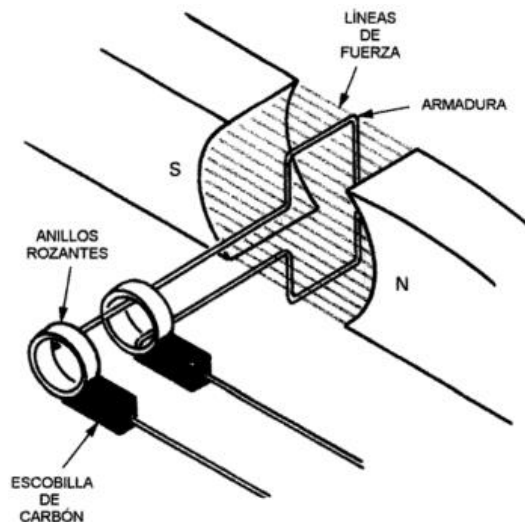


Figura 1.5: Generador CA monofásico.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

El funcionamiento de este pequeño generador recae en primera instancia en el movimiento del alambre conductor denominado armadura. El giro de la armadura se produce por la acción de un primotor o un sistema motriz. Al girar la armadura, esta intercepta el campo magnético dando como resultado la producción de un voltaje inducido en su devanado, este llega a los anillos rozantes a los cuales se encuentran sujetos los terminales de la bobina. Por último, se tienen a las escobillas que pueden ser de carbón o de pequeñas piezas metálicas fuertemente fijadas a los anillos, estas llevan el voltaje generado fuera por medio de conductores para alimentar a circuitos con distintos tipos de cargas (Enríquez Harper, 2004).

Al girar la armadura, se producen ciertos fenómenos que merecen ser estudiados para conocer más a fondo como se produce la corriente alterna generada por un alternador. Para realizar este estudio, se va a dividir a una revolución completa de la armadura en cuatro segmentos de 90° cada uno como se observará a continuación.

En la Figura 1.6 se observa a la armadura del generador en la posición de 0° , esta se encuentra en paralelo con las líneas de flujo de campo magnético, por lo que no logra cortar ninguna, dando como resultado que no exista un voltaje inducido en sus terminales. Además, el amperímetro que muestra la figura aparece también sin ninguna medida.

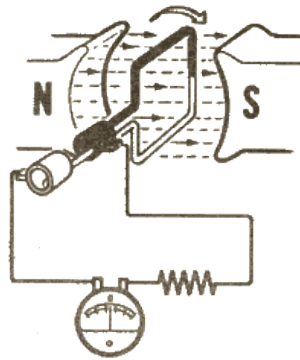


Figura 1.6: Posición de la armadura en 0°.

Fuente: (ASOCAE, 2018)

En la Figura 1.7 se observa a la armadura después de haber girado 90°, a medida que va realizando el giro desde los 0°, el campo magnético se va cortando, hacia arriba por el conductor blanco y hacia abajo por el conductor negro, con mayor intensidad produciendo un voltaje inducido incremental hasta llegar a su valor máximo en los 90°, de igual manera, la corriente que circula por los conductores es la máxima inducida, como lo muestra el amperímetro de la figura. En la parte derecha de la figura, se puede observar por otra parte, la forma de onda que genera el movimiento de la armadura, incrementándose tanto el voltaje como la corriente con polaridad positiva hasta alcanzar su nivel máximo.

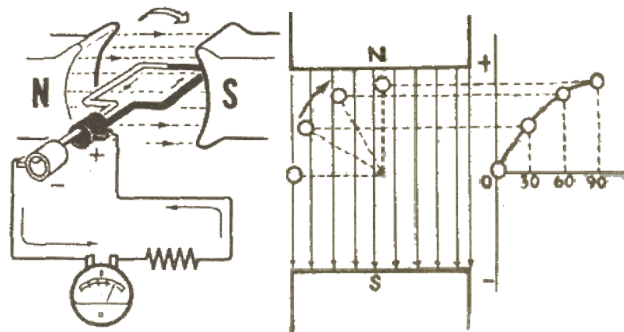


Figura 1.7: Armadura del generador CA en posición 90°.

Fuente: (ASOCAE, 2018)

En la Figura 1.8 se observa a la armadura después de haber girado 180°, a medida que realiza el giro desde los 90 hasta los 180°, va disminuyendo la cantidad de líneas de campo magnético que puede cortar, hasta que se encuentra en posición paralela a ellas donde ya no poseen ningún tipo de interacción. De igual manera, el voltaje inducido va disminuyendo gradualmente hasta llegar a 180° y obtener un valor de 0V, con el cual no existe circulación de corriente alguna en los conductores como lo muestra el

amperímetro de la figura. La forma de onda que se puede observar, corresponde al movimiento de la armadura, tanto el voltaje como la corriente se reducen con polaridad positiva, hasta su nivel 0. Según la trayectoria de la armadura, de 0 a 180° , su forma de onda corresponde a una media onda positiva, es decir, empieza en cero, alcanza su valor máximo y vuelve a cero.

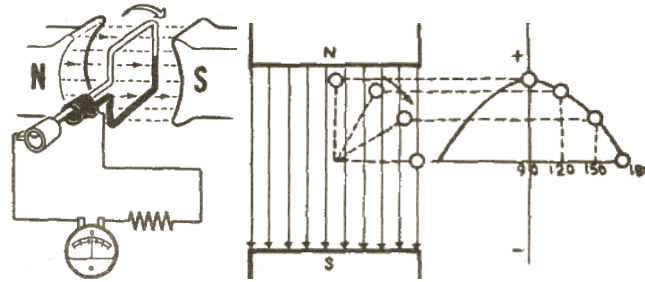


Figura 1.8: Armadura del generador CA en posición 180° de rotación.

Fuente: (ASOCAE, 2018)

Para la otra mitad de la rotación, la armadura realizará el mismo movimiento, sin embargo, la polaridad será distinta a la obtenida al girar de 0 a 180° . Anteriormente, la parte negra del conductor giraba para abajo y la parte blanca para arriba, ahora, hasta llegar a los 270° la parte negra gira para arriba y la parte blanca para abajo cortando el campo magnético con más intensidad hasta llegar al valor máximo de voltaje inducido. Al término de una revolución completa, es decir, cuando la armadura alcanza los 360° de giro y se coloca en la posición de partida, se encuentra paralela a las líneas de campo magnético, por lo que de 270° a 360° el voltaje inducido se ha ido reduciendo hasta llegar a 0V nuevamente.

En la Figura 1.9 se puede observar la trayectoria de giro de la armadura del generador con la forma de onda que produce. Como se explicó anteriormente, los cortes por el eje de las abscisas indican que no existe voltaje inducido, por lo tanto, no hay voltaje de salida en los terminales del generador; por otra parte, los picos de la forma de onda indican que en dichos puntos el generador produce el máximo nivel de voltaje. Al observar la figura se puede concluir que el giro completo de la armadura ha producido dos semiondas, una en valores positivos y la otra en negativos; esta onda sinusoidal obtenida es la que representa comúnmente a la forma de onda de la corriente alterna.

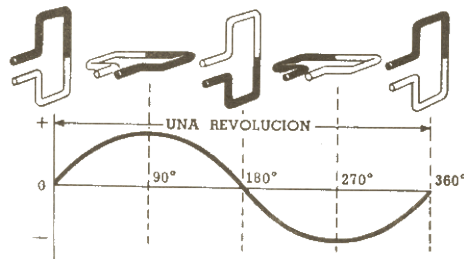


Figura 1.9: Forma de onda generada por un giro completo de la espira del alternador.

Fuente: (ASOCAE, 2018)

Existen generadores de corriente alterna trifásicos, esto se consigue agregando dos devanados más al estator, es decir, para que un generador sea considerado trifásico el estator debe tener tres devanados de armadura que se encuentran desplazados 120° entre sí; a cada devanado se le considera una fase, así entonces, existen tres fases: Fase A, Fase B y Fase C. Por lo general, los devanados se conectan en estrella, uniendo a un punto común un terminal de cada devanado, mientras los otros terminales representan cada uno una fase. En la Figura 1.10 se observa gráficamente a un generador trifásico con cada una de sus fases y sus partes principales.

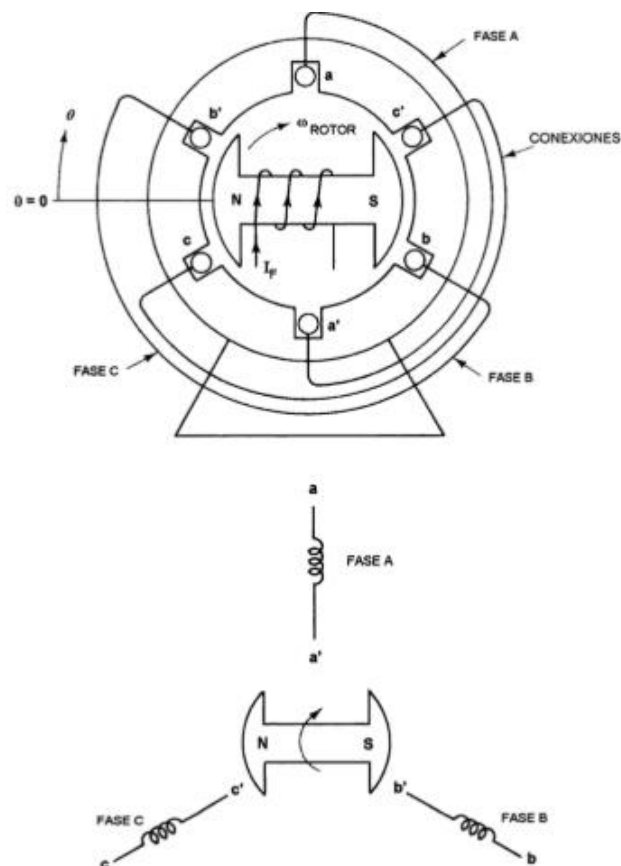


Figura 1.10: Generador trifásico de corriente alterna de un par de polos.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

El máximo voltaje inducido en un generador trifásico se produce cuando cada uno de los devanados del estator está completamente opuesto al campo magnético, entonces, el resultado obtenido se puede visualizar en la Figura 1.11 que muestra las tres formas de onda generadas.

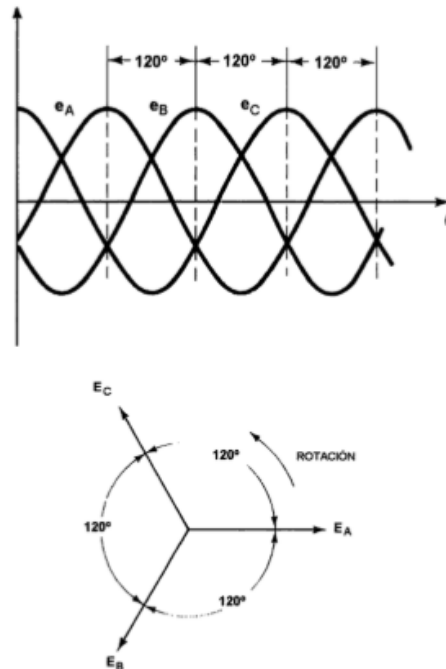


Figura 1.11: Formas de onda de un generador CA trifásico.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

El voltaje generado tiene una frecuencia (ciclos/seg o Hz) que viene dada por una relación entre la velocidad de rotación del rotor N (ciclos/min) y su número de polos P , tomando en cuenta que el número de polos siempre es par y que una revolución completa del rotor produce dos ciclos de corriente alterna, la expresión para la frecuencia se muestra a continuación (Enríquez Harper, 2004):

$$f = \frac{P}{2} * \frac{N}{60} = \frac{P*N}{120} \text{ Hz} \quad (1-1)$$

Anteriormente, se observó que el giro completo de la armadura de un generador producía dos semiondas, en la realidad, el rotor completa varios ciclos en un segundo. De esta manera, la frecuencia de la corriente alterna que se recibe en los hogares puede ser diferente, las más comunes con de 60Hz y 50Hz. No es recomendable utilizar una frecuencia inferior a 50Hz debido a que cuando el voltaje inducido tiene un valor de cero, este efecto sería visible.

Finalmente, "El voltaje generado se aplica a la carga externa alimentada a través de un transformador o tableros" (Enríquez Harper, 2004, pág. 6), como se puede observar en la figura 1.12.

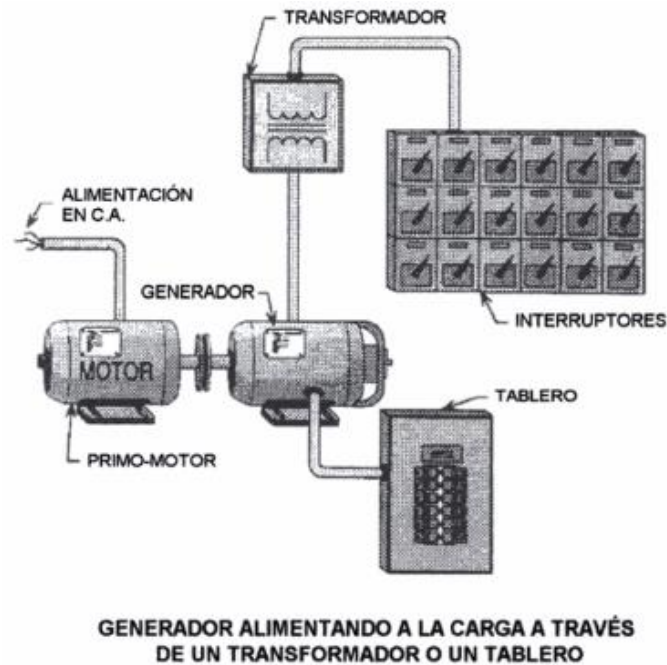


Figura 1.12: Generador alimentando a la carga a través de un transformador o un tablero.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

1.2. SISTEMAS DE EXCITACIÓN PARA GENERADORES SÍNCRONOS

Los sistemas de excitación son una parte fundamental en el funcionamiento de los generadores síncronos, los cuales han ido evolucionando conjuntamente. Las funciones principales de los sistemas de excitación son las siguientes (Cubillos, 2004, citado por Arias & Bravo, 2016):

- Suministrar corriente al devanado de campo del generador.
- Controlar el voltaje en la salida en forma rápida y automática.
- Ayudar a mantener la estabilidad síncrona del sistema de generación.

Estos sistemas comprenden a las excitatrices y a los reguladores automáticos de voltaje (AVRs). En la figura 1.13 se muestra a un sistema de excitación representado en un diagrama de bloques con cada una de sus partes principales.

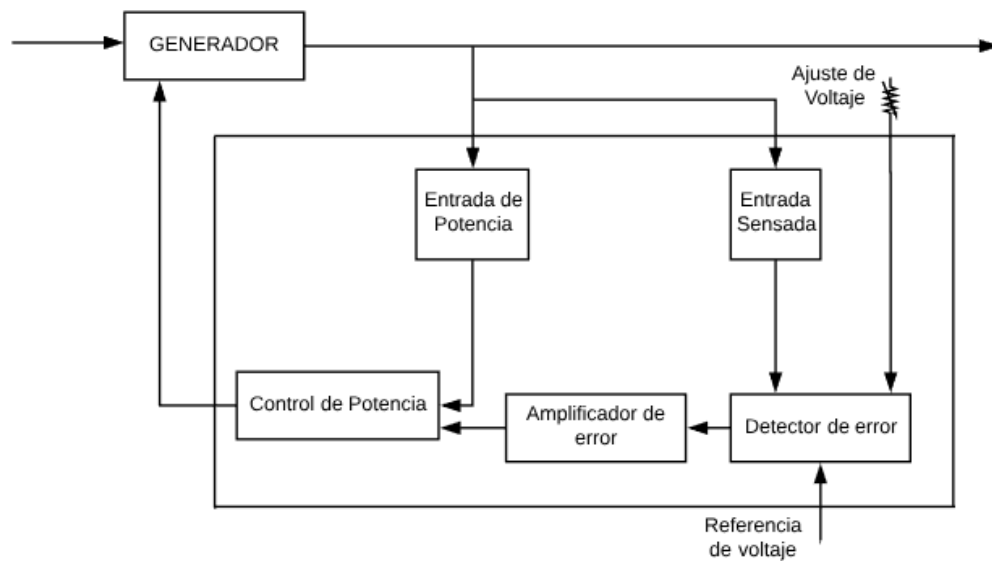


Figura 1.13: Diagrama de Bloques de un Sistema de Excitación.

Fuente: (Cubillos, 2004, citado por Arias & Bravo, 2016)

A continuación, se realizará una explicación detallada de los componentes principales de los sistemas de excitación para generadores síncronos.

1.2.1. Tipos de excitatrices

Como se mencionó anteriormente en el funcionamiento del generador síncrono, el devanado de campo es excitado con corriente continua. La excitación del inductor debe garantizar el voltaje de salida de corriente alterna estable, pero también cuando la carga es variable, se debe mantener la estabilidad del sistema. De esta característica y de la rapidez de respuesta dependerá mucho el tipo de excitatriz que se coloque para excitar al rotor. Existen dos tipos principales: excitatrices estáticas y excitatrices rotativas; dentro de estos dos grandes grupos, existen otras alternativas que serán estudiadas en las siguientes secciones (Blanquéz García , Rodríguez Arribas, Alonso Rodríguez, & Vezanzones Nicolás, 2014).

1.2.1.1. Excitatrices Estáticas

Las excitatrices estáticas están constituidas por "un convertidor electrónico estacionario que está alimentado desde una fuente de corriente alterna, que puede ser la propia máquina síncrona" (Blanquéz García et al., 2014, pág. 13).

Las excitatrices estáticas pueden ser de dos tipos:

- Excitatriz estática con fuente de tensión: Un transformador reductor o transformador de excitatriz se alimenta de la fuente de corriente alterna a la salida del generador, a este transformador se conecta un rectificador electrónico, para de esta manera obtener una fuente de corriente continua que excita al devanado inductor por medio de anillos rozantes y escobillas, en la figura 1.14 se muestra un diagrama con esta configuración.

Existen dos inconvenientes que se presentan al utilizar excitatrices estáticas. La primera es que no se dispone de un sistema de cebado, el cual puede ser de gran ayuda al momento que la inducción remanente no es suficiente para alcanzar el voltaje en vacío del generador y alimentar al convertidor de la excitación (autoexcitación). El segundo inconveniente se presenta cuando la máquina se encuentra conectada directamente a la red y se produce un corto circuito franco en una de las líneas de salida provocando que la intensidad de excitación sea cero. Bajo estas condiciones, la intensidad de cortocircuito que proporciona el generador decrementa a una gran velocidad, lo que puede ocasionar que los relees de protección no entren a funcionar a tiempo, provocando un cero total en toda la instalación (Blanquéz García et al., 2014).

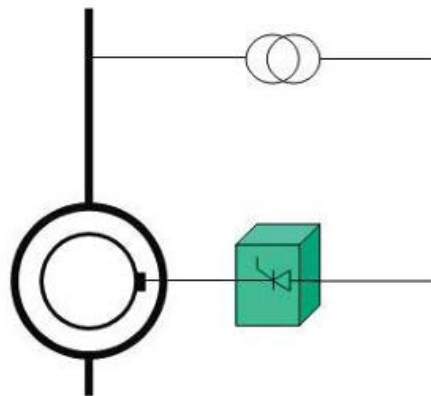


Figura 1.14: Diagrama unifilar de una excitatriz estática.

Fuente: (Blanquéz García et al., 2014)

- Excitatriz estática con fuente compuesta: Para contrarrestar uno de los inconvenientes presentados anteriormente, se utilizan excitatrices con una fuente compuesta, las cuales alimentan la excitación con una segunda fuente de intensidad, por medio de un transformador de corriente no saturado. Es la misma intensidad del inducido de la máquina la que refuerza la excitación y en

el caso de presentarse un cortocircuito, mantiene la corriente de cortocircuito, permitiéndoles a los reles de protección actuar en el momento indicado. En la Figura 1.15 se muestra un diagrama de este tipo de excitatriz estática.

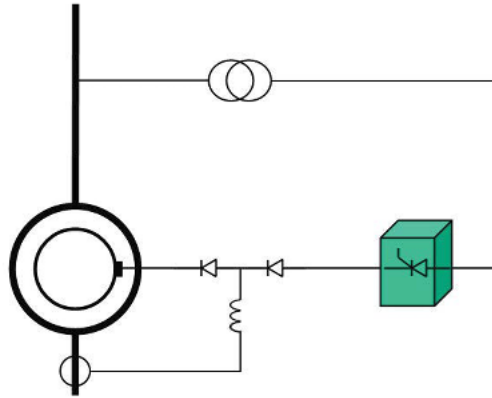


Figura 1.15: Diagrama unifilar de una excitatriz estática con fuente compuesta.

Fuente: (Blanquéz García et al., 2014)

1.2.1.2. Excitatrices Rotativas

Las excitatrices rotativas son "otro tipo de máquina eléctrica generalmente acoplada al mismo eje de la máquina síncrona principal" (Blanquéz García et al., 2014, pág. 13).

Al ser otra máquina, esta recibe la potencia mecánica del mismo eje de la máquina síncrona; estas pueden ser de diferentes tipos según ya sea de corriente continua o de corriente alterna.

- Excitatrices de corriente continua: Fueron las primeras excitatrices en utilizarse, sin embargo, ahora su aplicación es escasa y se encuentran descontinuadas en el mercado. Se caracterizan por tener un sistema de autoexcitación que puede ser cuando se conecta el devanado de campo con el devanado inducido o un sistema de excitación independiente. En el último caso se requiere de una segunda excitatriz cuya potencia es de menor valor y se la conoce como excitatriz auxiliar o piloto y a la primera, como excitatriz principal. En la Figura 1.16 se observa este tipo de excitatriz, la línea entrecortada indica que las tres máquinas se encuentran en el mismo eje mecánico.

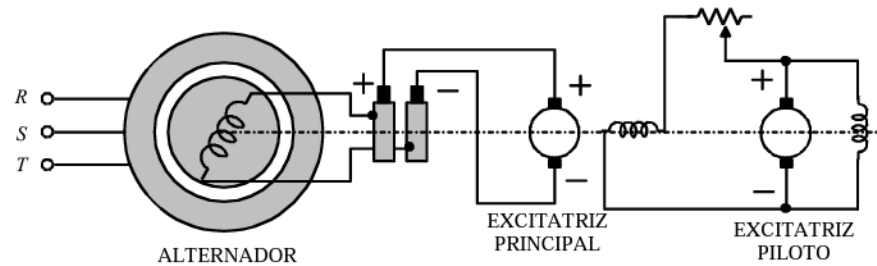


Figura 1.16: Sistema de excitación con dinamo excitatriz.

Fuente: (Fraile Mora, 2008)

- Excitatrices de corriente alterna con rectificadores estacionarios: Debido a la dificultad de conmutación en los dinamos⁶ al girar a grandes velocidades se han diseñado excitatrices de corriente alterna. Estas alimentan con corriente continua a los polos del generador síncrono con ayuda de rectificadores de silicio. Comúnmente, el campo que producen estas excitatrices proviene de otra excitatriz de corriente alterna con imanes permanentes cuya salida se ha rectificado previamente como se puede observar en la Figura 1.17.

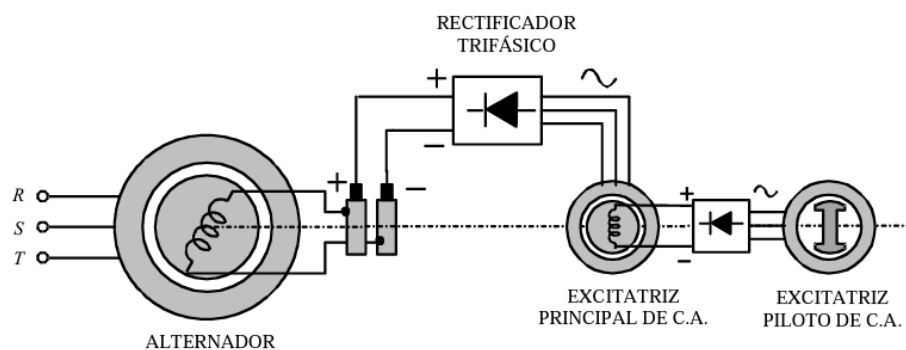


Figura 1.17: Excitatriz de corriente alterna con rectificadores estacionarios.

Fuente: (Fraile Mora, 2008)

- Excitatriz de corriente alterna con rectificadores giratorios: A este tipo de excitatriz se la conoce también como excitatriz sin escobillas o de diodos giratorios. Como es ya conocido, la excitatriz principal alimenta a la intensidad de excitación del alternador por medio de anillos colectores y escobillas. Debido al rol que desempeñan estos componentes deben recibir mantenimiento y ser reemplazados constantemente. El objetivo principal de este tipo de

⁶ Dinamo: Un dinamo es conocido también como generador de corriente continua, estos "convierten una energía mecánica de entrada en energía eléctrica de salida en forma de corriente continua" (Fraile Mora, 2008, pág. 546).

excitatrices es eliminar la necesidad de utilizar anillos colectores, escobillas y conmutadores para llevar la corriente de excitación de la parte fija a la parte giratoria y para lograrlo, se debe de utilizar una máquina síncrona con configuración inversa, es decir, el devanado de campo se encuentra en el estator y el devanado inducido en el rotor (Blanquéz García et al.). La salida de corriente alterna de la excitatriz es convertida en corriente continua por medio de rectificadores montados en el eje principal (parte giratoria), los cuales giran junto con el generador síncrono y alimentan directamente al rotor del alternador sin necesidad de anillos colectores y escobillas. Como se puede observar en la Figura 1.18, el rectificador trifásico reemplaza a una parte del sistema de excitación CD estudiado anteriormente.

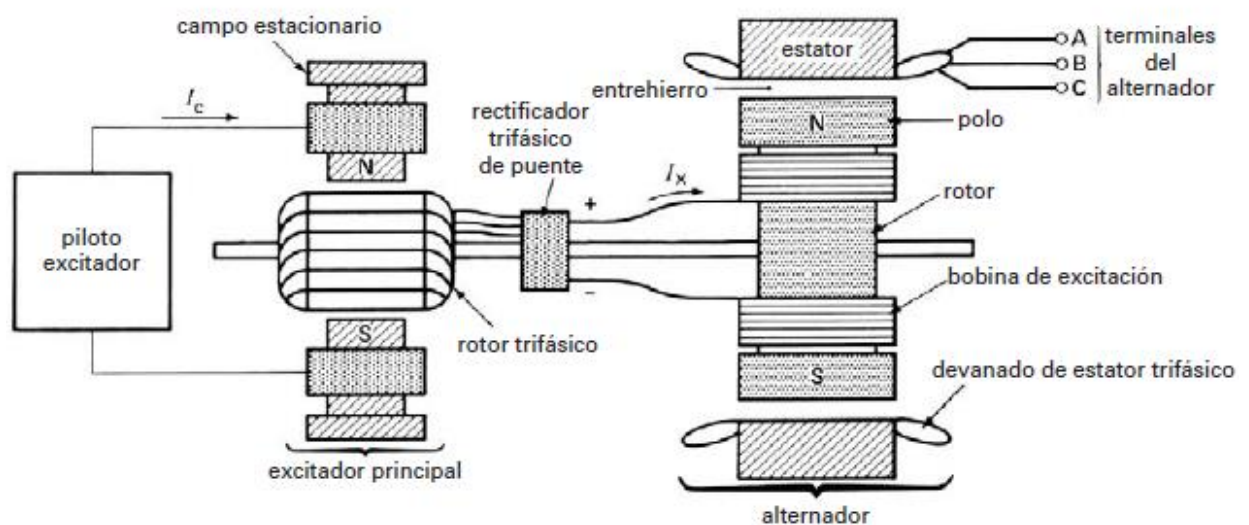


Figura 1.18: Excitatriz de corriente alterna con rectificadores giratorios.

Fuente: (Wildi, 2007)

1.2.2. Reguladores automáticos de voltaje (AVRs)

En los primeros años en que se empezó a generar la energía eléctrica, el control que se daba a los sistemas de generación era básico y primitivo. En aquellos días, los equipos de regulación no cumplían con los estándares de calidad y estabilidad como los de hoy en día; el control era realizado manualmente en la mayoría de los casos. Debido a la exigencia de los usuarios que se encuentran conectados a la red, se tuvo que mejorar la calidad de servicio, es decir, empezar a controlar de manera eficiente las curvas de voltaje y frecuencia por medio de controladores y reguladores automáticos. Como se verá en las siguientes secciones, los reguladores automáticos de voltaje son una pieza imprescindible al momento de controlar el sistema de potencia de los generadores síncronos (Aberbour & Graba, 2015). En la Figura 1.19 se puede observar a todo el

sistema de excitación representado en un diagrama de bloques; la salida del generador está siendo sensada continuamente por el regulador automático de voltaje para controlar a la excitatriz en el caso de que se requiera, algunos sistemas utilizan un control auxiliar para agregar funciones extras como lo muestra la figura.

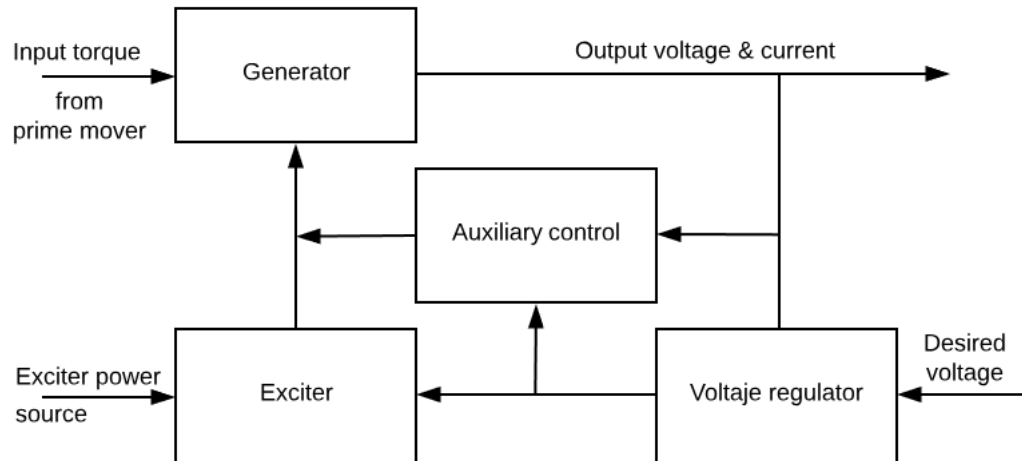


Figura 1.19: Diagrama de bloques de un sistema de control de excitación para un generador síncrono.

Fuente: (Anderson & Fouad, 1977)

1.2.2.1. Definición de Regulador Automático de Voltaje

Regulador Automático de Voltaje o AVR por su significado en inglés, Automatic Voltage Regulator. La función principal de un AVR es controlar el sistema de excitación para que tanto el voltaje de salida de un generador síncrono como su potencia reactiva varíen de acuerdo a lo deseado. La regulación de voltaje anteriormente se realizaba de una manera manual, es decir, el operador calibraba el reóstato de campo hasta que el voltaje en los terminales del generador sea el idóneo, lo cual resultaba poco eficiente. En la actualidad, los AVRs son automáticos, es decir, poseen un controlador que detecta el voltaje de salida del generador e inician la acción correctiva en la excitatriz para controlar la intensidad en el devanado de campo.

La regulación de voltaje tiene tanta importancia en la generación eléctrica debido a que una regulación exitosa garantiza calidad y estabilidad en la energía generada, logrando aumentar la eficiencia económica de su operación. Los usuarios consumidores de energía eléctrica pueden tolerar desviaciones de voltaje del valor nominal en no más de un $\pm 5\%$ (Oztoklu, 2014). Un voltaje superior al nominal acorta la vida útil de los equipos eléctricos, por otro lado, una disminución, reduce la

eficiencia en la productividad y el funcionamiento económicamente viable de la maquinaria y la capacidad de las líneas de transmisión e incluso puede llegar a afectar la operación estable de los generadores conectados a la red.

Un parámetro importante que se debe estudiar en los AVR es su velocidad de respuesta, la cual tiene una relación estrecha con la estabilidad. El someter al generador a una carga variable conduce a un aumento en la intensidad de la corriente y consecuentemente, a pérdidas de voltaje en varios puntos de la red, ocasionando que el voltaje del generador se encuentre fuera de los límites permisibles de operación. Debido a la alta inductancia en el devanado de campo es complicado realizar cambios rápidos en su corriente, lo que introduce un retraso considerable en la función de control, siendo esta característica uno de los mayores obstáculos al momento de diseñar un sistema de regulación eficiente (Anderson & Fouad, 1977).

Como se ha venido mencionando, el control automático de voltaje en las centrales eléctricas se logra regulando la excitatriz del generador síncrono. Un regulador de voltaje utiliza las señales de retroalimentación de los transformadores de medición y protección (voltaje y corriente) con el objetivo de mantener el voltaje generado en los niveles de uso y protegerlo de variaciones súbitas de carga o valores de tensión excesivos. En la Figura 1.20 se puede observar a un AVR con las señales de retroalimentación de los transformadores instrumentales.

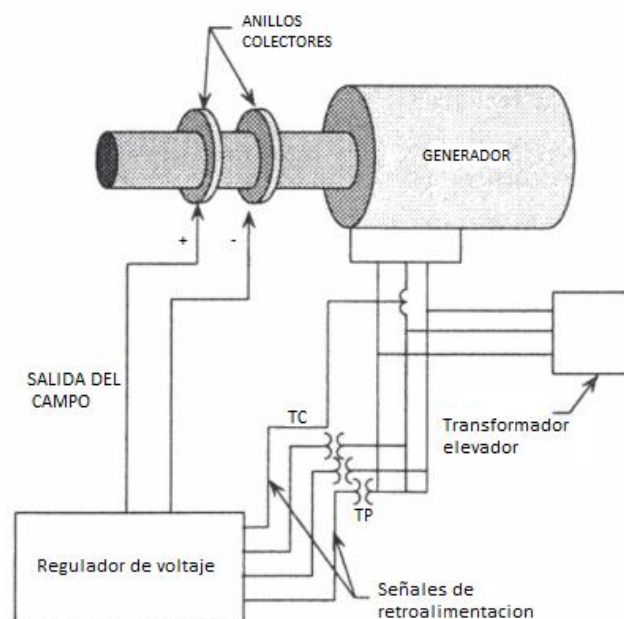


Figura 1.20: Regulador de Voltaje.

Fuente: (Enríquez Harper, 2004)

1.2.2.2. Principio de funcionamiento

La función que tiene un regulador automático de voltaje es bien conocida, mantener en un valor específico de voltaje la salida del generador síncrono. Un AVR convencional posee cinco componentes básicos: amplificador, excitador, generador, sensor y el controlador (Aberbour & Graba, 2015). La manera en que interactúan cada uno de estos componentes para alcanzar el objetivo de un AVR será estudiada a lo largo de estas secciones.

Al hablar de regulación de voltaje, los circuitos de control tanto del generador síncrono como del AVR y excitador forman un bucle cerrado (Aberbour & Graba, 2015). El regulador detecta el voltaje del terminal del generador y ajusta la excitación para mantener la tensión dentro de los límites requeridos gracias a un circuito limitador integrado en el AVR.

El principio de funcionamiento del regulador automático de voltaje se basa en un control de circuito cerrado. Dicho bucle se muestra en la Figura 1.21. El voltaje de salida se convierte, generalmente, a través de un transformador de potencial (TP), a una señal de CD de baja tensión V_g , esta señal de retroalimentación se resta de una tensión de referencia fija V_{ref} para producir una señal de error. La señal de error es procesada por un compensador antes de amplificarse para impulsar la corriente de excitación del rotor I_f (Aberbour & Graba, 2015). El cambio en la corriente de excitación del rotor produce una variación en el voltaje de salida cerrando el circuito de control. Esta situación se puede ejemplificar de la siguiente manera: si la carga en el generador aumenta, la reducción en el voltaje de salida produce una señal de error que aumenta la corriente del campo del excitador, dando como resultado un aumento correspondiente en la corriente del rotor y por lo tanto en el voltaje de salida del generador.

Es importante incluir un control de estabilización para evitar inestabilidades y optimizar la respuesta de voltaje del generador a cambios súbitos de carga. En la ausencia de este, el regulador no mantendría la excitación en un valor fijo, por lo que el voltaje de salida sufriría fluctuaciones por encima o por debajo del valor deseado. Los reguladores automáticos de tensión modernos están diseñados para mantener el voltaje de línea del generador en un valor superior o inferior al 1% de su valor nominal

cuando se producen cambios bruscos en la carga de la máquina síncrona (Oztoklu, 2014).

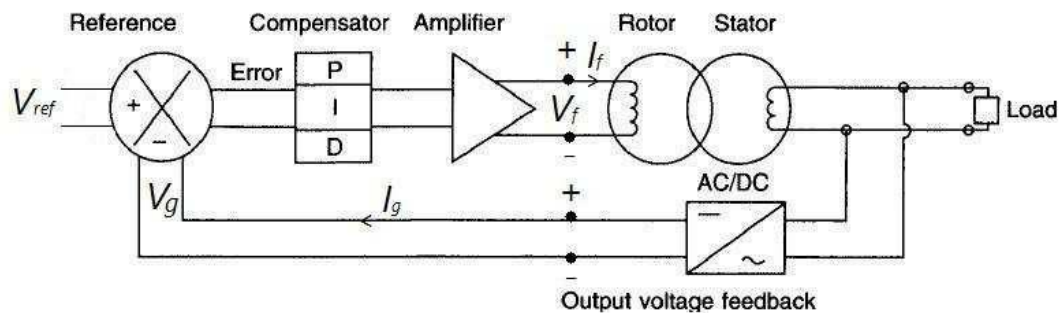


Figura 1.21: Regulación de Voltaje en un bucle cerrado.

Fuente: (Aberbour & Graba, 2015)

1.2.2.3. Controlador de un Regulador Automático de Voltaje

Como se ha visto en las anteriores secciones, el controlador forma una parte indispensable en la regulación de voltaje. En la actualidad existen una gran variedad de controladores, los cuales se pueden dividir en dos grandes grupos: convencionales y no convencionales. Los controladores convencionales son los que necesitan conocer el modelado matemático de la planta para poder diseñar el control, entre estos podemos encontrar a los controladores P, I, D, y sus diferentes combinaciones. Por otra parte, los controladores no convencionales utilizan otro tipo de enfoque, es decir, no es necesario conocer el modelo matemático del proceso para el diseño del control, entre estos tenemos a los difusos, neuro y neuro difusos (Oztoklu, 2014).

Por la forma en la que están constituidas las plantas de las industrias generan procesos, por lo general, no lineales; dificultando de gran manera la obtención de un modelo matemático. Sin embargo, la aplicación de un controlador PID ha dado muy buenos resultados, siempre y cuando sus parámetros se encuentren bien sintonizados. La utilización de una gran cantidad de controladores PID sencillos para controlar procesos simples en un ensamblaje industrial con el fin de automatizar ciertos procesos más complejos es mucho más viable que utilizar una cantidad menor de controladores complejos.

La viabilidad de utilizar un controlador PID en procesos industriales recae en su simplicidad de funcionamiento y en el hecho de que utiliza tres tipos básicos de comportamiento ajustables para manipular la información del error: Proporcional (P),

Integrativo (I) y Derivativo (D). Además, se le atribuye la peculiaridad de un rendimiento robusto bajo una gran variedad de condiciones de operación. Estas características permiten a los ingenieros manipular los controladores de una manera sencilla y directa.

Cada uno de los parámetros del controlador PID cumple una función diferente al momento de corregir errores, tal como se muestra a continuación (Oztoklu, 2014):

- Proporcional: La corrección de error proporcional multiplica el error por una constante (negativa) P y la agrega a la cantidad controlada.
- Integrativo: La corrección de error integral agrega la experiencia pasada. Realiza la integral del error en un periodo de tiempo y luego lo multiplica por una constante negativa; el resultado se suma a la variable controlada.
- Derivativo: La corrección de errores derivativa se basa en la tasa de cambio del error con respecto al tiempo; se basa en el presente para predecir el futuro. La primera derivada del error en el tiempo se calcula y se multiplica por otra constante (negativa) y también se agrega a la cantidad controlada.

Las diferentes combinaciones que se pueden realizar con los tres parámetros: P, I y D; dan a lugar diferentes tipos de controladores, entre estos tipos se encuentra el controlador PI que, por lo general, es el más utilizado en la industria. El controlador PI es un control retroalimentado, hace que la planta sea controlada por medio de la suma del error multiplicada por una constante y la integral de dicho valor. El controlador PI es modelado matemáticamente como se muestra a continuación (Oztoklu, 2014):

Dominio del tiempo:

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(\tau) d(\tau) \quad (1-2)$$

Dominio s:

$$G(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (1-3)$$

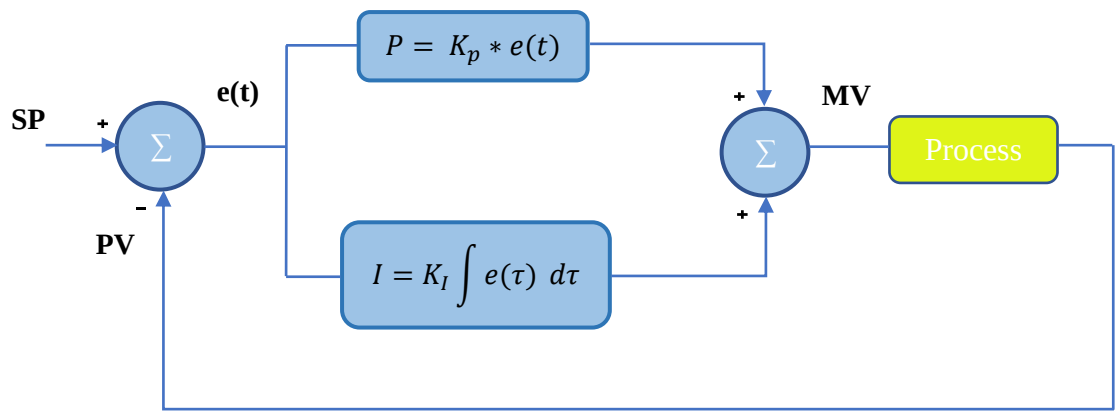


Figura 1.22: Diagrama de bloques de un controlador PI.

Fuente: (Oztoklu, 2014)

En la Figura 1.22 se ilustra un diagrama de bloques de un controlador PI, donde:

- SP: Set Point, valor de referencia fija.
- $e(t)$: Error o desviación de entre la variable medida y la variable de referencia ($SP - PV$)
- MV: Manipulated variable, variable manipulada.
- PV: Process variable, variable real medida.

El controlador PI es utilizado con mayor frecuencia en la industria debido a que su parámetro proporcional se encarga de estabilizar el sistema mientras que su parámetro integral tiende a atenuar o eliminar por completo el error que se produce en estado estacionario. Por lo general, un controlados PI se utiliza en algunas de las circunstancias mostradas a continuación (Oztoklu, 2014):

- No es necesaria una respuesta rápida.
- Cuando a lo largo del proceso se presentan una gran cantidad de perturbaciones o ruido.
- Al estar presente solo un tipo de energía almacenada en el proceso, ya sea esta capacitiva o inductiva.
- Hay grandes retrasos de transporte en el sistema.

1.2.2.4 Modelado de un Regulador Automático de Voltaje

A pesar de que existen una gran variedad de modelos para los reguladores automáticos de voltaje, los cuales describen su funcionamiento, en esta sección se presentarán dos

tipos. Estos se diferencian el uno del otro por la manera en la que consideran al sistema, en el primer caso el autor considera al sistema de regulación con cada uno de sus componentes como si fuera lineal, mientras que el segundo autor presenta un modelo no lineal.

- Sistema lineal

Los autores Aberbour y Graba (2015) dicen que el diagrama de bloques para el modelado de un regulador automático de voltaje es el que se muestra en la Figura 1.23. Como se dijo anteriormente, el sistema de regulación se compone de: controlador, sensor, amplificador, excitador y generador. Cada bloque que se observa en la figura contiene la función de transferencia de cada uno de los componentes del sistema. Hay que recalcar, que estas funciones de transferencia están consideradas únicamente como lineales, es decir, ignoran la saturación o cualquier otro tipo de no linealidades.

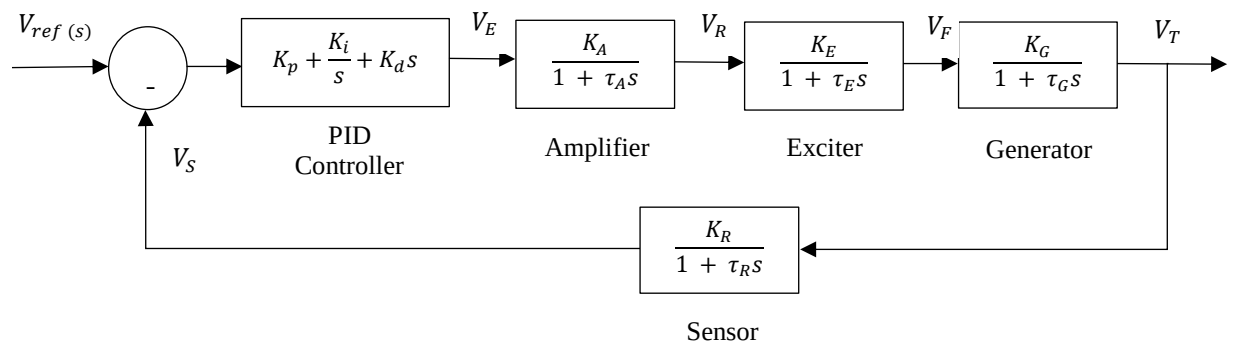


Figura 1.23: Diagrama de bloques en bucle cerrado de un sistema de regulación automática de voltaje.

Fuente: (Aberbour & Graba, 2015)

La función de transferencia del controlador PID es la siguiente:

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (1-4)$$

Donde:

- K_p : Ganancia proporcional
- K_i : Ganancia integral
- K_d : Ganancia derivativa

La función de transferencia del amplificador es modelada mediante una ganancia y una constante de tiempo, quedando como sigue:

$$\frac{V_R(s)}{V_e(s)} = \frac{K_A}{1 + \tau_A s} \quad (1-5)$$

Donde:

- K_A : Ganancia del sistema amplificador, generalmente se encuentra en un rango de 10-40.
- τ_A : Constante de tiempo del sistema amplificador, se encuentra en un rango de 0.02 a 0.1 segundos.

Por otra parte, la función de transferencia para la excitatriz es modelada por una ganancia K_E que va en un rango de valores de 1 a 10 y una constante de tiempo τ_E que puede tomar valores de 0.4 a 1.0 segundos.

$$\frac{V_F(s)}{V_R(s)} = \frac{K_E}{1 + \tau_E s} \quad (1-6)$$

El modelo matemático para el generador se muestra a continuación y se basa en una ganancia K_G que va desde un valor de 0.7 hasta uno de 1.0 y una constante de tiempo τ_G en un rango de 1.0 a 2.0 segundos.

$$\frac{V_T(s)}{V_F(s)} = \frac{K_G}{1 + \tau_G s} \quad (1-7)$$

Finalmente, el modelo del sensor se puede presentar mediante una función de transferencia de primer grado que cuenta con una ganancia K_R alrededor de 1.0 y una constante de tiempo τ_R que suele ser muy pequeña, encontrándose en un rango de 0.001 a 0.06.

$$\frac{V_S(s)}{V_T(s)} = \frac{K_R}{1 + \tau_R s} \quad (1-8)$$

- Sistema no lineal

Para el modelado siguiente, se considera una ganancia y un retardo, donde a la salida del bloque funcional se encuentra conectado directamente un limitador de tensión, el cual introduce la no linealidad. En la Figura 1.24 se puede observar este modelo.

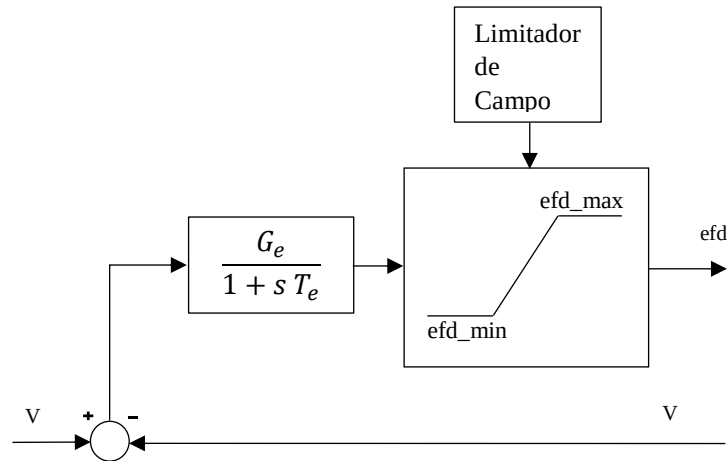


Figura 1.24: Modelo simplificado de un AVR.

Fuente: (Vargas 2008, citado por Arias & Bravo, 2016)

Mediante la figura se puede determinar directamente la función de transferencia que sería (Vargas, 2008, citado por Arias & Bravo, 2016):

$$\frac{\delta efd(i)}{\delta t} = \frac{-efd(i) + Ge(i) * (Vc(i) - V(i))}{Te(i)} \quad (1-9)$$

De acuerdo a lo que se conoce, si se considera que la constante de tiempo del regulador de voltaje es cero o un valor similar, como ocurre en algunos controladores electrónicos que no poseen inercia, la ecuación diferencial efd ya no sería una variable dinámica, lo que ocasiona una reducción de la ecuación anterior a una más sencilla expresa a continuación (Vargas, 2008, citado por Arias & Bravo, 2016):

$$edf(i) = Ge(i) * (Vc(i) - V(i)) \quad (1-10)$$

Para finalizar, se puede decir que, al ser un modelo no lineal, se debe considerar la saturación del generador, la cual se produce cuando la tensión de campo o de excitación supera un valor umbral predefinido durante un cierto periodo de tiempo.

1.2.3. Descripción de los Reguladores Automáticos de Voltaje instalados en las Centrales Saucay y Ocaña

Para la migración de los actuales reguladores automáticos de voltaje a realizarse en las dos unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Ocaña se han tomado en cuenta dos modelos diferentes de AVR. El primero es de la marca Basler Electric específicamente el modelo DECS-250, este AVR se encuentra actualmente instalado en la central Saucay; el segundo regulador automático de voltaje considerado es de la marca ABB Unitrol. Finalmente, la Central Ocaña cuenta con un sistema de excitación

de la marca Thyne4, el cual posee un regulador automático de voltaje con microprocesadores GMR3. Las principales características de los tres AVR's serán presentadas a en las secciones siguientes.

1.2.3.1. Regulador automático de voltaje THYNE-GMR3

El Sistema de Excitación Thyne4 es un AVR multi-procesador diseñado para funcionar con máquinas síncronas tanto monofásicas como trifásicas con un amplio rango de frecuencias; este incluye también el control de compuerta para operación monofásica o trifásica y un control lógico para el correcto funcionamiento del sistema de excitación. El hardware está compuesto por elementos del sistema ELTAS (Sistema de Automatización de Tracción de ELIN), el cual es un sistema microprocesado de programación libre. En la Figura 1.25 se puede observar una foto del regulador automático de voltaje.



Figura 1.25: Regulador de voltaje Thyne4.

Fuente: Autor.

En la Figura 1.26 se puede observar un diagrama de bloques que describe el principio de funcionamiento del regulador automático de voltaje y control de compuerta. El AVR está compuesto por un procesador principal denominado MRB y tres subprocesadores (A, B, C). Además, cuenta con varias entradas y salidas tanto analógicas como digitales y una tarjeta de procesamiento de valores medidos SAB para las magnitudes eléctricas de la máquina y los impulsos de compuerta. El regulador de voltaje está estructurado en dos lazos de control, el maestro (voltaje) y el esclavo (corriente de excitación). Las magnitudes medidas son: el voltaje en el estator (UG), la corriente en el estator (IG), la corriente de excitación (IP) y el voltaje de los tiristores (USYN). Estas son aisladas de potencial y convertidas a baja tensión a través

El regulador se compone de diferentes tarjetas que se encuentran colocadas en un bastidor de 19pul y se conectan en la parte posterior por una tarjeta de circuito impreso. Por otra parte, la fuente de alimentación y las entradas y salidas analógicas y digitales se conectan en el panel frontal a través de conectores. A continuación, se enlistan las tarjetas que posee el regulador de voltaje:

- Fuente de alimentación NGT (posición A1)
- Tarjeta del procesador principal MRB (posición A2), con memoria para el programa y los parámetros de ajuste, 1 puerto de comunicación serial en la parte frontal
- Una o varias tarjetas subprocesadoras PIM (de A4 a A9, según se requiera) cada una con 3 procesadores de señales (A, B, C) y la memoria correspondiente
- Una o varias tarjetas de procesamiento de señales SAB (A4 a A9, según se requiera) para entrada de valores medidos y salida de los impulsos de compuerta
- Una o varias tarjetas de entradas digitales DE32 (A4 a A19, según se requiera) cada una con 32 entradas opto acopladas y 32 LEDs
- Una o varias tarjetas de salidas digitales DA32 (A4 a A19, según se requiera) cada una con 32 relés de salida y 32 LEDs
- Tarjeta de medición de valores actuales, IWK incluye los TPs y TCs de aislamiento

1.2.3.2. Regulador automático de voltaje Basler Electric DECS-250

DECS-250 es un sistema digital de control de excitación que ofrece un alto desempeño, flexibilidad y confiabilidad para generadores síncronos con un sistema de excitación rotativo sin escobillas, en la Figura 1.27 se puede observar se puede observar físicamente al sistema.



Figura 1.27: Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250.

Fuente: Autor.

Entre sus principales características podemos encontrar las siguientes (Basler Electric, 2008):

- Control de excitación preciso para las aplicaciones de un generador síncrono.
- Detección real de valor eficaz, tensión y corriente monofásica o trifásica.
- Gama completa de opciones de medición de generadores.
- Regulación automática de tensión/regulación de corriente de campo/regulación de tensión de campo, modos de operación y factor de potencia VAR.
- Función de ajuste automático con los grupos de estabilidad PID.
- Medición en tiempo real.
- Limitación de sobreexcitación.
- Limitación de subexcitación.
- Limitación de corriente del estator.
- Control de diodos de excitatriz.
- 16 entradas y 12 salidas programables.
- Oscilografías y registro de eventos.

Este sistema ofrece también ciertas protecciones integradas para el generador como (Basler Electric, 2008):

- Baja tensión del generador (27)
- Sobretensión del generador (59)
- Pérdida de medición (LOS)
- Sobrefrecuencia (81O)
- Subfrecuencia (81U)
- Potencia inversa (32R)
- Pérdida de excitación (40Q)
- Sobretensión de campo
- Sobrecorriente de campo
- Pérdida de PMG
- Falla del diodo excitador
- Verificación del Sincronizador (25)
- Ocho elementos de protección configurables

Por otra parte, ofrece varios tipos de comunicación como (Basler Electric, 2008):

- Comunicación serial (puerto USB)
- Comunicación Modbus (puerto RS-485) o Modbus TCP/IP
- Comunicación Ethernet (puerto de cobre o fibra óptica)
- Comunicación CAN
- Protocolo de comunicación PROFIBUS (opcional)

El sistema DECS-250 está destinado a controlar la salida de un generador síncrono mediante la aplicación de potencia de excitación regulada en el campo. Esta potencia de excitación de corriente continua regulada, se basa en el voltaje y corriente del generador sensado y de otros parámetros establecidos por el usuario. Finalmente, cuenta con una precisión en su regulación de hasta un $\pm 0.2\%$ (Basler Electric, 2015).

CAPÍTULO 2

LEVANTAMIENTO DE CAMPO CENTRALES OCAÑA Y SAUCAY

Introducción

En el presente capítulo se desarrolla una descripción detallada de los dos modelos de AVR, en primera instancia del Thyne4 y posteriormente del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250. Del primer modelo se realizó un análisis tanto del hardware como del software, mientras que para el sistema de control se estudiaron sus prestaciones y software con mucho más detenimiento. Sin embargo, la parte fundamental del capítulo se centra en los diferentes levantamientos de campo realizados en las Centrales Hidroeléctricas de Ocaña y Saucay. Los tableros de excitación que comprenden las dos unidades de generación de la Central Ocaña y los del Grupo II de generación de la Central Saucay fueron estudiados detenidamente en dos aspectos: físico y operacional, por medio de un levantamiento tanto presencial como por medio de los planos eléctricos respectivos. El estado de cada tablero es presentado al final del capítulo por medio de cuadros demostrativos con cantidades reales.

2.1. LEVANTAMIENTO DE CAMPO DE LOS TABLEROS DE EXCITACIÓN DE LA CENTRAL OCAÑA

En la Central Hidroeléctrica Ocaña existen dos tableros de excitación, protección y medida, uno por cada unidad de generación. Los planos eléctricos de la central revelan que los dos tableros presentan diferencias mínimas, por lo que pueden ser considerados iguales; es decir, en los dos tableros se encuentran los mismos equipos y componentes electrónicos. En el siguiente inciso se describirá al AVR y posteriormente los datos obtenidos en los levantamientos de campo realizados en la Central.

2.1.1. Descripción del Regulador Automático de Voltaje

El regulador y control de compuerta Thyne4 con el que cuentan las dos unidades de generación de la Central Ocaña son, como se hizo mención en el Capítulo I sección 1.2.3.1., reguladores automáticos de voltaje multi-procesador para máquinas síncronas

tanto monofásicas como trifásicas con un amplio rango de frecuencia. El hardware posee componentes del sistema ELTAS (Sistema de Automatización de Tracción de ELIN) y se complementa con dispositivos específicos para máquinas síncronas. Debido al entorno de trabajo para el que fueron diseñados, todos los componentes son inmunes a condiciones severas de operación, es decir, a vibraciones, límites de temperatura, compatibilidad electromagnética, etc.

El AVR posee varias tarjetas montadas sobre un armazón de 19", las cuales se conectan en la parte posterior por medio de una tarjeta de circuito impreso. Tanto la fuente de alimentación como las entradas y salidas externas se enlazan mediante conectores al panel frontal. Las tarjetas que conforman el regulador automático de voltaje se nombran a continuación:

- Fuente de Alimentación NGT
- Tarjeta del procesador principal MRB
- Varias tarjetas subprocesadoras PIM con 3 procesadores de señal (A, B, C) cada una
- Varias tarjetas de procesamiento de señales SAB
- Varias tarjetas de entradas digitales DE32
- Varias tarjetas de salidas digitales DA32
- Tarjeta de medición de valores actuales, IWK

El software del AVR incluye el sistema operativo y los programas del regulador con los parámetros de ajuste en la tarjeta principal MRB y otros subprogramas en la tarjeta de subprocesadores PIM. Los programas son almacenados en EPROMs y los parámetros ajustables en EEPROMs. El sistema operativo es el encargado de la conversión de entradas y salidas, facilita la comunicación con el regulador a través de la interface serial, regula la secuencia del programa del AVR y el intercambio de datos a los subprocesadores. Los subprogramas de la tarjeta de los subprocesadores adquieren los valores medidos y calculan los valores actuales (procesador C), poseen un regulador de corriente de excitación (procesador B) y la generación de los impulsos de compuerta (procesador A). Entre las posibilidades que ofrecen los programas del regulador se tiene:

- Regulación de voltaje a un valor de voltaje ajustable, usando el subprocesador B como lazo secundario de regulación de corriente (operación automática).

- Compensación de carga activa y reactiva.
- Regulación de corriente de excitación a un valor ajustable manualmente (operación manual). Puesto que ambos modos de regulación (manual y automático) son balanceados de forma continua, es posible hacer una transferencia de un modo a otro sin oscilaciones de voltaje en cualquier momento.
- Regulación de corriente de excitación a un valor de ajuste constante (freno eléctrico).
- Limitador de máxima corriente de excitación (sin retraso), para limitar la máxima corriente de techo de corto tiempo.
- Limitador de máxima corriente de excitación, con retraso dependiente de la sobrecorriente, para limitar la máxima corriente continua admisible.
- Limitador de mínima corriente de excitación (sin retraso), para evitar la operación por debajo de la mínima corriente admisible.

En las siguientes secciones se describirá de una manera más minuciosa el hardware y el software del regulador.

2.1.1.2. Descripción del Hardware

Como se mencionó anteriormente, el regulador se compone de varias tarjetas ubicadas en un bastidor de 19"; en la parte posterior se conectan todas las tarjetas por medio de una tarjeta de circuito impreso, en el caso de que algún módulo requiera una conexión adicional, se la realiza mediante los conectores correspondientes por la parte posterior. A continuación, se presenta una descripción detallada de las tarjetas que componen el regulador:

- Fuente de alimentación: El regulador necesita una alimentación de 24 VCD, la cual es redundante; la primera proviene del voltaje de los tiristores mediante un transformado de voltaje y un diodo rectificador, mientras que la segunda fuente proviene de un banco de baterías.
 - Alimentación a los Circuitos Electrónicos del Regulador: El voltaje de la fuente redundante alimenta el convertidor DC/DC NTG ubicado en la posición A1 de la parte frontal del regulador, para suministrar el voltaje requerido a cada circuito electrónico:

- 5V: alimentación para los grupos funcionales de procesamiento de señales digitales.
- +/-15V: alimentación para los grupos funcionales de procesamiento de señales analógicas.

Estos voltajes llegan a cada tarjeta individual a través de la tarjeta de circuito impreso posterior al armazón; la conexión a tierra por otra parte, se encuentra en la caja metálica del regulador.

- Alimentación de los Amplificadores de impulso: Los amplificadores de impulsos se encuentran cerca de los tiristores, estos requieren una alimentación de 24VCD, la cual se proporciona por medio del voltaje de la fuente redundante que alimenta la tarjeta SAB, mientras que la tierra del sistema de 24VCD se conecta a la tierra del regulador, por ende, a su caja metálica.
- Tarjeta del Procesador principal MRB: En esta tarjeta se encuentra el sistema operativo y el programa principal. La tarjeta cuenta con un procesador Intel 0386DX-25MHz y tanto EPROMs como EEPROMs para los programas y para almacenar los parámetros ajustables respectivamente de una forma segura, incluso cuando la tensión de alimentación falla. MRB puede ser adecuada únicamente en la posición A2. Además, cuenta con una interface serial RS-232C ubicada en su parte frontal, con el objetivo de realizar mantenimientos al conectar una terminal de operación o una PC. La tarjeta también contiene circuitos de supervisión y control, necesarios para la operación sin fallas y para salvar el sistema.

El sistema operativo es monitoreado continuamente (Whatchdog), cuando se presenta un error en el procesador principal, este se reinicia, encendiendo el LED rojo (RESET) y bloqueando la zona exterior de la tarjeta. El error está bloqueado y para restablecer se debe presionar el botón RESTART, desencadenando un reinicio del procesador. Si el interruptor DIP 2 AUTRES está en posición NORMAL, el reinicio se activa automáticamente. De igual manera, cuando el suministro de tensión cae por debajo de los límites permisibles (+5, +15) se bloquea tanto el procesador como su periferia, debido a que el funcionamiento seguro de los circuitos ya no está garantizado. La

tarjeta MRB suministra tensiones de referencia de +5 y +10VCD que se emplean en algunas placas exteriores; estos dos voltajes son monitoreados por subtensiones o sobretensiones, en el caso de producirse un fallo, la señal MRBOK cae y posteriormente IDLE, lo que bloquea todo el hardware.

En la parte frontal de la tarjeta se encuentran 8 DIP-switchs con sus respectivos LEDs indicadores de estado. En operación normal, los interruptores 1,2,3,5,6,8 deben estar a la derecha, es decir, estado NORM, mientras que los interruptores 4 y el 7 a la izquierda, como lo indica la figura 2.1. A continuación se describe tanto lo que indica la posición de los DIP-switchs como los LEDs.

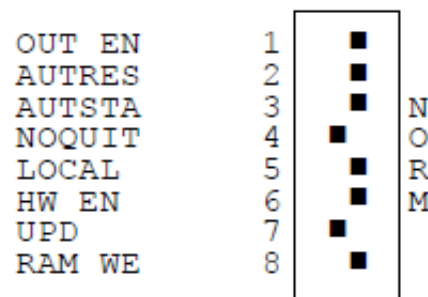


Figura 2.1: Posición de los mini-interruptores en estado normal.

Fuente: (Riha, 2000)

DIP-switchs:

- 1 OUT EN (Habilitar salidas)
 - Posición Izquierda: Todas las salidas de hardware están deshabilitadas (los relés de salida digital están desactivados, las salidas analógicas tienen un valor de 0 V o 0 mA).
 - Posición Derecha: Si el mini interruptor 6 HW EN está en la posición NORM, las salidas están activas mientras se ejecuta el programa del usuario.
- 2 AUTRES (Reposición Automática después de un error del Microprocesador)
 - Posición Izquierda: Después de un error del sistema operativo, el LED RESET se enciende y la condición de error permanece activa hasta que se desconecta la fuente de alimentación; en este caso el hardware permanece bloqueado.

- Posición Derecha: Después de un error del sistema operativo, se inicia automáticamente un “arranque frío” como si se estuviera reconectando la alimentación de voltaje.
- 3 AUTSTA (Arranque automático del programa)
 - Posición Izquierda: El programa del usuario no se inicia después de reconectar la fuente de voltaje, para hacerlo debe introducirse la secuencia “PJ” mediante la interface serie.
 - Posición Derecha: El programa del usuario se inicia automáticamente después de reconectar la fuente de voltaje.
- 4 NOQUIT (Deshabilitar el Paro del Programa del Usuario)
 - Posición Izquierda: El programa del usuario puede detenerse mediante la interface serie cuando se introduce el comando “QUIT”. Además, pueden modificarse los parámetros
 - Posición Derecha: La introducción del comando “QUIT” resulta en un mensaje de error; el programa del usuario no puede detenerse de esta manera. La modificación de los parámetros está deshabilitada.
- 5 LOCAL (Transferencia entre modos LOCAL/REMOTO)
 - Posición Izquierda: Reservada.
 - Posición Derecha: Todos los comandos de entrada son relacionados con la tarjeta MRB, la cual está directamente enlazada a la terminal de operación local.
- 6 HW EN (Habilitar Hardware)
 - Posición Izquierda: Se deshabilitan todas las salidas y se reposicionan todos los subprocesadores.
 - Posición Derecha: El hardware se libera, todas las salidas están activas, si el mini interruptor 1 OUT EN está en la posición NORM.
- 7 UPD (Actualizar)
 - Posición Izquierda: Los valores de ajuste en la EEPROM no pueden modificarse, por lo que los cambios se pierden cuando se arranca el sistema.

- Posición Derecha: Los valores de ajuste almacenados en la EEPROM son comparados continuamente con los parámetros del programa del regulador y actualizados. El LED UPD se enciende durante cada ciclo de escritura.
- 8 RAM WE (Habilitación de Escritura de la RAM)
 - Posición Izquierda: El programa del usuario puede protegerse contra sobreescritura mediante el puente J1 de la tarjeta MRB y el mini interruptor 8 RAM WE en la posición izquierda. Esto evita que se cargue el programa del usuario desde la EPROM y así se destruyan los posibles cambios que se hayan realizado (esto solo es importante si la tarjeta MRB tiene batería).
 - Posición Derecha: Después de reconectar la alimentación o después de una reposición, el programa del regulador se carga de la EPROM a la RAM, donde puede ser ejecutado o modificado.

LEDs:

- RESET: Activo cuando un comando de reposición se ha enviado al procesador principal.
- RUN: Permanece encendido durante la ejecución del programa de usuario.
- HWOK (Hardware OK): Permanece encendido e indica la operación normal del hardware. Se apaga cuando se detiene el programa, cuando ocurren algunos errores descritos en una próxima sección o en el caso de que el interruptor 6 HW EN está a la izquierda.
- UPD (Actualizar): Se enciende durante el proceso de escritura de la EEPROM.
- REM (Remoto): Parpadea cuando ECS 188 está en operación remota.
- POWER: Permanece encendido cuando la alimentación de +5V y +15V es exacta y el botón de reposición (RESET) está inactivo.
- Tarjeta de los subprocesadores PIM: Esta tarjeta cuenta con tres subprocesadores independientes de señales (A, B, C) de Intel con sus respectivos periféricos, cada una desempeña una función específica que va

acorde el software correspondiente. Las posiciones para estas tarjetas van desde A4 a A9, es decir, se pueden utilizar hasta cinco. El intercambio de datos con el procesador principal se realiza a través de tarjetas RAM de doble puerto, las cuales pueden ser usadas por dos procesadores para lectura y escritura. Los subprocesadores pueden trabajar independientemente del procesador principal, es decir, si la tarjeta MRE entra en fallo, la tarjeta PIM puede ser trabajando.

- Unidad de procesamiento de señales SAB: La tarjeta SAB puede funcionar únicamente en conjunto con la tarjeta de subprocesadores PIM.

Desarrolla las siguientes funciones:

- Leer los valores actuales: A través de transformadores de aislamiento se dispone de siete valores medidos, los cuales se utilizan para la regulación y control de compuerta:
 - Voltaje de sincronización (tiristores) US1 (L1-L3)
 - Voltaje de sincronización (tiristores) US2 (L2-L3)
 - Voltaje del estator UG1 (L1-L3)
 - Voltaje del estator UG2 (L2-L3)
 - Corriente del estator IG1 (L1)
 - Corriente del estator IG2 (L2)
 - Corriente de excitación IP1

Los valores físicos medidos son filtrados y convertidos hasta que puedan ser procesados por la tarjeta PIM. Es posible procesar tanto señales monofásicas como trifásicas, estas últimas son procesadas mediante dos canales de medición, mientras que para las monofásicas se emplea el segundo canal correspondiente, sin embargo, la corriente de excitación siempre es transferida como un valor de voltaje mediante un canal.

- Leer 6 valores analógicos libres: Estas pueden ser utilizadas para implementar tareas específicas del usuario. Para el procesamiento las señales CA o CD deben conectarse mediante transformadores de aislamiento externos y son procesadas por los circuitos de entrada, el divisor de voltaje, el rectificador con "off-set", el filtro pasa bajos y

convertidas en señales de 0 a +5 VCD. El software identifica las seis entradas analógicas por medio de las variables V511 (ANA1) a V516 (ANA6).

- Generar los impulsos de compuerta: Los impulsos de compuerta necesarios para controlar los tiristores de los rectificadores de potencia, se amplifican a través de la tarjeta SAB y se suministran a los amplificadores de impulsos junto con el voltaje auxiliar de +24 VCD, mediante el conector ubicado en la parte superior del panel frontal. Se dispone de un total de seis impulsos. Los puentes rectificadores de tiristores solamente pueden conectarse en paralelo cuando se usan los amplificadores de impulsos. Los impulsos de compuerta pueden inhibirse cuando se usa un relé de bloqueo de impulsos en la tarjeta.
- Habilitar la operación de ajuste manual: Los interruptores de del panel frontal habilitan la operación de ajuste manual; cuando el interruptor "HST" se coloca en la posición 1, controlar el ángulo de disparo de los tiristores manualmente se hace posible mediante la tecla "+/-". El ajuste realizado al ángulo de disparo puede medirse en el terminal "U" (0-5V corresponde a 0-180°). Durante la operación de ajuste manual, el relé de bloqueo de compuerta esta inactivo y los impulsos son disparados independientemente de la posición del relé de bloqueo de compuerta.
- Tarjeta de Valores Actuales IWK: Esta tarjeta contiene los dispositivos necesarios para acondicionar y aislar un máximo de ocho valores analógicos. Las señales externas se conectan a la terminal de conexiones de la tarjeta IWK mientras que las señales internas son alambradas a la tarjeta SAB para su posterior procesamiento. Los principales componentes de la tarjeta IWK son los siguientes:
 - 2 TPs para los voltajes de sincronización (tiristor) US1 y US2.
 - 2 TPs para el voltaje del estator UG1 y UG2.
 - 2 TCs para la corriente del estator IG1 e IG2.
 - 2 TCs y un rectificador para la corriente de excitación IP1 (medida del lado de CA del puente de tiristores) o como alternativa un convertidor

DC/DC para alimentar un transformador de efecto Hall para medir la corriente IP1 en el circuito de campo de una máquina excitatriz.

- 1 TP opcional para el voltaje de la red UN.

Cuatro de las seis entradas analógicas disponibles (ANA1, ANA4, ANA5, ANA6) son pasadas a través de la tarjeta IWK sin mayor procesamiento. Una entrada (ANA2) se reserva para la conexión del voltaje de la red y otra (ANA3) se reserva para la corriente de campo (medida con un transformador de efecto Hall).

- Tarjeta de Entradas Digitales DE32: Posee 32 entradas digitales, las mismas que pasan a través de opto acopladores y anunciadas por LEDs individualmente. Todas las conexiones son alambradas a las terminales de conexiones mediante un conector ubicado en la parte frontal. El voltaje de operación es 24 VCD (15 a 36 VCD). En su configuración básica, el regulador es equipado con una tarjeta DE32, sin embargo, puede instalarse un máximo de 16 tarjetas (posición A4-A19). El software identifica las entradas mediante las variables E0 a E31, en el caso de existir más, serán identificadas por el nombre secuencial.
- Tarjeta de Salidas Digitales DA32: Posee 32 salidas digitales, las mismas que pasan a través de relés instalados en la tarjeta y anunciadas por LEDs individualmente. Todas las conexiones son alambradas a las terminales de conexiones mediante un conector ubicado en la parte frontal. El voltaje de operación de los relés es 24 VCD. En su configuración básica, el regulador es equipado con una tarjeta DA32, sin embargo, puede instalarse un máximo de 16 tarjetas (posición A4-A19). El software identifica las entradas mediante las variables A0 a A31, en el caso de existir más, serán identificadas por el nombre secuencial.
- Tarjeta de Entradas Analógicas AE8: No es una tarjeta muy utilizada, cuenta con 8 entradas analógicas con diferentes amplificadores que pueden configurarse individualmente como entradas de corriente o entradas de voltaje. Las señales de entrada pueden ser medidas en el panel frontal a través de terminales de prueba disponibles. Puede instalarse un máximo de 16 tarjetas de entrada (posiciones A4 a A19, según se requiera). El software identifica las

entradas de la primera tarjeta mediante las variables X0 a X7, las entradas adicionales son numeradas de forma consecutiva (X8 en adelante). Las entradas analógicas tienen una resolución de 12 bits.

- Tarjeta de Salidas Analógicas: No es una tarjeta muy utilizada, cuenta con 8 salidas analógicas que pueden configurarse individualmente como salidas de corriente o de voltaje. Todas las salidas comparten una tierra común. Las señales de salida pueden ser medidas en el panel frontal a través de terminales de prueba disponibles. Puede instalarse un máximo de 16 tarjetas de salida (posiciones A4 a A19, según se requiera). El software identifica las entradas de la primera tarjeta mediante las variables Y0 a Y7, las entradas adicionales son numeradas de forma consecutiva (Y8 en adelante).

2.1.2.2. Descripción del Software

El software se compone de los siguientes elementos:

- Sistema Operativo con editor y funciones de monitoreo
- Programa del regulador con ajuste específico de la planta
- Subprogramas para los subprocesadores

Como se mencionó anteriormente en la descripción del hardware, el sistema operativo y el programa del regulador se ejecutan en el procesador principal, tarjeta MRB. Los subprocesadores de la tarjeta PIM ejecutan de manera independiente funciones que el procesador principal no, por razones de tiempo. Todos los programas se almacenan en EPROMs y los parámetros de medida en EEPROMs para ser modificados cuando se requiera. A continuación, se describirá cada uno de los elementos del software del regulador:

- Sistema Operativo ECS: Se ejecuta en el procesador principal MRB. Entre las funciones que cumple el sistema operativo tenemos: la coordinación del programa principal del regulador, proporciona la conversión de entradas y salidas, el intercambio de datos con los subprocesadores y mediante el puerto serial de la tarjeta MRB, facilita la comunicación con el regulador.

El regular puede ser programado utilizando un lenguaje de bloques funcionales, el cual permite que los módulos se conecten a través de una lista de enlace formando de esta manera, el programa del usuario. El sistema operativo incluye

una biblioteca de módulos con un gran número de módulos analógicos y digitales, con tiempos de ejecución optimizados, que facilitan la implementación de tareas de regulación y control.

- Control de la ejecución del programa: La ejecución del programa tiene intervalos de tiempo definidos para una buena regulación. Existen tres tiempos, el tiempo que dura la ejecución del programa, el tiempo de espera y el tiempo del ciclo del programa, como lo muestra la Figura 2.2.

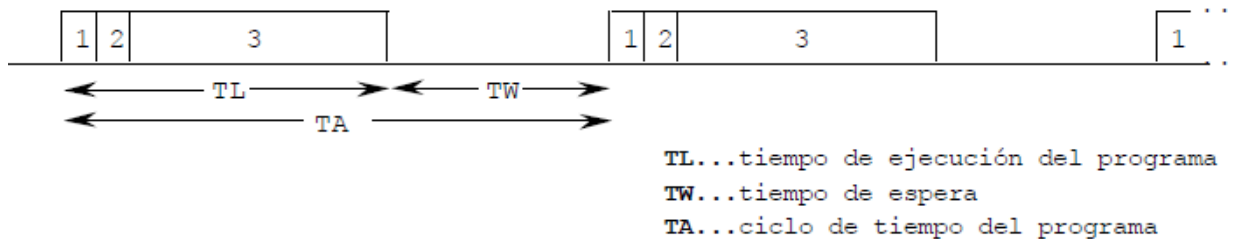


Figura 2.2: Descripción de la ejecución del programa.

Fuente: (Riha, 2000)

La secuencia que se sigue es la siguiente:

- Lectura de señales de entrada
- Ajustes de las salidas (de acuerdo a los resultados del ciclo previo)
- Ejecución del programa (los valores resultantes para las salidas se ajustan en el siguiente ciclo)

Para la ejecución de programas individuales, estos pueden dividirse hasta en ocho tareas con prioridades distintas, es decir, la tarea con mayor prioridad se ejecutará primero, incluso, pueden interrumpir a las tareas con menor prioridad, por ende, varias tareas pueden ser ejecutadas en forma “casi paralela”.

- Clases de Variables y su Formato de Representación: Las variables del sistema se diferencian por sus rangos y su forma de representación de acuerdo a su área de aplicación. El software utiliza nueve clases de variables y tres formatos de representación.

Clases de variables:

- Variables Digitales
 - E: variables digitales de entrada (tarjeta DE32)
 - A: variables digitales de salida (tarjeta DA32)
 - I: variables digitales internas (variables de conexión)
 - C: constantes digitales internas
- Variables Analógicas
 - X: variables analógicas de entrada (tarjeta AE8)
 - Y: variables analógicas de salida (tarjeta AA8)
 - V: variables analógicas internas (variables de conexión)
 - P: constantes analógicas internas
- Constantes de tiempo
 - T: constantes de tiempo internas

Formas de representación:

- Variables/Constantes Digitales (E, A, I, C): L ("Low", bajo, 0) y H ("High", alto, 1). Si aparece un valor "U" existe un fallo en el hardware.
- Variables parámetros analógicos (X, Y, V, P): Los valores V y P pueden ir desde -16 a +15.995, mientras que para los valores X e Y, es necesaria la siguiente conversión:
 - -1.000 es el límite negativo del rango (p.e. -10V, -20mA)
 - 0.000 es 0V, 0mA
 - +1.000 es el límite positivo del rango (p.e. +10V, +20mA)

El rango de las tarjetas analógicas se ajusta mediante jumpers ubicados en la tarjeta; si se ajusta un valor de +2.0000 para una salida analógica, esta dará únicamente la salida del límite positivo del rango (p.e. +10V, corresponde al voltaje de techo de los amplificadores operacionales).

- Constantes de tiempo (T): 0 a 65535 (formato decimal)

- Representación interna de Variables en el Sistema Operativo: En el caso de las variables digitales E, A, I, C, son representadas por "bytes"; 0 y 255 corresponden a los valores lógicos L y H, respectivamente, en el caso de existir otro valor es mostrado como no definido "U".

Las variables analógicas X, Y, V, P y T son representadas internamente por "palabras" (de 16 bits). En la interface de servicio (terminal de operación local o PC) los parámetros X, Y, V y P son mostrados en "p.u." (por unidad, p.e. +01.0000) y los parámetros T en formato decimal (p.e. 30100).

- Áreas de memoria: La memoria de trabajo (RAM) del sistema se divide en tres áreas numeradas como 0, 1 y 2. Las áreas 0 y 1 están asignadas al programa del regulador y el área 2 a las variables y los ajustes de los parámetros. Durante el reinicio del sistema (reposición o falla de voltaje) se verifica que esté disponible un programa ejecutable en la memoria EPROM del sistema; en caso afirmativo, se carga el programa del regulador (de la EPROM) y los ajustes de los parámetros (de la EEPROM) en las áreas de memoria de trabajo correspondientes; en caso negativo, se reporta un mensaje de error que puede ser evaluado en la terminal de operación local o en una PC.
- Programa principal del regulador: El regulador permite la operación automática o manual. Su estructura se ha implementado como un regulador de voltaje con dos lazos de control (maestro – esclavo) y regula el voltaje del generador o motor a un valor ajustable.

El primer lazo (regulación de voltaje) consiste de un regulador PI(D) con un integrador en la retroalimentación, que controla el segundo lazo (regulación de corriente del rotor) con característica P(I). La estructura anterior, proporciona alta velocidad de control, así como también, alta estabilidad en todos los puntos de carga. Un gran número de limitadores y reguladores adicionales, algunos de los cuales son opcionales, permiten un alto grado de ajuste para cubrir cualquier requerimiento.

El programa del regulador principal es ejecutado por el procesador principal de la tarjeta MRB, y fue programado usando los módulos incluidos en la biblioteca

del sistema operativo ECS. El programa del regulador incluye el lazo de control de voltaje, los limitadores y reguladores adicionales, así como también la secuencia de control lógico y las funciones de supervisión, las cuales son necesarias para una operación sin fallas del sistema de excitación. El lazo secundario de corriente de excitación es un componente del subprograma del subprocesador de la tarjeta PIM. Las diferentes funciones se activan de acuerdo a los requerimientos concretos de la planta.

El programa principal se divide en 8 tareas y las variables en grupos de números como se puede observar en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: División de tareas del programa principal del regulador

Nº de tarea	Tiempo de ciclo	Componente del programa
1	2ms	Regulador de voltaje
2	4ms	Limitador de corriente de campo sin retraso
3	20ms	Limitador del ángulo de carga
4	50ms	Otros limitadores
5	50ms	Supervisión de valores analógicos Procesamiento de señales analógicas específicas del sitio
6	50ms	Control lógico
7	100ms	Generación de los valores de ajuste Regulación de carga reactiva Mensajes de operación del regulador Mensajes de error
8	500ms	Modificación de parámetros Conversión de la base de tiempo

Fuente: (Riha, 2000)

- Subprogramas del regulador: Existen funciones que no pueden ser desempeñadas por el procesador principal, para lo cual existen los subprocesadores de la tarjeta PIM, tres por cada una. Entre estas funciones tenemos: calcular los valores actuales, regular la corriente de campo y generar los impulsos de compuerta. La comunicación entre los subprocesadores y el procesador principal se logra mediante las RAM de doble puerto. Un conjunto

de parámetros y variables sirve para configurar y supervisar los diferentes subprogramas.

- Generación de impulsos de compuerta, Operación de ajuste manual: El control de compuerta consiste de un procesador A junto con los circuitos correspondientes de la tarjeta PIM y los circuitos de entrada y salida de la tarjeta SAB y es aplicable a sistemas trifásicos (6 tiristores) y sistemas monofásicos (4 tiristores). El procesador A calcula los impulsos de compuerta para los puentes rectificadores.
- Regulación de corriente de excitación, entradas analógicas disponibles: El algoritmo de regulación del regulador de voltaje Thyne4 incluye un lazo secundario de regulación de corriente de excitación, el cual puede ser usado con propósitos de operación manual. Este lazo con característica P(I) está implementado en el subprocesador B. El comportamiento proporcional e integral puede ser activado o desactivado de forma individual. El valor de ajuste de la corriente de excitación viene del procesador principal. El valor medido de la corriente de excitación es filtrado en la tarjeta SAB y transformado, mediante un oscilador controlado por voltaje (VCO), en una frecuencia que está en proporción directa al valor instantáneo de corriente. Los impulsos de esta frecuencia son contados en un módulo contador del subprocesador PIM y evaluados periódicamente por el procesador. El valor de la corriente de excitación, determinado de esta manera, es filtrado mediante un filtro pasa bajos de primer orden (PT1) con constante de tiempo ajustable y suministrado al algoritmo de regulación como el valor actual. La salida del regulador es el ángulo de disparo, el cual es transferido al control de compuerta del procesador A. El algoritmo de regulación del procesador B corre de forma sincronizada con el procesador A y tiene por lo tanto el mismo tiempo de ciclo.

Por medio de los parámetros de entrada se pueden configurar varios modos de operación:

- Regulación PI, los componentes P e I pueden ajustarse individualmente

- Regulación P, el componente P puede ajustarse ($I = 0$)
- Cargar el integrador con un preajuste
- Ajuste del ángulo de disparo directamente por el procesador principal

Entradas analógicas disponibles: La tarjeta SAB tiene 6 entradas analógicas disponibles que son usadas para tareas específicas del sistema. Cada valor analógico es transformado en la tarjeta SAB en una señal de 0 a 5 V. El subprocesador B lee estas entradas analógicas con una resolución de 10 bits, adicionalmente, las señales son filtradas (filtro pasa bajos de primer orden PT1) y enviadas al procesador principal mediante la RAM de doble puerto. Las constantes de tiempo de los filtros pueden ser ajustadas individualmente.

- Medición y Calculo de valores actuales: El procesador C calcula los valores requeridos para regulación y opcionalmente para la estabilización del sistema de potencia (voltaje, corriente, frecuencia, ángulo del rotor, potencia, señal de estabilización) de las cantidades medidas del generador. El método de cálculo permite hacer cálculos monofásicos o trifásicos (rotación positiva o negativa) y cubre un amplio rango de frecuencia. Se dispone de los valores medidos indicados a continuación:
 - Sistemas trifásicos con medición trifásica: voltajes de estator $UG1$ (L1-L3), $UG2$ (L2-L3), corrientes de estator $IG1$ (L1), $IG2$ (L2)
 - Sistemas trifásicos con medición monofásica: voltaje de estator $UG1$ (L1-L3), corriente de estator $IG2$ (L2)
 - Sistemas monofásicos: voltaje de estator $UG1$, corriente de estator $IG1$

Los valores medidos son filtrados en la tarjeta SAB y transformados, mediante un oscilador controlado por voltaje (VCO), en una frecuencia que está en proporción directa con su valor instantáneo. Los impulsos de esta frecuencia son contados en un módulo contador del

subprocesador PIM y evaluados periódicamente por el procesador. Este proceso es equivalente a una integración de los valores medidos.

- Paquete de Software WINOPER: Para la operación, mantenimiento y diagnóstico está disponible el paquete de software WINOPER. Es compatible con una pantalla gráfica en una PC estándar. Por lo tanto, las instalaciones de la pantalla LC integrada son considerablemente ampliadas. La PC simplemente se conecta a la placa del procesador GMR3 a través de la interfaz serial RS232. WINOPER permite el monitoreo o cambio de parámetros específicos de la planta. Los parámetros modificados se pueden almacenar en una EEPROM.

En el Anexo 1 se adjuntan los datos técnicos del Regulador de Voltaje Thyne4.

2.1.2. Levantamiento de Campo del Tablero de Excitación de las Unidades de Generación I y II de la Central Hidroeléctrica Ocaña

Para una descripción detallada del estado tanto físico como funcional de los tableros de excitación de las unidades de generación I y II de la Central Ocaña se presentará un análisis por separado de los dos grupos de características (físicas y operacionales); sin embargo, en cada descripción se estudiará a los dos tableros debido a que únicamente difieren en cuestión de etiquetado y en un conversor de 125/24 Vcc.

2.1.2.1. Estado físico de los tableros de excitación de las unidades de generación I y II

En la Figura 2.3 se puede observar la parte externa de los tableros, es decir, su disposición frontal; en donde aparece tanto el AVR como otros equipos de protección y medida que se encuentran ubicados en el tablero.

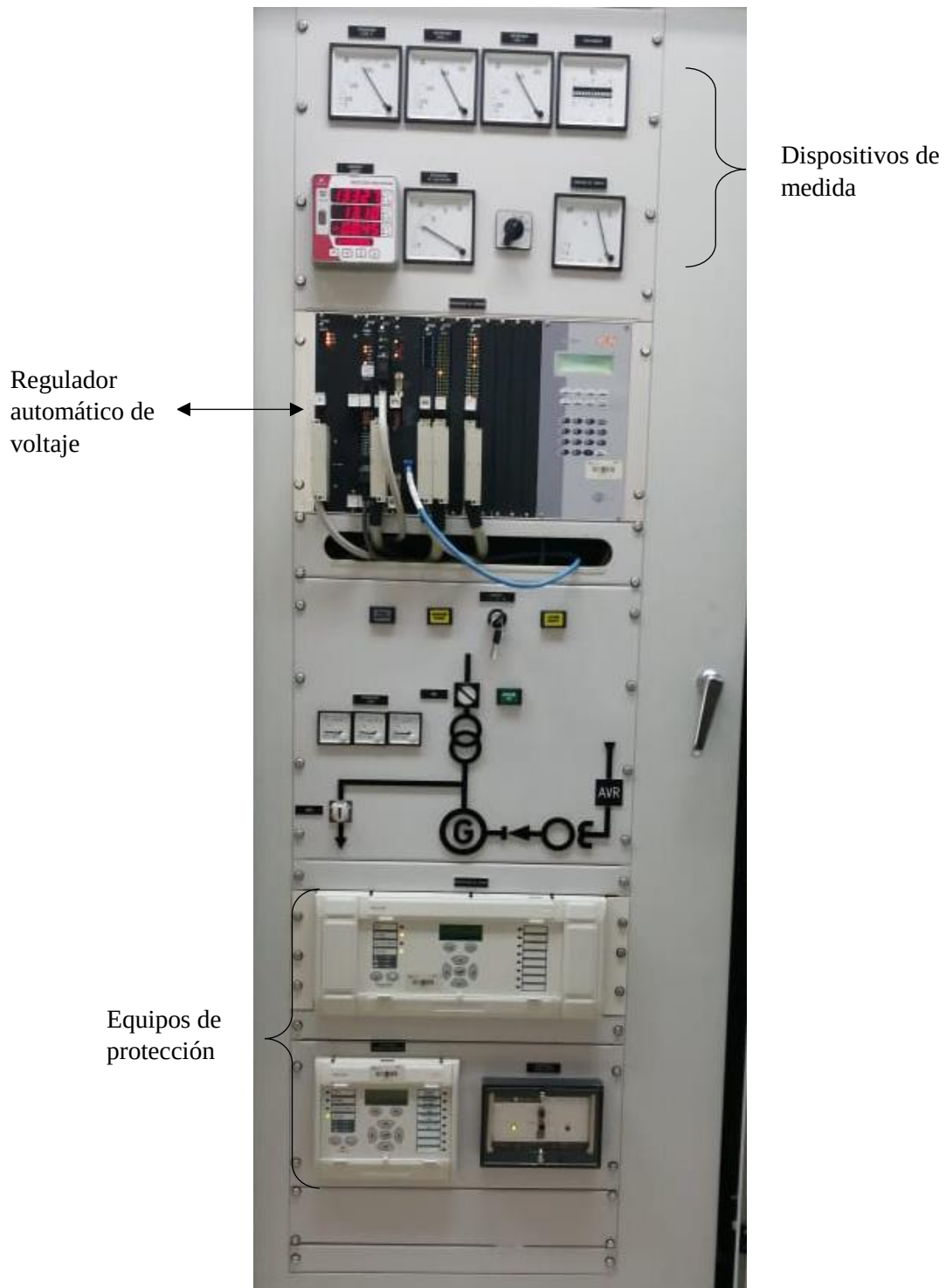


Figura 2.3: Disposición frontal de los tableros de excitación, protección y medida de las dos unidades de generación.

Fuente: Autor.

La Figura 2.4 muestra la parte posterior de la figura anterior, es decir, todas las conexiones de los equipos que se encuentran en dicha ubicación.

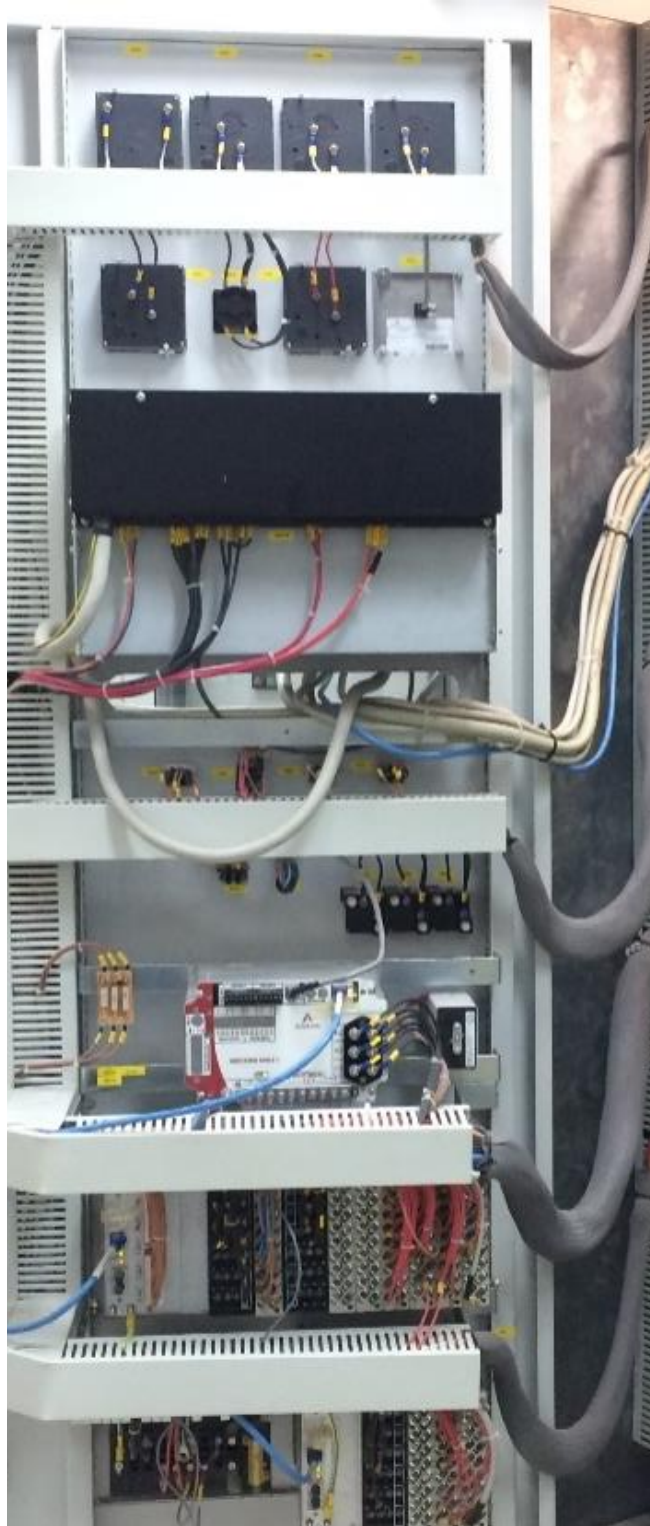


Figura 2.4: Parte posterior de la puerta del tablero de excitación.

Fuente: Autor.

Por otro lado, la Figura 2.5 brinda una visión general de toda la parte interna del tablero, es decir, la parte frontal y los laterales.



Figura 2.5: Visión general de la parte interna del tablero de excitación.

Fuente: Autor.

Partiendo desde lo macro a lo micro, se puede observar en la Figura 2.6 algunos componentes puntuales que se encuentran en el interior de los tableros.



Figura 2.6: Componentes varios de los tableros de excitación.

Fuente: Autor.

Otra parte importante del estado físico del tablero es el etiquetado de cada conexión, el cual, se encontró de dos maneras, como se muestra en la Figura 2.7 (a) con etiquetas impresas, mientras que en la Figura 2.7 (b) se puede observar que las etiquetas se encuentran escritas con esferográfico.

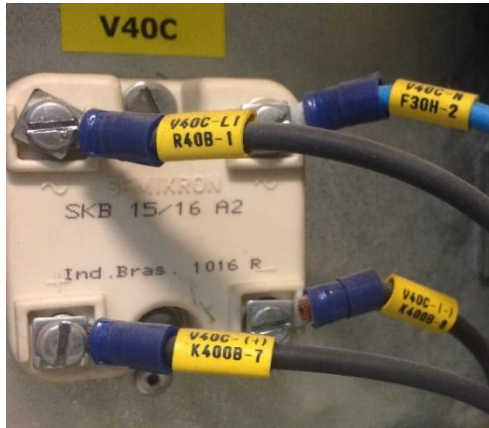


Figura 2.7 (a): Etiqueta impresa.

Fuente: Autor.

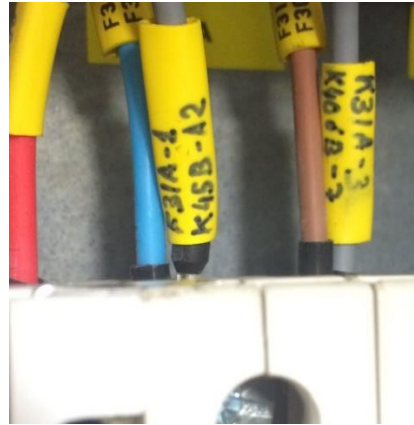


Figura 2.7 (b): Etiqueta escrita con esferográfico.

Fuente: Autor.

Además, ciertas etiquetas escritas con esferográfico se encontraron como se muestra en la Figura 2.8 (a), las cuales fueron corregidas como se observa en la Figura 2.8 (b).



Figura 2.8 (a): Etiqueta ilegible.

Fuente: Autor.



Figura 2.8 (b): Etiqueta Corregida.

Fuente: Autor.

Las etiquetas que resultaron ilegibles y fueron reemplazadas por unas nuevas se encuentran identificadas a detalle en los Anexos 2 y 3, los cuales corresponden a los tableros de excitación de las unidades de generación I y II, respectivamente.

2.1.2.2. Estado funcional del tablero de excitación de las unidades de generación I y II

Para un análisis detallado de los tableros, se dividió a estos en cuatro partes, la primera parte resulta de todas las conexiones que se encuentran en la puerta de los tableros, la segunda parte la comprenden todos los elementos ubicados en la parte frontal cuando la puerta está abierta y, finalmente, la tercera y la cuarta parte corresponden a los componentes ubicados en los laterales de los tableros, es decir, izquierdo y derecho, respectivamente.

Cada tablero cuenta con 119 dispositivos electrónicos, dando como resultado 931 conexiones en el caso del tablero de excitación I y 934 para el tablero de excitación II, sin considerar con las borneras. El proceso que se llevó a cabo para realizar el levantamiento se dividió en dos partes, la primera parte fue realizar una base de datos con todos los equipos y componentes electrónicos que se encuentran en el tablero de manera presencial, mientras que la segunda, consistió en comprobar todas las conexiones de dichos equipos con el plano eléctrico del tablero.

El levantamiento completo y detallado de todas las conexiones y equipos presentes en los dos tableros de excitación se encuentran en el Anexo 2 para el tablero 1 y en el Anexo 3 para el tablero 2. Los dos Anexos constan de cuatro secciones, cada una representa una parte del tablero tal como se mencionó anteriormente. Para un futuro análisis, cada levantamiento está estructurado en 10 columnas, una descripción detallada de cada columna se puede apreciar en la Tabla 2-2; se consideraron, además, tres colores diferentes para identificar el problema que presenta una conexión o si su estado es correcto. Los colores y lo que representan se muestran en la Tabla 2-3.

Tabla 2-2: Descripción de cada columna de la base de datos

Número de la columna	Nombre de la columna	Representación
1	Nº	Numero de equipo o componente
2	Conexión	Numero de conexión
3	Equipo	Tipo de componente
4	Nombre	Nombre del equipo o componente en el tablero
5	Etiqueta O	Etiqueta de origen de dicha conexión del componente
6	Etiqueta D	Etiqueta de destino de dicha conexión del componente
7	Observación	Problema que presenta dicho componente o conexión
8	Estado	Si el problema ha sido resuelto o la acción que se sugiere tomar.
9	Página O	Página de la etiqueta de origen de la conexión de dicho componente en el plano del tablero
10	Página D	Página de la etiqueta de destino de la conexión de dicho componente en el plano del tablero

Fuente: Autor.

Tabla 2-3: Significado de colores en las bases de datos

Color	Especificación	Acción	Gravedad
	Conexión de dicho componente electrónico se encuentra de igual manera en el plano y en el tablero.	Ninguna	Ninguna
	Etiqueta del componente incongruente entre el plano y el tablero o en mal estado	Necesita un nuevo etiquetado	Media
	Conexión de dicho componente no se encuentra o en el tablero o en plano.	Necesita comprobación y posteriormente una actualización.	Alta

Fuente: Autor.

2.2. LEVANTAMIENTO DE CAMPO DE LA UNIDAD DE GENERACIÓN II DE LA CENTRAL SAUCAY

La Central Hidroeléctrica Saucay posee cuatro grupos de generación, de los cuales se ha escogido al número dos para realizar el levantamiento de campo. En la siguiente sección se presenta una descripción del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 y posteriormente los datos y observaciones obtenidas al realizar el levantamiento de campo en la Central.

2.2.1. Descripción del Regulador Automático de Voltaje

El Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 proporciona mediante un paquete compacto el debido control de excitación y diferentes protecciones para un generador o motor síncrono. La versatilidad de DECS-250 para varias aplicaciones se logra a través de entradas y salidas de contacto configurables, capacidad de comunicación flexible, y lógica programable implementada con el software BESTCOMSPlus.

Entre las características y funciones del DECS-250 se tiene las siguientes:

- Cinco modos de control de excitación:

- Regulador Automático de Tensión (AVR)
- Regulador de Corriente de Campo (FCR)
- Regulador de Tensión de Campo (FVR)
- Regulación del Factor de Potencia (PF)
- Regulador Var (var)
- Dos grupos de estabilidad PID con característica Auto Tune
- Medición en tiempo real
- Sincronizador automático opcional
- Arranque suave y control de tensión de cebado de campo
- Cinco funciones limitantes:
 - Sobreexcitación: punto de suma y toma de control
 - Subexcitación
 - Corriente del estator
 - Energía reactiva (var)
 - Subfrecuencia
- Veinte funciones de protección:
 - Baja tensión del generador (27)
 - Sobretensión del generador (59)
 - Pérdida de medición (LOS)
 - Sobrefrecuencia (81O)
 - Subfrecuencia (81U)
 - Potencia inversa (32R)
 - Pérdida de excitación (40Q)
 - Sobretensión de campo
 - Sobrecorriente de campo
 - Pérdida de PMG
 - Falla del diodo excitador
 - Verificación del Sincronizador (25)
 - Ocho elementos de protección configurables
- Dieciséis entradas de contacto medidas
 - Dos entradas con función fija: Iniciar y Detener

- Catorce entradas programables
- Doce salidas de contacto
 - Una salida con función fija: Watchdog
 - Once salidas programables
- Comunicación flexible
 - Comunicación serial a través del panel frontal del puerto USB
 - Comunicación Modbus a través del puerto RS-485 o Modbus TCP
 - Comunicación Ethernet a través de un puerto opcional de cobre o fibra óptica
 - Comunicación CAN con una ECU (Unidad de Control de Motor), con un Módulo de Expansión Analógico AEM-2020 opcional, o un Módulo de Expansión de Contacto CEM-2020 opcional
 - Protocolo de comunicación PROFIBUS opcional
- Registro de datos, grabación de secuencia de eventos y tendencias

DECS-250 controla la salida del generador mediante la aplicación de potencia de excitación regulada en el campo de la excitatriz. El nivel de potencia de excitación de corriente continua se basa en el voltaje y corriente monitoreados del generador y el punto de ajuste de regulación establecido por el usuario. La potencia de excitación del DECS-250 se suministra a través de un módulo de conmutación de potencia filtrado, el cual utiliza modulación por ancho de pulso.

El paquete compacto del DECS-250 ofrece todos los componentes para el control de excitación y potencia. Una parte importante es la pantalla de cristal líquido (LCD) con diodos LEDs y botones, la cual sirve como panel frontal HMI proporcionando anuncios locales y control. Los anuncios remotos y el control, por otra parte, se proporcionan a través de una interface de comunicación que puede ser Ethernet, Modbus y otras alternativas opcionales.

En las próximas secciones se describirá el hardware del sistema de control digital al igual que su software.

2.2.1.1. Controles e Indicadores

Los controles e indicadores se encuentran en el panel frontal como: botones, indicadores LEDs y una pantalla LCD. En la Figura 2.10 se puede observar el panel frontal con los controles e indicadores, mientras que en la Tabla 2-4 la descripción de cada uno de los localizadores presentes en la figura.

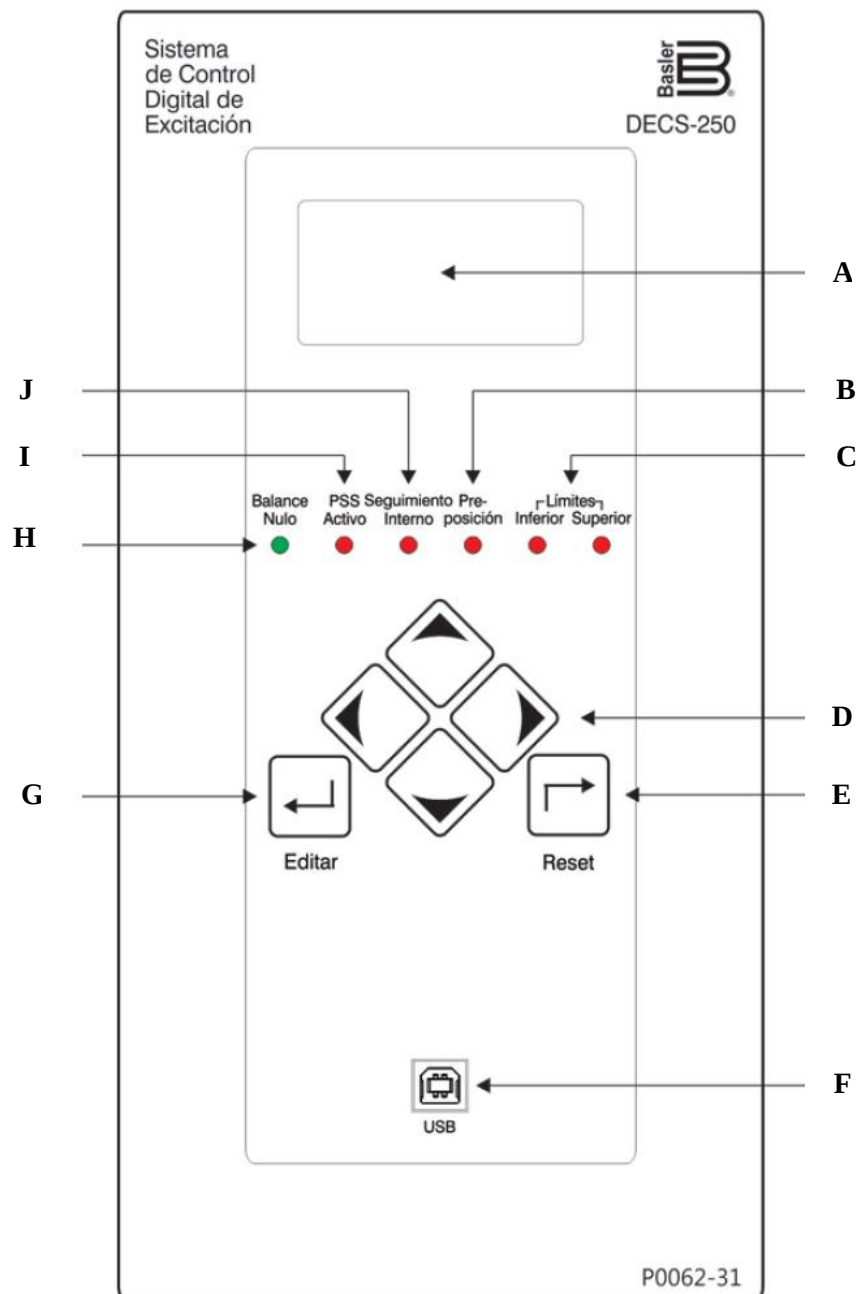


Figura 2.9: Controles e indicadores del panel frontal.

Fuente: (Basler Electric, 2015)

Tabla 2-4: Descripción de controles e indicadores del Panel Frontal

Localizador	Descripción
A	Visualizador: La pantalla LCD de 128x64 pixeles muestra caracteres blancos sobre un fondo azul. Puede visualizar consignas de funcionamiento, ganancias de lazo, medición, funciones de protección, parámetros del sistema y ajustes generales, es decir, sirve como fuente local de la información proporcionada por el DECS-250.
B	Indicador de Pre-posición: LED de color rojo que se enciende cuando la consigna de modo activo está en cualquiera de las tres preposiciones de la configuración.
C	Indicadores de límites: Dos LEDs rojos indican que la consigna de modo activo ha alcanzado un valor máximo o mínimo.
D	Botones de desplazamiento: Sirven para desplazarse hacia arriba, abajo, izquierda y derecha a través de la pantalla LCD.
E	Botón de Reset: Cancela las sesiones de edición, reestablece los avisos de la alarma y relés de alarmas retenidos y puede utilizarse para un acceso rápido a la pantalla de medición.
F	Puerto de comunicación: Conector de USB de tipo B, sirve para conectar el DECS-250 a una PC que opera con el software BESTCOMSPlus para la comunicación local.
G	Botón editar: Permite cambios en los ajustes del DECS-250.
H	Indicador de Balance Nulo: LED verde que se enciende cuando la consigna de modos de funcionamiento inactivo (AVR, FCR, FVR, var, y PF) coincide con la consigna del modo activo.
I	Indicador PSS Activo: LED rojo que se enciende cuando el estabilizador del sistema de potencia integrado está habilitado y puede generar una señal de estabilización en respuesta a una perturbación del sistema de potencia.
J	Indicador de Seguimiento Interno: Este LED rojo se enciende cuando cualquier modo inactivo está siguiendo la consigna del modo activo para alcanzar una transferencia sin perturbaciones cuando se cambien los modos activos.

Fuente: (Basler Electric, 2015)

2.2.1.2. Entradas y Etapa de Potencia

Existen dos entradas de potencia: potencia de control y potencia de funcionamiento. La primera suministra energía a una fuente de potencia interna que proporciona energía para funciones lógicas, protecciones y control. Por otro lado, la etapa de potencia utiliza la entrada de potencia de funcionamiento como la fuente para la potencia de excitación convertida que se aplica al campo.

- **Potencia de Control:** El DECS-250 se abastece con potencia de control por dos entradas; cada una acepta un tipo de potencia, ya sea CC o CA. Existen dos niveles de potencia de control definidos por el número de estilo⁸. El estilo L indica una tensión nominal de 24 o 48 Vcc y acepta un rango de tensión de 16 a 60 Vcc; por otra parte, el estilo C indica una tensión nominal de 125 Vca/Vcc y acepta un rango de tensión de 90 a 150 Vcc y 82 a 132 Vca (50/60Hz). La potencia de control para la entrada CA necesita un transformador de aislamiento, la cual se conecta a los terminales L y N, mientras que la potencia de control CC se conecta a los terminales +BATT y – BATT.
- **Potencia de Funcionamiento:** Se aplica a los terminales A, B y C. Para alcanzar el nivel de excitación deseado, se debe aplicar el voltaje de entrada apropiado de la potencia de funcionamiento. En la Tabla 2-5 se puede observar los rangos de voltaje de la potencia de funcionamiento permitidos para el DECS-250, siendo una frecuencia de 50 a 500 Hz para todos los voltajes.

Tabla 2-5: Especificaciones de la Potencia de Funcionamiento en DECS-250

Voltaje Nominal de Potencia de Excitación Deseada	Rango de voltaje de la Potencia de funcionamiento aplicada
32 Vcc	56 a 70 Vca
63 Vcc	100 a 139 Vcc, o 125 Vcc
125 Vcc	190 a 277 Vcc, o 250 Vcc

Fuente: (Basler Electric, 2015)

⁸ Número de estilo: Conjuntamente con el número de modelo describen las opciones y características de un dispositivo en específico y aparecen en una etiqueta pegada en dicho dispositivo (Basler Electric, 2015)

- **Etapa de Potencia:** El DECS-250 suministra potencia de excitación a los terminales +F y -F de la corriente continua regulada del devanado de campo de un excitador sin escobillas. La potencia de funcionamiento en la etapa de potencia puede aceptar una potencia mono o trifásica CA de un transformador, esta potencia se aplica a los terminales A, B y C, mientras el terminal GND se conecta a tierra. DECS-250 suministra la potencia de excitación por medio de un módulo de potencia de conmutación filtrado que utiliza modulación por ancho de pulso. Es capaz de suministrar 15 Acc continuamente a voltajes nominales de 32, 63 o 125 Vcc. Con un voltaje de funcionamiento nominal aplicado, tiene una capacidad forzada de 30 Acc por 10 segundos. Los niveles de potencia de funcionamiento nominal del DECS-250 incluyen un requerimiento de campo de excitación continua de 60 Vca para 32 Vcc, 120 Vca o 125 Vcc para un requerimiento de 63 Vcc, o 240 Vca o 250 Vcc para un requerimiento de 125 Vcc.

2.2.1.3. Medición de Tensión y Corriente

El DECS-250 mide la tensión del generador, corriente del generador y tensión del bus a través de entradas dedicadas y aisladas.

- **Tensión del generador:** La medición de tensión del generador trifásico se aplica a los terminales E1, E2 y E3 del DECS-250. Esta medición de tensión se aplica típicamente a través de un transformador de voltaje suministrado por el usuario, pero también puede aplicarse directamente. Estos terminales aceptan conexiones trifásicas y de tres hilos a los terminales E1 (A), E2 (B) y E3 (C) o conexiones monofásicas en E1 (A) y E3 (C). La medición de la entrada de tensión del generador acepta un voltaje máximo de 600 Vca y tiene una carga de menos de 1 VA. La tensión del devanado primario y secundario del transformador se introduce en los ajustes que utiliza el DECS-250 para interpretar la medición del voltaje aplicado y calcular los parámetros del sistema. La medición de rotación de fase de tensión del generador puede configurarse como ABC o ACB. Las conexiones típicas de la medición de tensión del generador se pueden observar en la Figura 2.11.

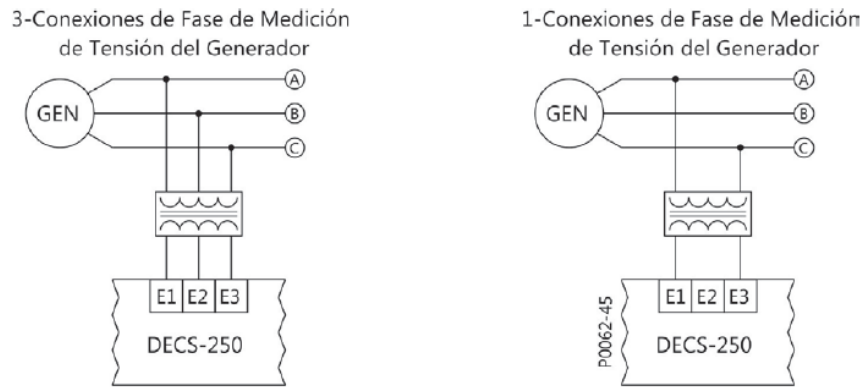


Figura 2.10: Conexiones típicas de medición de tensión del generador.

Fuente: (Basler Electric, 2015)

- Corriente del generador: La medición de entradas de corriente del generador consiste en la medición de las tres entradas de fase y una medición de entrada de compensación de corriente cruzada.
 - Medición de Fase: La medición de corriente del generador trifásico se aplica a los terminales CTA+ y CTA-, CTB+ y CTB-, y CTC+ y CTC- del DECS-250 a través de transformadores de corriente (TC) suministrados por el usuario, mientras que la medición de corriente del generador monofásico se aplica a los terminales CTB+ y CTB-. El DECS-250 es compatible con los TC que tienen valores nominales secundarios de 5 Aca o 1 Aca, ya que utiliza este valor secundario junto con los valores nominales primarios del TC para interpretar la corriente medida y calcular los parámetros del sistema. Las conexiones típicas de la medición de la fase de corriente del generador se pueden observar en la Figura 2.12.

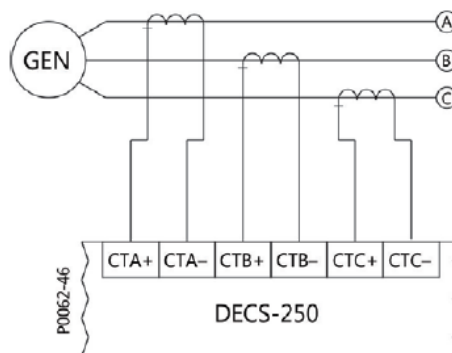


Figura 2.11: Conexiones Típicas de Medición de la Corriente del Generador.

Fuente: (Basler Electric, 2015)

2.2.1.4. Regulación

El sistema de control digital DECS-250 regula el nivel de potencia de excitación suministrado a cada tipo de regulación disponibles. A pesar de que el sistema posee cinco tipos de regulación el utilizado es el AVR, el cual se describe a continuación:

- AVR: Cuando se opera en modo AVR (Regulador Automático de Tensión), el DECS-250 regula el nivel de excitación para mantener la consigna de tensión del generador, a pesar de los cambios en condiciones de carga y funcionamiento. El ajuste de consigna AVR (o punto de funcionamiento) se realiza a través de:
 - La aplicación de contactos, justamente, en la entrada de contacto del DECS-250 configurado para aumentar o disminuir la consigna activa.
 - La aplicación de una señal de control analógica en el Control Auxiliar de entrada del DECS-250.
 - La pantalla del Panel de Control del BESTCOMSPlus (disponible en Explorador de Medición del BESTCOMSPlus).
 - Un comando de aumento o disminución transmitido a través del puerto Modbus del DECS-250.

El rango de ajuste se define por la configuración de Mínimos y Máximos que se expresan como un porcentaje de tensión nominal del generador. La longitud de tiempo que se requiere para ajustar la consigna AVR desde un límite a otro se controla en los ajustes de Tasa Transversal; dichos ajustes se pueden visualizar en la Figura 2.13.

The screenshot shows a configuration window titled 'AVR/FCR/FVR' with a sub-header 'Regulador Automático de Tensión (AVR)'. It contains four adjustable parameters, each with a text input field and a selection button:

Parameter	Value	Button
Referencia (Primary V)	120.0	A
Min (% of rated)	70.0	B
Max (% of rated)	120.0	C
Tasa Travesía (s)	20	D

Figura 2.12: Ajustes de Regulación AVR.

Fuente: (Basler Electric, 2015)

2.2.1.5. Entradas y Salidas de Contacto

Dieciséis entradas de contacto sensadas y aisladas están disponibles para iniciar las acciones del DECS-250 y doce consignas de salida de contacto proporcionan anunciación y control.

- Entradas de Contacto: Posee dieciséis entradas de contacto de las cuales dos tienen una función fija: Iniciar y Detener; mientras que las otras 14 son programables. Todas son compatibles con los relés/interruptores de contactos secos o salidas de colector abierto de un PLC. Cada entrada tiene un voltaje de 12Vcc y una corriente de 4mA_{cc}.
 - Entradas Iniciar y Detener: Aceptan un cierre momentáneo de contacto que habilita Iniciar y deshabilita Detener; en el caso de ejecutar las ordenes Iniciar y Detener simultáneamente, la que se completa será la segunda, debido a que posee mayor prioridad. Las conexiones para la entrada de contacto Iniciar se realizan en los terminales INICIAR y COM A, por otro lado, las conexiones de salida del contacto Detener se realizan en los terminales DETENER y COM A.
 - Entradas Programables: Pueden conectarse para testear el estado de los interruptores y contactos del sistema de excitación. Con la ayuda del software BESTlogic™Plus y la programación del usuario se pueden utilizar para controlar y anunciar cualquier tipo de inconveniente que pueda presentar el sistema.
- Salidas de Contacto: Constan de una salida dedicada watchdog y once salidas programables.
 - Salida Watchdog: Salida SPDT (Single Pole Double Throw), puede cambiar de estado en los siguientes casos:
 - Cuando se pierde la potencia de control
 - Cuando cesa la ejecución normal del Firmware
 - Cuando el disparo de Transferencia Watchdog se afirma en BESTlogicPlus.

Las conexiones de salida Watchdog se hacen en terminales WTCHD1 (normalmente abierto), WTCHD (común) y WTCHD2 (normalmente cerrado).

- Salidas Programables: Las 11 salidas de contacto programables normalmente abiertas pueden configurarse para anunciar estados del DECS-250, alarmas activas, funciones de protección activas y funciones activas de limitador.

2.2.1.6. Protección

DECS-250 ofrece las siguientes protecciones:

- Protección de Tensión: Incluye los siguientes parámetros:
 - Sobreexcitación (voltios por hercio)
 - Subtensión del generador
 - Sobretensión del generador
 - Pérdida de tensión del generador
- Protección de Frecuencia: La frecuencia de la tensión terminal del generador está monitoreada en caso de que ocurran condiciones de sobrefrecuencia o subfrecuencia.
- Protección de Potencia: Los niveles de potencia del generador son monitoreados para protegerse de un flujo de potencia inversa y pérdida de excitación.
- Protección de Campo: Otorga protección hacia los siguientes parámetros:
 - Sobretensión de campo
 - Sobrecorriente de campo
 - Seguimiento del excitador de Diodo
 - Perdida de PMG

2.2.1.7. Limitadores

Los limitadores que posee el DECS-250 impiden que la máquina exceda sus capacidades, entre estos tenemos los siguientes:

- **Limitador de la Sobreexcitación:** El limitador de sobreexcitación (OEL) monitorea el nivel de la corriente de campo suministrada por el DECS-250 y la limita para prevenir un recalentamiento del campo. Existen dos tipos de limitadores de sobreexcitación con los que cuenta este sistema: Punto de suma y absorción.
- **Limitador de Subexcitación:** Cuando un generador trabaja en condiciones de subexcitación se puede producir un recalentamiento en las cabezas de las bobinas al igual que la pérdida de sincronismo. El limitador de subexcitación (UEL) percibe el nivel líder del Var del generador y limita las disminuciones en excitación para restringir el calentamiento de las cabezas de bobinas.
- **Limitador de Corriente estatórica:** El limitador de corriente estatórica (SCL) monitorea el nivel de la corriente estatórica y la limita para prevenir un recalentamiento del estator. Para limitar la corriente estatórica, el SCL modifica el nivel de excitación de acuerdo a la dirección del flujo de Var que entra o sale del generador. Excesiva corriente estatórica con un factor de potencia líder necesita un aumento de excitación. Excesiva corriente estatórica con un factor de potencia en retardo necesita una reducción de excitación.
- **Limitador Var:** El limitador Var puede ser habilitado para limitar el nivel de potencia reactiva exportada del generador. Grupos de ajuste primario y secundario brindan control adicional para dos condiciones distintivas de funcionamiento de máquina. El punto de ajuste del limitador de Var se expresa como un porcentaje del régimen nominal VA máximo calculado para la máquina. Un ajuste de retardo establece un tiempo de retardo entre cuando el umbral Var se excede y cuando el DECS-250 actúa para limitar el flujo Var.
- **Escalador de Límite:** El ajuste automático (escalado) del limitador de sobreexcitación y limitador de corriente estatórica es posible a través de la entrada de control auxiliar del DECS-250. El escalado OEL y SCL pueden habilitarse y deshabilitarse independientemente. El ajuste automático del OEL y SCL se basa en seis parámetros: señal y escala para tres puntos (niveles).
- **Limitador de Subfrecuencia:** El limitador de subfrecuencia es seleccionable para limitar subfrecuencia o limitar volts por Hertzio. Estos limitadores protegen al generador de daños causados por flujo magnético excesivo resultante de una baja frecuencia y/o de una sobretensión.

2.2.1.8. Medición

El DECS-250 proporciona las siguientes categorías de medición:

- **Generador:** Los parámetros medidos por el generador están disponibles como valores primarios y por unidad, los cuales son:
 - Tensión (magnitud y ángulo)
 - Corriente (magnitud y ángulo)
 - Frecuencia
- **Potencia:** Los parámetros medidos por el generador están disponibles como valores primarios y por unidad, los cuales son:
 - Potencia Activa (kW)
 - Potencia Aparente (kVA)
 - Potencia Reactiva (kVar)
 - Factor de potencia de la máquina
 - Horas watt (kWh positivas y negativas)
 - Horas var (kvarh positivas y negativas)
 - Horas voltamperios (kVAh)
- **Bus:** Los parámetros medidos por el generador están disponibles como valores primarios y por unidad, los cuales son:
 - Tensiones entre las fases A y B (V_{ab})
 - Tensiones entre las fases B y C (V_{bc})
 - Tensiones entre las fases A y C (V_{ac})
 - Promedio de tensión del bus
 - Frecuencia de la tensión del bus
- **Campo:** Los parámetros medidos del campo incluyen:
 - Tensión de campo (V_{fd})
 - Corriente de campo (I_{fd})
 - Excitador de rizado de diodo
- **Estabilizador del Sistema de Potencia (PSS):** La función estabilizadora del sistema de potencia incluye los siguientes valores medidos:

- Tensión y corriente de secuencia positiva
 - Tensión y corriente de secuencia negativa
 - Desviación de frecuencia terminal
 - Desviación de frecuencia compensada
 - Nivel de salida de PSS por unidad
 - Estado del PSS (ON/OFF)
- Sincronización: Los parámetros de medición del generador al bus son los siguientes:
 - Frecuencia de deslizamiento
 - Ángulo de deslizamiento
 - Diferencia de tensión
 - Entrada Auxiliar de Control: La señal de control aplicada a la entrada auxiliar de control del DECS-250 se indica en la pantalla de medición de Entrada Auxiliar. Como está configurado en BESTCOMSPlus®, puede aplicarse una señal de corriente continua.
 - Panel de Control: El Panel de Control provee opciones para cambiar los modos de funcionamiento, seleccionar las posiciones previas de la consigna, ajuste de precisión de las consignas, y activar interruptores virtuales. Se muestran las consignas para AVR, FCR, FVR, Var y PF, así como también el estado de Alarma, estado del PSS, y estado del Balance Nulo.
 - Resumen de Medición: Los parámetros de medición descritos anteriormente se pueden visualizar de manera general en la pantalla de resumen de medición, en donde los parámetros primarios y por unidad están disponibles.

2.2.1.9. Ajuste de Estabilidad

La estabilidad que proporciona el DECS-250 se logra gracias al cálculo de parámetros PID, es decir, mediante la sintonización de los valores proporcional, integral y derivativo del control PID. El parámetro de proporcionalidad indica que la salida del DECS-250 es proporcional o relativa a la cantidad de diferencia observada entre las medidas; por otro lado, la constante integrativa señala que la salida del sistema es proporcional a la cantidad de tiempo en la que se observa una diferencia, además, el parámetro integral elimina el offset de la curva. Finalmente, derivativo significa que la salida del DECS-250 es proporcional a la velocidad requerida de cambio de

excitación, la acción derivativa evita sobrepaso de excitación. Una importante observación es que toda la sintonización de los parámetros PID debe realizarse sin carga en el sistema, debido a que podría dañarse el equipo. La estabilidad para la regulación de voltaje se describe a continuación:

- Modo AVR: Existen dos conjuntos de ajustes PID que funcionan bajo dos condiciones distintas dependiendo de si el estabilizador del PSS se encuentra en o fuera de servicio. Un controlador rápido es idóneo cuando el sistema de potencia se encuentra en funcionamiento, mientras que uno más lento puede proporcionar amortiguación mejorada de oscilaciones cuando el PSS no posee conexión. Existen diferentes tipos de ajuste como se presenta a continuación:
 - Ajustes de Estabilidad Predefinidos: El DECS-250 ofrece doce configuraciones predefinidas de ajuste de estabilidad, los cuales se basan en la frecuencia nominal y en las constantes de tiempo del generador y excitador.
 - Ajustes de Estabilidad Personalizados: Los parámetros se pueden personalizar para un óptimo rendimiento del transitorio del generador. Cuando dichos parámetros se configuren se debe tener en cuenta lo siguiente:
 - Si la respuesta del transitorio tiene demasiado sobrepaso, disminuya K_p . Si la respuesta del transitorio es muy lenta, con poco o nada de sobrepaso, incremente K_p .
 - Si el tiempo para alcanzar un estado estable es muy largo, incremente K_i .
 - Si la respuesta del transitorio tiene mucho ruido, incremente K_d .

Calculador PID: El calculador de PID estima los parámetros de ganancia K_p , K_i y K_d basados en las constantes de tiempo del generador y del excitador. Si la constante de tiempo del excitador es desconocida, puede forzarse al valor por defecto que es la constante de tiempo del generador dividido entre seis. El campo de ajuste de una constante de tiempo derivativa permite la eliminación de efectos del ruido en la diferenciación numérica. El campo de ajuste de la ganancia del regulador de voltaje establece el nivel de ganancia del AVR del

algoritmo PID. Los parámetros calculados e ingresados pueden aplicarse en caso de cierre del calculador PID.

Es importante recalcar que los valores PID definidos o calculados por el usuario deben establecerse únicamente después de que haya sido comprobado su funcionalidad, de lo contrario, podrían ocasionar daños en los equipos y decrementar el rendimiento del sistema.

- Auto Ajuste: Por lo general, durante la puesta en marcha los parámetros del sistema de excitación son desconocidos, ocasionando que este proceso consuma grandes cantidades de tiempo y combustible. Con el desarrollo de auto ajuste, los parámetros del sistema de excitación son automáticamente identificados y las ganancias PID se calculan usando algoritmos bien desarrollados. Por lo que, ajustar automáticamente el controlador PID reduce en gran medida el tiempo y costo de la puesta en marcha.

2.2.1.10. Software BESTCOMSPlus

BESTCOMSPlus® es una aplicación de la PC basada en Windows que proporciona una interfaz gráfica fácil de utilizar (GUI) para ser usada con los productos de comunicación Basler Electric. Proporciona al usuario un recurso para establecer y supervisar el DECS-250 con un clic. Sus capacidades hacen que la configuración de uno o varios controladores del DECS-250 sea rápida y efectiva. Una ventaja principal es que se puede crear un esquema de ajustes, guardarlo como un archivo y luego cargarlo en el DECS-250 a la conveniencia del usuario.

El programa del DECS-250 debe activarse antes de ser utilizado, se lo puede hacer automáticamente conectándolo al DECS-250 o manualmente solicitando una clave de activación a Basler Electric. El BESTlogicPlus Programmable Logic se utiliza para programar la lógica del DECS-250 para elementos de protección, entradas, salidas, alarmas, etc. Esto se logra con el método arrastrar y soltar. El usuario puede arrastrar elementos, componentes, entradas y salidas en la grilla de programación y hacer las conexiones entre ellos para crear un esquema lógico deseado.

Cada DECS-250 tiene múltiples bloques lógicos autocontenidos que cuentan con todas las entradas y salidas de la contraparte de su componente específico. Cada bloque

lógico independiente interactúa con entradas de control y salidas de hardware basadas en variables lógicas definidas en forma de ecuación con BESTlogicPlus. Las ecuaciones BESTlogicPlus introducidas y guardadas en la memoria no volátil del sistema DECS-250 integran (electrónicamente conectadas) la protección seleccionada o habilitada y controlan bloques con entradas de control y salidas de hardware. Se llama esquema lógico al grupo de ecuaciones que definen la lógica del DECS-250.

Dos esquemas lógicos por defecto activos están precargados en el DECS-250. Uno de ellos se adapta para el sistema con la opción PSS deshabilitada y el otro para un sistema con PSS habilitado. Estos esquemas son configurados para una protección típica y aplicación de control de un generador sincrónico y virtualmente elimina la necesidad de un programa “de empezar desde cero”. El BESTCOMSPlus® puede usarse para abrir un esquema lógico que fue anteriormente guardado como un archivo y subirlo al DECS-250; los cuales, por defecto, pueden también ser personalizados para ajustarse a su aplicación.

El BESTlogicPlus no se utiliza para definir los ajustes de funcionamiento (modos, umbrales de activación y tiempo de retardo) de la protección individual y funciones de control. Los ajustes operativos y lógicos son funciones interdependientes pero programadas por separado. Cambiar los ajustes lógicos es distinto a realizar los ajustes de funcionamiento que controlan los umbrales de activación y el tiempo de retardo del DECS-250.

2.2.1.11. Comunicación

- **Comunicación Local:** Un conector USB tipo B conecta el DECS-250 con una PC que esté operando con BESTCOMSPlus® para una comunicación local de corto plazo. Este modo de comunicación es útil para configuración de ajustes y puesta en funcionamiento del sistema. El controlador del dispositivo USB para el DECS-250 se instala automáticamente en la PC durante la instalación del BESTCOMSPlus.
- **Comunicación Modbus™:** Este sistema admite los modos RS-485 y Modbus-TCP/IP simultáneamente.
 - **Puerto RS-485:** Este puerto utiliza el protocolo Modbus RTU (Unidad Terminal Remoto) para una comunicación con otros dispositivos de red o anuncios y control remoto con un Panel de Pantalla Interactiva IDP-

800. Los terminales de puerto RS-485 están ubicados en el panel izquierdo y están identificados como RS-485 A, B y C. El terminal A sirve como terminal A enviar/recibir, el terminal B sirve como terminal B enviar/recibir, y el terminal C sirve como terminal de tierra de la señal.

- Puerto Ethernet: Un puerto Ethernet utiliza el protocolo Modbus/TCP-IP para comunicaciones con otros dispositivos en red o anuncio y control remoto con un Panel de Pantalla Interactiva IDP-800.
- Comunicación CAN: Posee dos interfaces, CAN 1 y CAN 2; la primera facilita la comunicación entre el DECS-250 y módulos opcionales como el módulo de expansión de contacto y el módulo de expansión analógico, mientras que la segunda permite que el DECS-250 le brinde parámetros de generador y de sistema a un controlador de generador como por ejemplo el Basler DGC-2020, adicionalmente permite una consigna del DECS-250 y modo de control de un aparato externo conectado al CAN. Por otro lado, las dos interfaces utilizan el mismo protocolo de mensajes, SAE J1939.
 - Conexión: Esta conexión se debe realizar con cable par blindado trenzado. Cada puerto CAN (designados CAN 1 y CAN 2) tiene un terminal CAN alto (H), un terminal CAN bajo (L) y un terminal CAN de drenaje (SH).
 - Configuración de Puerto: Cada puerto CAN del DECS-250 debe ser identificado con un número de dirección único.
- Comunicación Ethernet: Dependiendo del número de estilo, cada DECS-250 está equipado con un puerto de cobre o de fibra óptica de comunicación Ethernet. El conector Ethernet de cobre o de fibra óptica está ubicado en el panel derecho. La medición, anuncios y control del DECS-250 se realizan a través del puerto Ethernet utilizando el protocolo Modbus TCP.
- Comunicación Profibus: En unidades equipadas con protocolo de comunicación PROFIBUS, el DECS-250 envía y recibe información PROFIBUS a través de un puerto DB-9 ubicado en el panel derecho.

En el Anexo 4 se pueden encontrar con mayor detenimiento las especificaciones para el Sistema de Control Digital de Excitación, DECS-250.

2.2.2. Levantamiento de Campo del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 en la Unidad de Generación II de la Central Saucay

De igual manera que en el levantamiento realizado en las dos unidades de generación de la Central Ocaña, para el grupo II de la central Saucay se va a realizar una descripción tanto física como funcional de las conexiones del Sistema de Control Digital DECS-250.

2.2.2.1. Estado físico de los tableros utilizados por el DECS-250

En primera instancia, se podría decir que en el tablero donde se encuentra el DECS-250 no están ubicados los componentes necesarios para su correcto funcionamiento; estos dispositivos se encuentran en cuatro tableros diferentes. En la Figura 2.14 se puede observar al sistema en el tablero denominado PCG22.



Figura 2.13: Tablero en el que se encuentra el DECS-250.

Fuente: Autor.

En la Figura 2.14 (a) se puede observar el tablero PCG22 donde se encuentran otros componentes primordiales para el funcionamiento del DECS-250, mientras que en la Figura 2.14 (b) se puede visualizar al tablero como está distribuido internamente.



Figura 2.14 (a): Tablero PCG22.

Fuente: Autor.



Figura 2.14 (b): Tablero PCG22 internamente.

Fuente: Autor.

Por otro lado, las Figuras 2.15 (a) y 2.15 (b) muestran el tablero de control para el grupo II, la primera de manera externa y la segunda internamente.



Figura 2.15 (a): Tablero de control PCG21.

Fuente: Autor.



Figura 2.15 (b): Tablero de control PCG21 internamente.

Fuente: Autor.

La Figura 2.16 muestra los componentes principales que utiliza el DECS-250 para su funcionamiento, entre estos tenemos algunas bobinas y contactos, breakers y borneras.

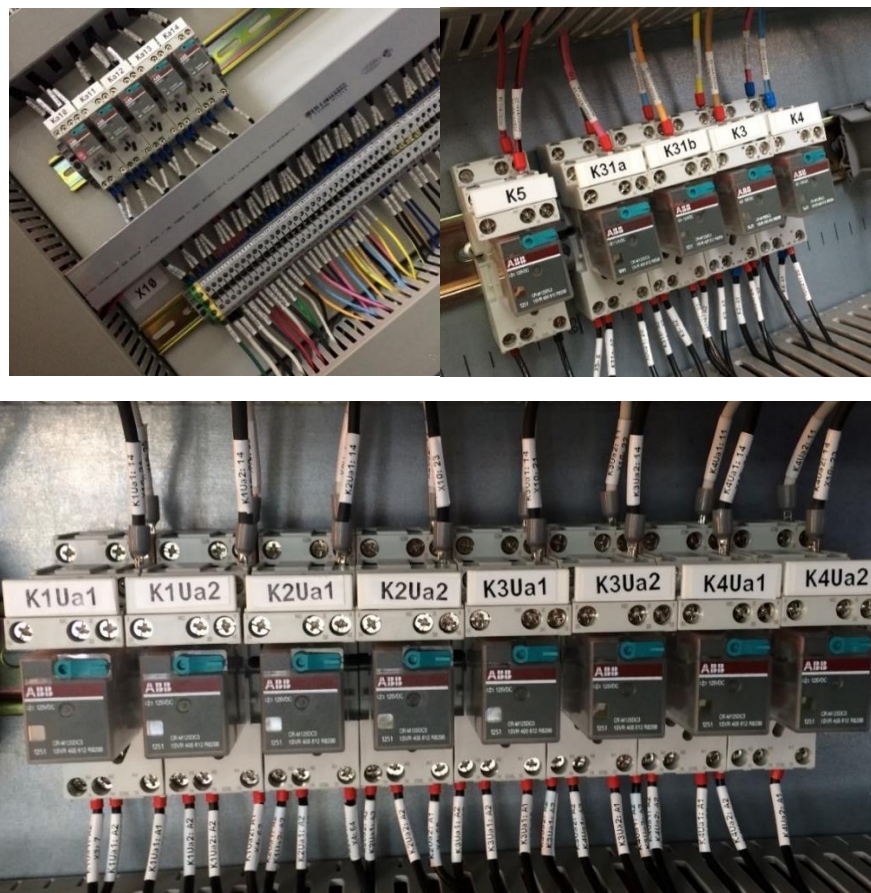


Figura 2.16: Componentes varios utilizados por el DECS-250.

Fuente: Autor.

2.2.2.2. Estado funcional del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250

DECS-250 utiliza 22 componentes electrónicos para su funcionamiento, lo que da como resultado 283 conexiones. Para un mejor análisis se creó una base de datos con todos los dispositivos y conexiones necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de control. La base de datos se encuentra en el Anexo 5, la cual utiliza el mismo formato de las bases de datos creadas para presentar el levantamiento de campo de las dos unidades de generación de la Central Ocaña.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO PARA LA MIGRACIÓN DE LOS ACTUALES REGULADORES AUTOMÁTICOS DE VOLTAJE A IEDS

Introducción

A lo largo de los capítulos anteriores se ha realizado un estudio tanto teórico de cómo es el funcionamiento de los reguladores automáticos de voltaje en una Central Hidroeléctrica como el papel que desempeñan los AVR's instalados actualmente en las Centrales Ocaña y Saucay. Sin embargo, el estudio realizado anteriormente no incluye la parte fundamental para realizar una futura migración de estos equipos, por esta razón, en el capítulo actual, se presenta la ingeniería realizada en los tableros de excitación, protección y medida de las dos unidades de generación de la Central Ocaña, es decir, la selección de elementos y equipos que deben permanecer en el armario cuando se efectúe el cambio de AVR correspondiente. Por otro lado, la segunda parte del capítulo incluye la ingeniería necesaria para la implementación del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250, candidato principal para realizar la migración. Finalmente, al culminar el capítulo se expone una tabla comparativa entre los dos reguladores automáticos de voltaje, Thyne4 y DECS-250, permitiendo de esta manera una apreciación más crítica de las diferencias y prestaciones que posee cada uno.

3.1. INGENIERÍA EN LOS TABLEROS DE EXCITACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA

Cada tablero de excitación de la Central Ocaña cuenta con 119 dispositivos electrónicos, entre equipos, relés, breakers, etc. La mayoría de estos componentes cumplen una función en el correcto desempeño del regulador automático de voltaje, sin embargo, en el tablero también se encuentran equipos de medida y protección que deben permanecer en funcionamiento cuando se realice la migración de los actuales reguladores de voltaje a IEDs. El reconocimiento de cada uno de estos dispositivos se

estudiará en las siguientes secciones, garantizando de esta manera su correcto funcionamiento en un futuro.

3.1.1. Identificación de los equipos y componentes que deben permanecer en los tableros de excitación

En los tableros de excitación no se encuentran únicamente los componentes que cumplen con la regulación de voltaje, también se puede encontrar a otro tipo de dispositivos que desempeñan funciones como la medición de varios parámetros y diferentes protecciones. Al realizar el levantamiento de campo en la Central Ocaña se logró identificar a cada uno de estos elementos. En la Tabla 3-1 se pueden observar los componentes y equipos que van a permanecer en el tablero realizando sus funciones típicas debido a que, posterior a un estudio minucioso, se comprobó que sus conexiones no tienen ningún tipo de interacción con el regulador automático de voltaje instalado actualmente.

Tabla 3-1: Componentes y equipos permanentes en los tableros de protección, medida y excitación (G1 y G2)

Ubicación	Nombre del componente	Función del componente
Ingeniería-Puerta	P57E	Medición de Frecuencia
	P57C	Amperímetro – Intensidad del generador
	P57B	Amperímetro – Intensidad del generador
	P57A	Amperímetro – Intensidad del generador
	P57D	Voltímetro – Tensión del generador
	S57A	Conmutador de voltímetro
	P57G	Display Multimedidor
	S37A	Prueba Lámparas
	S46A	Reposición Manual
	S30A	Selector Local-Remoto
	S203A	Disparo Urgente
	P85A	Amperímetro – SSAA
	P85B	Amperímetro – SSAA
	P85C	Amperímetro – SSAA

	H70A	Señalización Interruptor 52G
	S70A	Apertura Interruptor 52G
	S90A	Conmutador Giro y Empuje 52SA
	F61	Protección P343
	F80	Protección P144
	F44	Protección 430F-64R
	R37A	Resistencia para la lámpara de Disparo eléctrico
	R71B	Supervisión Bobina BD2
	R71A	Supervisión Bobina BD1
	P57F	Multimedidor
Ingeniería-Frontal	F30A	Protección Alimentación 125 Vcc
	F30B	Protección Alimentación 125 Vcc - Circuitos de disparo
	F30C	Protección Alimentación 125 Vcc - Control
	F30D	Protección Alimentación 125 Vcc - Protecciones
	F30F	Protección Alimentación 125 Vcc - Señales digitales
	F30G	Protección Alimentación 125 Vcc - Señalización
	F35A	Protección Alumbrado y Calefacción
	F35B	Protección Toma Corriente
	X35A	Toma Corriente
	Q45A	Abrir interruptor de grupo 52G
	V37A	Diodo rectificador para la lámpara de Disparo Eléctrico
	V90A	Diodo rectificador para la Lámpara Local
	E35A	Dispositivo para la calefacción
	K30B	Falla tensión auxiliar 125 Vcc en protecciones y excitación
	Q46A	Disparos eléctricos
	Q46B	Disparos eléctricos

	K46A	Disparos eléctricos
	K70A	Relé auxiliar abierto
	K70B	Relé auxiliar cerrado
	K70F	Permiso Cierre interruptor de grupo 52G
	K70C	Cerrar interruptor de grupo 52G
	K70E	Abrir interruptor de grupo 52G
	K90A	Relé auxiliar abierto - cerrado
	K90C	Cerrar mando 52 SSAA
	K90E	Abrir mando 52 SSAA
	K304C	Apertura interruptor 52 SSAA (Salidas Digitales)
	K304D	Cierre interruptor 52 SSAA (Salidas Digitales)
	K304E	Apertura interruptor grupo 52G
	K305E	Baja presión interruptor grupo
	S35A	Pulsante encender lámpara
	H35A	Dispositivo de señalización
	R35A	Resistencia para la calefacción
Ingeniería-L. Izquierdo	V30A	Diodo rectificador para Alimentación 125 Vcc
	V30B	Diodo rectificador para Alimentación 125 Vcc

Fuente: Autor.

Sin embargo, existen ciertos componentes que deben permanecer en el tablero, pese a que su funcionamiento tiene relación con el AVR actual. Esta situación se presenta debido a que dichos componentes pueden ser reutilizados cuando se realice la migración de los reguladores. En la Tabla 3-2 se los presentan con su función actual, mientras en la sección siguiente lo harán con su nuevo desempeño.

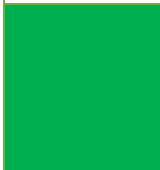
Tabla 3-2: Componentes de AVR que deben permanecer en el tablero

Componente	Función
F30E	Protección Alimentación 125 Vcc - Excitación
K304A	Conectar Excitación
K304B	Desconectar Excitación
K304F	Subir Tensión
K304G	Bajar Tensión
K304H	Selección Canal Manual Excitación
K305A	Selección Canal Auto Excitación
K40PB	Watch Dog
K40MB	Excitación Modo Automático
K40RA	Disparo de Excitación
K40NB	Excitación Conectado
K40ND	Excitación Desconectado

Fuente: Autor.

Como se puede visualizar en las tablas anteriores, existen componentes que no desempeñan un único papel en el tablero debido a que, cada una de sus partes posee diferentes conexiones, esta es la razón por la que la ingeniería del tablero va mucho más allá de identificar componentes y equipos únicamente. El anexo 6 presenta el estudio detallado, conexión a conexión, de lo que debe permanecer en los tableros de excitación al realizarse la migración de AVR's correspondiente. En la Tabla 3.3 se explica por medio de colores lo que representa el anexo y la Tabla 3.4 lo que representa cada una de sus columnas.

Tabla 3-3: Representación por colores del Anexo 6

Color	Representación
	No debe permanecer en el tablero
	Debe permanecer en el tablero

	Inconsistente
--	---------------

Fuente: Autor.

Tabla 3-4: Descripción de cada columna del Anexo 6

Número de la columna	Nombre de la columna	Representación
1	Equipo	Tipo de componente
2	Nombre	Nombre del equipo o componente en el tablero
3	Etiqueta O	Etiqueta de origen de dicha conexión del componente
4	Etiqueta D	Etiqueta de destino de dicha conexión del componente
5	Observación	Problema que presenta dicho componente o conexión
6	Tipo de Conexión	Representa la función que cumple dicho componente o conexión
7	Página O	Página de la etiqueta de origen de la conexión de dicho componente en el plano del tablero

8	Página D	Página de la etiqueta de destino de la conexión de dicho componente en el plano del tablero
---	----------	---

Fuente: Autor.

3.2. ESTUDIO PARA EL REEMPLAZO DE LOS AVR_s DE LA CENTRAL OCAÑA AL SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE EXCITACIÓN DECS-250

En el capítulo II se realizó una descripción detallada del sistema de control digital de excitación DECS-250, permitiendo que el estudio para migrar los AVR_s actuales con este equipo sea menos complicado. En las siguientes secciones se presentan ciertas características importantes del equipo, a tener en cuenta al momento de realizar el cambio de los reguladores; seguido de la ingeniería del sistema de control que debe implementarse.

3.2.1. Terminales y Conectores del DECS-250

Los terminales y conectores del equipo están ubicados en el lateral izquierdo, parte frontal y lateral derecho del panel. Los terminales del DECS-250 poseen múltiples pines que se pueden acoplar a conectores extraíbles colocados por el usuario; por otro lado, sus conectores varían de acuerdo a la función que realicen. En las Figura 3.1 y 3.2 se pueden observar los conectores y terminales de los laterales izquierdo y derecho respectivamente. En las tablas 3-5 y 3-6 se explica la función de cada terminal o conector ilustrado en las figuras anteriores por medio de letras.

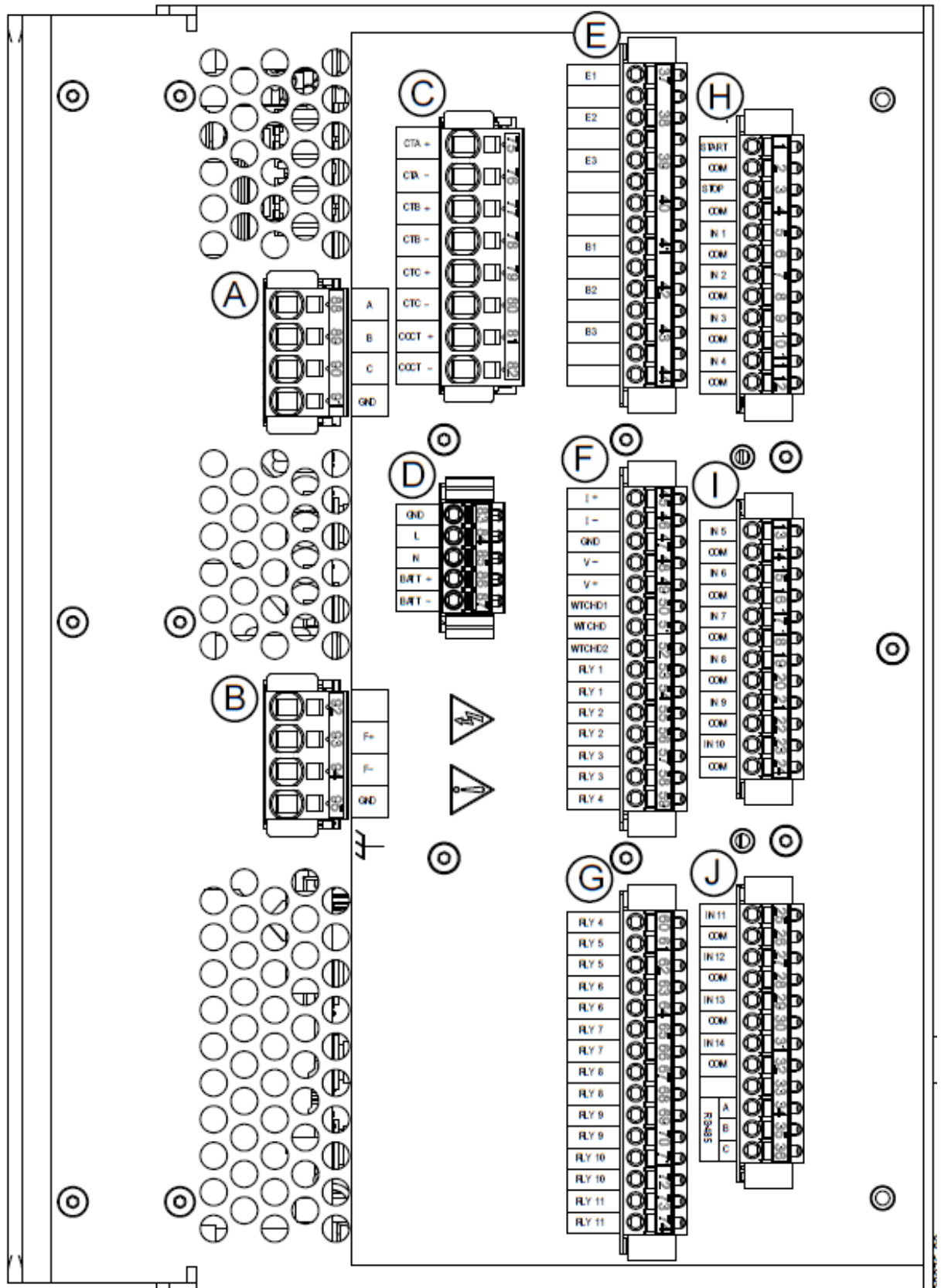


Figura 3.1: Terminales y conectores del lateral izquierdo del DECS-250.

Fuente: (Basler Electric, 2015).

Tabla 3-5: Descripción de terminales y conectores del lateral izquierdo

Localizador	Descripción
A	Estos terminales aceptan potencia de funcionamiento trifásica para la etapa de potencia de excitación del DECS-250. Una puesta de tierra para las conexiones de potencia de funcionamiento se proporciona en el terminal GND.
B	La potencia de excitación se suministra al campo a través de terminales identificadas como F+ y F-. El terminal GND sirve como tierra de chasis para el DECS-250.
C	Estos terminales se conectan a los transformadores de corriente (TC) suministrados por el usuario proporcionando señal trifásica de corriente de medición del generador y compensación de corriente cruzada.
D	Estos terminales admiten la potencia de control de CA o CC para habilitar el funcionamiento de DECS-250. También se proporciona un terminal a masa.
E	La tensión del generador trifásico y el bus medido, obtenidos de los transformadores de voltaje (TP) suministrados por el usuario, se conectan a estos terminales.
F	Una porción de este bloque del terminal acepta una señal externa de control analógico para el control auxiliar de la consigna del regulador. Los terminales I+, I-, V+ y V- se utilizan para control externo de la consigna del regulador con el terminal GND que sirve como conexión de cable protegida. Los pines del bloque terminal restantes sirven como conexiones para el Watchdog y salidas de relé programables de 1 a 4.
G	Las salidas de relé de contacto para salidas de relé programables 4 a 11 se conectan a estos terminales.
H	Las funciones Iniciar y Detener y entradas de contacto programables 1 a 4 se aplican a estos terminales.
I	Las entradas de contacto programables 5 a 10 se aplican a estos terminales.
J	Una porción de estos pines del bloque terminal acepta conexiones para entradas de contacto programables 11 a 14. Los pines del bloque terminal restante sirven como conexión para la comunicación RS-485.

Fuente: (Basler Electric, 2015).

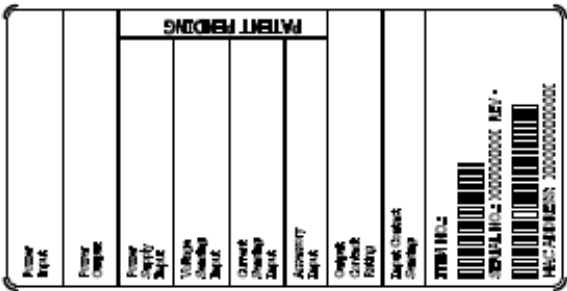


Figura 3.2: Terminales y conectores del lateral derecho.

Fuente: (Basler Electric, 2015).

Tabla 3-6: Descripción de Terminales y Conectores del Lateral Derecho

Localizador	Descripción
K	Un segundo DECS-250 se conecta a través de un cable serie estándar a este conector DB-9 con el propósito de seguimiento de consigna. El seguimiento de consigna entre un DECS-250 y DECS-200 es posible.
L	Este conector DB-9 se proporciona para comunicación PROFIBUS y la implementación futura de otros protocolos de comunicación.
M	Tres conjuntos de terminales dentro de este bloque incluyen dos puertos de comunicación CAN y una entrada IRIG. Los terminales IRIG se conectan a una fuente IRIG para la sincronización del tiempo del DECS-250 con la fuente IRIG. Los dos puertos CAN son compatibles con SAE J1939. CAN 1 se utiliza para conectar módulos complementarios, como el CEM-2020 y el AEM-2020 de Basler Electric. CAN 2 se utiliza para la comunicación con el controlador del motor de un grupo electrógeno. Los números de terminal (se muestran a continuación) se encuentran en el lado de conexión del conector. • 96: conexión alta con CAN 1 • 97: conexión baja con CAN 1 • 98: blindaje con CAN 1 • 99: conexión alta con CAN 2 • 100: conexión baja con CAN 2 • 101: blindaje con CAN 2 • 102: IRIG + • 103: IRIG –
N	Este puerto de comunicación Ethernet opcional utiliza el protocolo Modbus TCP para proporcionar medición a distancia, anunciación y control. Un puerto de cobre (100Base-T) utiliza un conector RJ45 estándar mientras que un puerto de fibra óptica (100Base-FX) utiliza dos conectores de fibra óptica.

Fuente: (Basler Electric, 2015).

3.2.2. Ingeniería para la implementación del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250

La ingeniería realizada para la futura integración del DECS-250 a los tableros de excitación, protección y medida de las dos unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Ocaña se presenta en el Anexo 7 con sus planos eléctricos, sin embargo, a continuación, se explicará cómo fue realizada la ingeniería, los componentes que utiliza el nuevo regulador, sus conexiones, entre otras partes de vital importancia.

3.2.2.1. Componentes nuevos para la ingeniería del DECS-250

El Sistema de Control Digital de Excitación posee una ingeniería bastante simple para funcionar correctamente. En la Tabla 3-7 se puede observar a los nuevos componentes del DECS-250 con la función a desempeñar en su ingeniería.

Tabla 3-7: Componentes de la ingeniería para la implementación del DECS-250

Componente	Función
Q10	Power Input DECS-250 120 VAC
Q11	Sensado de Voltaje DECS-250 110 VAC - Generación
Q12	Power Supply - AC DECS-250 120VAC - Tensión Auxiliar
Q13	Power Supply - DC DECS-250 125VDC - Tensión Auxiliar
Q14	Power Control DECS-250 125 VDC - Tensión Auxiliar
Ka10	Relé Auxiliar (Posición de interruptor de generador)
K40PB	Relé Auxiliar (Indica AVR inoperativo, falla watch dog, ITM inoperativo power input)
Ka12	Relé Auxiliar (Referencia Arrancar/Detener DECS-250)
K40MB	Relé Auxiliar (Referencia DECS modo automático)
K40RA	Relé Auxiliar (Disparo 86)
K24C	Relé Auxiliar (Réplica Contacto Posición Interruptor)
86E-1	Relé Auxiliar (Disparo de Emergencia)
S10	Selector modo Automático/Manual
S11	Selector Subir/Bajar
S12	Selector modo Droop/Var/PF

Fuente: Autor.

Los componentes que se encuentran sombreados en la tabla anterior llevan el nombre de dispositivos actualmente instalados en los tableros de excitación de la Central Ocaña cumpliendo una función similar a la que deben cumplir con el nuevo AVR, sin embargo, deben ser reemplazados por relés de 125 VCC y conectarse como lo indica el plano adjunto.

3.2.2.2. Componentes reutilizados para la ingeniería del DECS-250

En la Tabla 3-8 por otra parte, se puede observar a los componentes que ya se encontraban en el tablero anteriormente, pero que son indispensables para el correcto funcionamiento del DECS-250.

Tabla 3-8: Componentes reutilizados para la ingeniería del DECS-250

Componente	Función
K304A	Relé Auxiliar (Parada de Excitación, viene del sistema SCADA)
K304B	Relé Auxiliar (Arranque de Excitación, viene del sistema SCADA)
K304H	Relé Auxiliar (Mando Subir, viene del sistema SCADA)
K305A	Relé Auxiliar (Mando Bajar, viene del sistema SCADA)
K304F	Relé Auxiliar (Subir Voltaje Sincrocontact)
K304G	Relé Auxiliar (Bajar Voltaje Sincrocontact)

Fuente: Autor.

3.2.2.3. Conexiones varias del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250

El DECS-250 como se observó en las secciones anteriores, posee varios pines de conexión como: entradas de potencia para alimentación y medición, entradas de compensación de corriente, entre otras, por lo que en la Tabla 3-9 se presenta como es dicha conexión desde el tablero al equipo.

Tabla 3-9: Conexiones varias para la ingeniería del DECS-250

Conexión	Pines - Plano OCA01GTASD001
Campo de Excitación	XE-7 XE-8
Sensado de Corriente Fase A	XI1-1 XI1-3
Sensado de Corriente Fase B	XI1-2 XI1-3
Power Input	XE-1 XE-2 XE-3
Sensado de Voltaje de Generador	XU1-1 XU1-2 XU1-3
Tensión Auxiliar 125 VCC	F30E-4 F30E-2
Power Supply AC 120 VCA	XO-3 XO-4

Fuente: Autor.

3.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS AVR_s (THYNE4 Y DECS-250)

A lo largo del presente capítulo y de los capítulos anteriores se ha venido realizando un análisis exhaustivo tanto del Regulador Automático de Voltaje THYNE4, instalado actualmente en las dos unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Ocaña, como del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250, candidato principal para llevar a cabo la migración de los AVR_s. Este estudio permite realizar una breve comparación entre los dos reguladores. La Tabla 3-10 presenta una comparativa entre los dos reguladores en cuestión al analizar diferentes parámetros de cada uno ellos, para posteriormente tener una idea mucho más clara del porqué es necesaria la migración de los equipos actuales y del porqué el equipo sugerido resulta o no ser el más idóneo.

Tabla 3-10: Comparación entre los Reguladores de Voltaje THYNE4 y DECS-250

Parámetro	Regulador Automático de Voltaje Thyne4	Sistema de Control Digital DECS-250
Hardware	- Posee siete tarjetas con funciones diferentes para su correcto funcionamiento.	- Estructura unificada.
	- Tiene un puente de tiristores para brindar alimentación redundante de 24 VCC	- No posee alimentación redundante
	- Alimentación de 24 VCC	- Alimentación de 125 VCC
	- Tiene 32 entradas digitales pasadas a través de opto acopladores y anunciadas por leds.	- Tiene 16 entradas de contacto programables.
	- Tiene 32 salidas digitales las cuales pasan por un relé y son anunciadas mediante un led.	- Tiene 12 salidas de contacto programables.
Software	- Utiliza memorias EPROM para los programas y EEPROMS para almacenar los parámetros ajustables.	- Posee un solo programa que cumple con todas las prestaciones del regulador denominado BESTCOMSPlus.
	- El programa del regulador permite la operación automática o manual.	- BESTCOMSPlus permite establecer y supervisar al DECS-250 con un clic.
	- No tiene acceso remoto.	- Permite acceso remoto al equipo.
	- Posee dos lazos de control para la regulación de voltaje, maestro - voltaje y esclavo - corriente de excitación.	- Posee un único lazo de control

	- El primer lazo de control consiste en un regulador PI que controla el segundo lazo con característica P.	- Posee un controlador PID que permite la estabilidad que brinda el DECS-250.
	- Ofrece seis diferentes tipos de limitadores, entre los que se tiene: Corriente de excitación máxima con y sin retraso, Corriente de excitación mínima sin retraso y opcionalmente el limitador de corriente del estator, del ángulo de carga sin retraso, voltaje máximo y mínimo sin retraso y de la relación Voltios por Hertz con retraso.	- Ofrece seis tipos de limitadores entre los que se tiene: Subexcitación, Corriente estatórica, Var, Escalador de límite y Limitador de Subfrecuencia.
	- No ofrece protecciones.	- Ofrece cuatro tipos de protecciones entre las que se tiene: Protección de Tensión, Protección de Frecuencia, Protección de Potencia y Protección de Campo.
Ingeniería	- Compleja, necesita de varios repetidores de señales para funcionar.	- Simple, necesita de pocos componentes complementarios para funcionar correctamente.
	- Las salidas del regulador que ingresan al SCADA se realizan por cableado, incrementando la complejidad del sistema y la corrección de errores.	- A pesar de tener varias salidas programables, por cableado únicamente se utilizan cuatro señales con cuatro relés auxiliares, facilitando de gran manera la ingeniería del sistema.

Comunicaciones	- Comunicación Serial por el puerto RS232-C	- Posee cuatro tipos de comunicación: - Local (USB) - Modbus - Profibus - CAN - Ethernet
Medidas	- Puede mostrar únicamente las siguientes medidas: - Voltaje en el estator - Corriente en el estator - Corriente de excitación - Voltaje de los tiristores	- Puede visualizar varias medidas a través de sus protocolos de comunicación.

Fuente: Autor.

CAPÍTULO 4

SISTEMA SCADA

Introducción

En los capítulos anteriores se ha estudiado toda la parte de hardware de los diferentes reguladores, realizando levantamientos de campo y varias ingenierías para determinar los componentes que deben permanecer en los tableros de excitación. Así también, la ingeniería necesaria para la implementación del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250. Sin embargo, no se ha profundizado en ciertas herramientas del manejo de datos y señales como lo son TOOLBOX II v6.0 y SIMAC 230. En la primera parte del presente capítulo se analizan estos softwares con cada una de sus aplicaciones complementarias desde una perspectiva general y también orientado a los AVR's. Para la segunda parte del capítulo se realiza un estudio a profundidad de todas las señales analógicas y digitales, cableadas y por software, input u output del regulador automático de voltaje instalado actualmente en la Central Ocaña. Finalmente, al concluir el capítulo, se evidencia su parte de mayor importancia, el tratamiento de las señales existentes y nuevas para el control y monitoreo del DECS-250 por medio del sistema SCADA SIMAC 230.

4.1. TOOLBOX II v6.0

El software Toolbox II es usado para realizar la configuración de los controladores AK 103 u otros. Resulta ser de gran utilidad debido a que ofrece varias herramientas de ingeniería entre las cuales se encuentran las siguientes:

- EM II Engineering Manager o Administrador de Ingeniería: Conjunto de aplicaciones para el control de los proyectos presentes en el Software.
- PSR II Engineering computer and service computer: Conjunto de herramientas para servicio y control de los equipos.
- OPM Object Oriented Process data Manager: Es un gestor de datos de proceso, permite diseñar el proceso y todos sus puntos de datos asociados a él.
- CAEx Plus Tool for logics and control functions: Aplicación para el diseño de lógicas de control de procesos.

En las siguientes secciones se describirán algunas de estas herramientas a fondo con su respectiva aplicación en las señales del regulador automático de voltaje.

4.1.1. OPM Object Oriented Process data Manager

Una de las características esenciales del *OPM* es la definición de los objetos de la ingeniería. Estos objetos se pueden combinar en objetos de niveles superiores utilizando conceptos de orientación de objetos tales como la topología. Los conceptos de orientación a objetos utilizados en la *OPM* se pueden aplicar de forma intuitiva por parte del usuario y, por lo tanto, pueden reducir los costos de ingeniería sin una gran cantidad de entrenamiento.

La aplicación *OPM* permite la creación de un proyecto, desde el cual es posible empezar a desarrollar la ingeniería del proceso que se desea controlar. Dentro de cada proyecto se puede tener varias Unidades de Automatización (diferentes grupos de Generación), organizadas en una topología ordenada por los siguientes niveles:

- Cliente: Nombre del cliente propietario del proyecto. El cliente puede contener varias plantas de Automatización.
- Planta: Proyecto de automatización que se está realizando. Dentro del proyecto se pueden tener varias regiones.
- Región: Conjunto de equipos con una característica común.
- Componente: Cada AU realiza el papel de un componente del sistema.

En la Figura 4.1 se puede observar la topología antes descrita empleada para la unidad de generación 1 de la Central Ocaña.

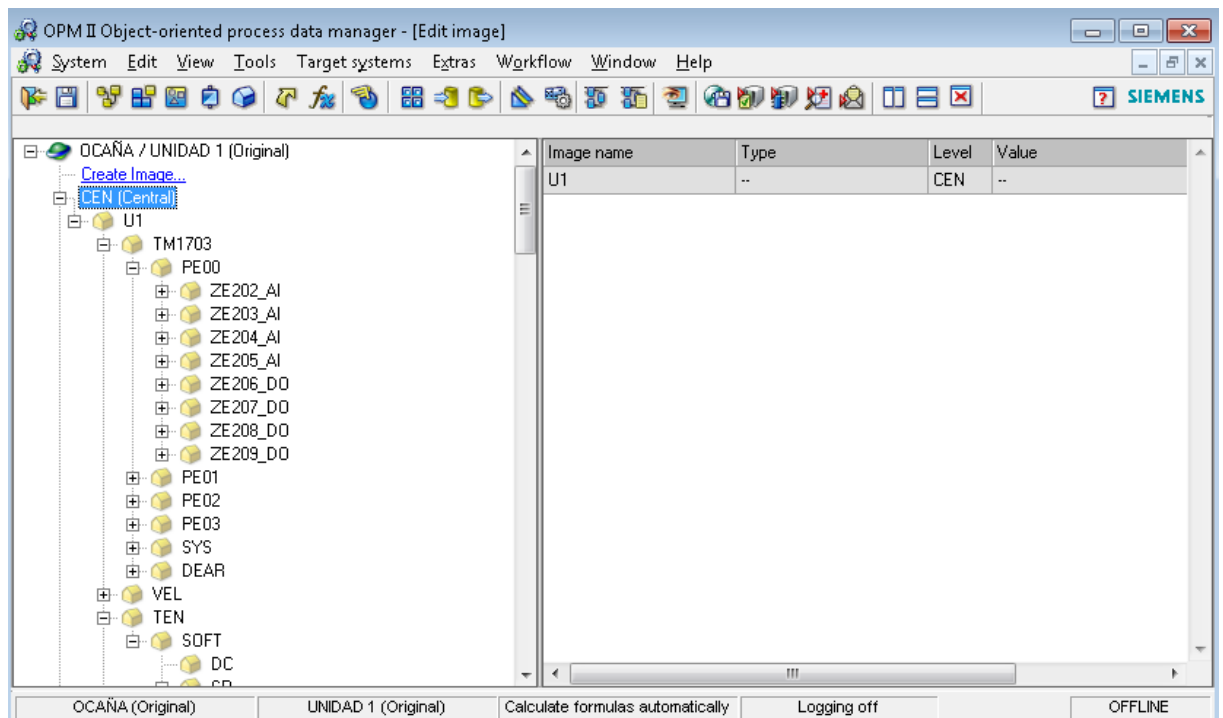


Figura 4.1: Topología de una Unidad de Automatización.

Fuente: Autor.

Para el control de procesos, es necesario crear puntos de datos con el fin de realizar el control. Estos están organizados en una base de datos del software, la cual maneja conjuntos de señales definidas como Rangos con el fin de permitir múltiples usuarios de edición en un mismo proyecto. Después de crear el Rango, se deben crear los puntos de datos a través de algunas señales típicas como:

- Entrada Digital: En primera instancia es necesario tener un módulo de entradas digitales en la Unidad de Automatización. Al tenerlo, se crean todos los puntos de datos necesarios para el control del proceso con la herramienta Images, como se puede observar en la Figura 4.2.

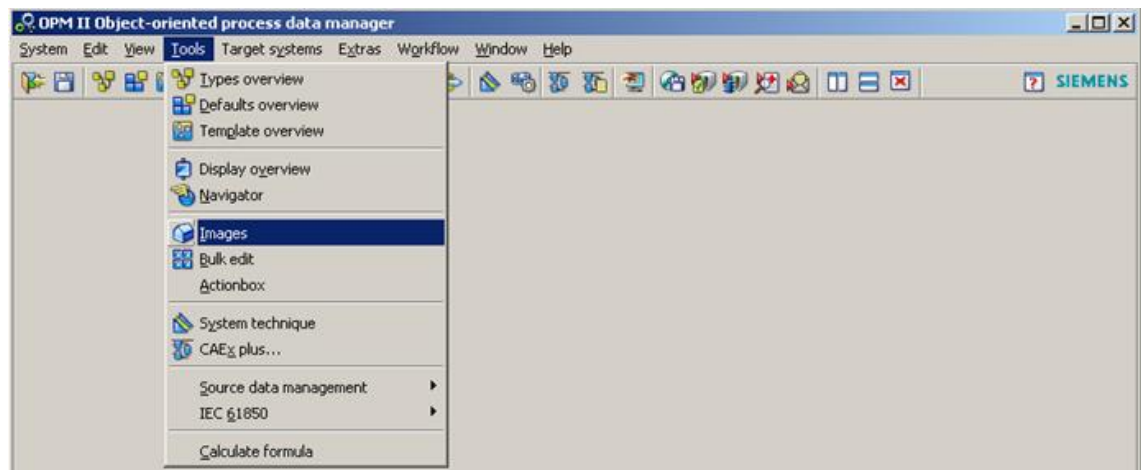


Figura 4.2: Creación de puntos de datos.

Fuente: Autor.

Una señal se compone de Links o conexiones dentro del Software que sirven como fuentes o destinos. Para crear una entrada digital se escoge el tipo de señal 1703_DI y se dejan los Links necesarios para ella. El *LNK_ADR* link necesario para la conexión de cualquier señal con el software, *LNK_1703_DI* link para conectar la fuente de la señal, en este caso el módulo de entradas digitales. *LNK_CAExplus* link para indicar un destino de la señal, la aplicación *CAEx Plus* en caso de ser necesaria para el desarrollo de una lógica de control. *LNK_230_BIN* link para la conexión del destino hacia el *SICAM 230* (Software de la IHM). Con este tipo de señal, se usa la señal por defecto 1703_DI_SP para las señales simples y el 1703_DI_DP para las señales dobles.

Las señales creadas en un Rango, están organizadas en una topología por niveles. En este caso se crean los niveles necesarios para organizar la señal de Entrada Digital topológicamente donde corresponda en el proceso, dentro de la herramienta *Images*, para la Unidad 2 la topología sería U2/TEN/SOFT/SP, por ejemplo, como se observa en la Figura 4.1. Finalmente, al tener la señal creada se colocan los valores correspondientes a la entrada que se desea crear como la dirección IEC 104 que tendrá la señal, seleccionar el módulo y entrada digital, entre otras.

- Entrada Analógica: Para las entradas analógicas se debe adicionar el módulo AI-2300 a la Unidad de automatización creada; en este caso se utiliza el tipo 1703_AI y se conservan los mismos links escogidos para las entradas digitales.

A continuación, se crea la topología para esta entrada analógica y se crea la señal; se configuran los parámetros de Nombre, dirección IEC 104, módulo de entrada y entrada específica.

El rango de la entrada analógica va de ± 20 mA y la configuración de calibración se realiza en los parámetros X_0%, X_100%, Y_0% y Y_100%, siendo X el valor de entrada en mA y Y el valor de salida en la unidad requerida, por ejemplo, si 4mA representan una apertura de 0% y 20mA representa una apertura de 200%, los valores de X y Y serían:

X_0%	4
X_100%	20
Y_0%	0
Y_100%	200

- **Salida Digital:** Para la salida digital es necesario tener un módulo de salidas digitales, por lo que se adiciona a la AU creada el módulo DO-2201. El tipo de señal a usar es el 1703_DO con los links que conectan a las lógicas de CAEx Plus y el módulo de salidas digitales. Finalmente se crea la topología donde va a ser creada cada señal y se adiciona, se modifica el nombre de la señal y dirección IEC, así como la asociación al módulo de salidas digitales.
- **Señal Calculada:** Una señal calculada es el resultado de una lógica de CAEx Plus por lo que las conexiones que debe tener son los Links de CAEx Plus y el Link hacia la HMI. El tipo de señal a usar es CAExplus_BIN para crear señales simples con resultados de lógicas de control. La señal por defecto a usar es CAExplus_SP, en donde se configuran los parámetros típicos para todas las señales que serán resultados de lógicas de control. Al igual que las otras señales se crea una topología y se adiciona una señal a la cual se le configuran los parámetros propios como nombre, dirección IEC 104, etc.
- **Señal de Comunicación ModBus:** Para crear la señal proveniente por ModBus es necesario crear su conexión, para ello se adiciona el módulo de Modbus RTU. Para el tipo de señal se utiliza MOD_DI (crear con los links predeterminados) en donde se tiene como fuente una entrada de ModBus y destinos CAEx Plus y SICAM 230. La señal por defecto que se usara es la MOD_DI, en la que se colocaran los parámetros típicos de las señales de

ModBus. Se crea la topología y se adiciona la señal; finalmente se selecciona el módulo al cual pertenece la señal, la estación a la cual debe preguntar, el código de función con el que debe preguntar y la dirección de la señal.

En las figuras que se muestran a continuación, de la 3 Y 4 se puede observar a algunos tipos de señales descritas anteriormente utilizadas para el monitoreo del regulador automático de voltaje donde se puede apreciar, además, la topología utilizada.

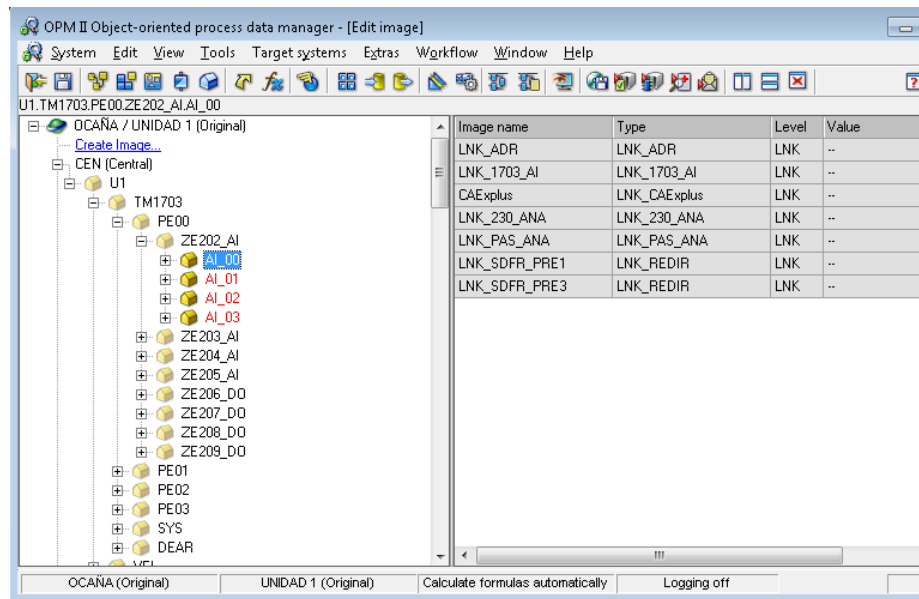


Figura 4.3: Señales cableadas analógicas de entrada.

Fuente: Autor.

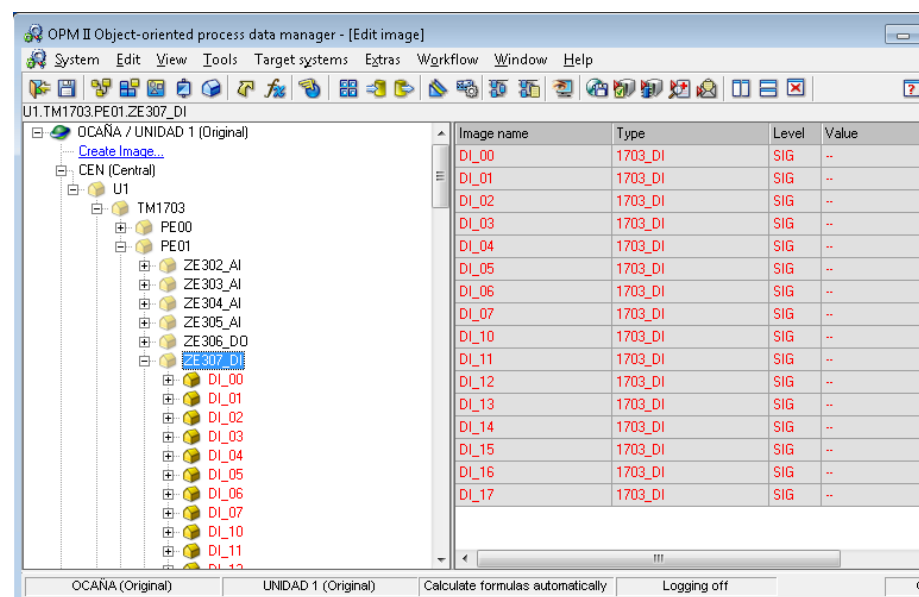


Figura 4.4: Señales digitales de entrada.

Fuente: Autor.

4.1.2. CAEx Plus Tool for logics and control functions

El CAEx Plus es una aplicación en la cual se realiza el desarrollo de las lógicas de Control necesarias para la planta que se desea automatizar. Cuenta con una programación orientada a objetos que cumple con el estándar IEC 61131-3, por lo que posee varios lenguajes de programación: Function Block Diagramm (CFC), Sequential Function Chart (SFC) Structured Text (ST), Ladder Diagram (LD). Permite, también, la creación de bloques de usuario que minimizan la labor de programación además de manejar diferentes tipos de variables.

Para la creación de una lógica de control se debe adicionar un nuevo objeto, el cual va a ser procesado por la tarjeta principal y, después, debe crearse una instancia. Las señales creadas en la base de datos con el link de destino de conexión LNK_CAEx están disponibles en la Aplicación CAEx Plus en el submenú SIG las cuales pueden ser usadas en la lógica luego de transformar la base de datos a CAEx Plus. Para ello se selecciona en el menú la transformación a CAEx Plus como lo ilustra la Figura 4.5.

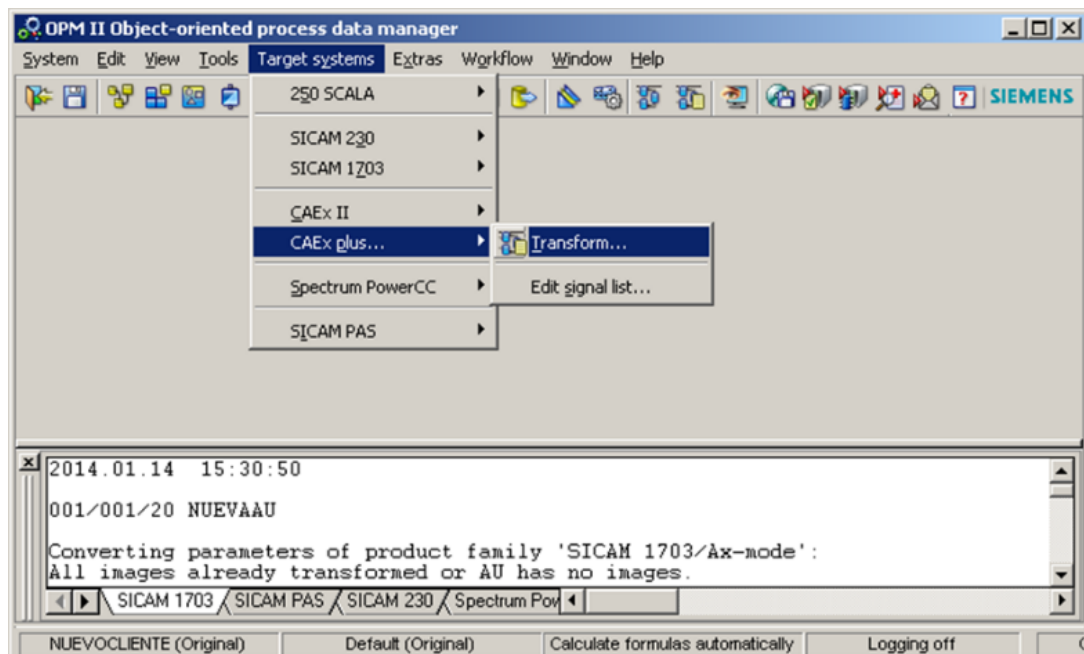


Figura 4.5: Transformación de la base de datos a CAEx Plus.

Fuente: Autor.

A continuación, se puede elegir transformar únicamente las señales del Rango y todas las señales de la Planta a controlar, como lo muestra la Figura 4.6.

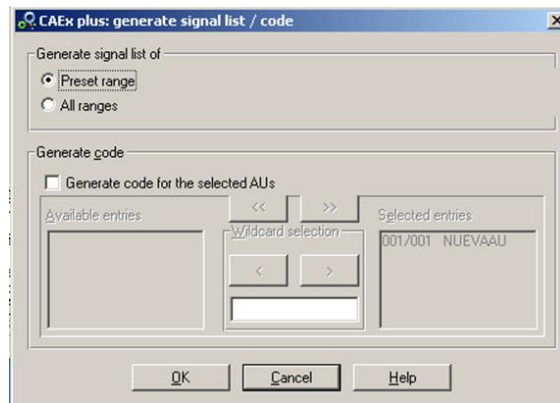


Figura 4.6: Transformar señales del Rango o de toda la Planta.

Fuente: Autor.

Cuando se culmina la transformación satisfactoriamente, estas señales se encuentran disponibles en la aplicación CAEx Plus.

Por otra parte, en la topología de la librería se encuentran todos los Bloques de Función predeterminados en la aplicación, los cuales pueden ser usados para cumplir el propósito del diseño.

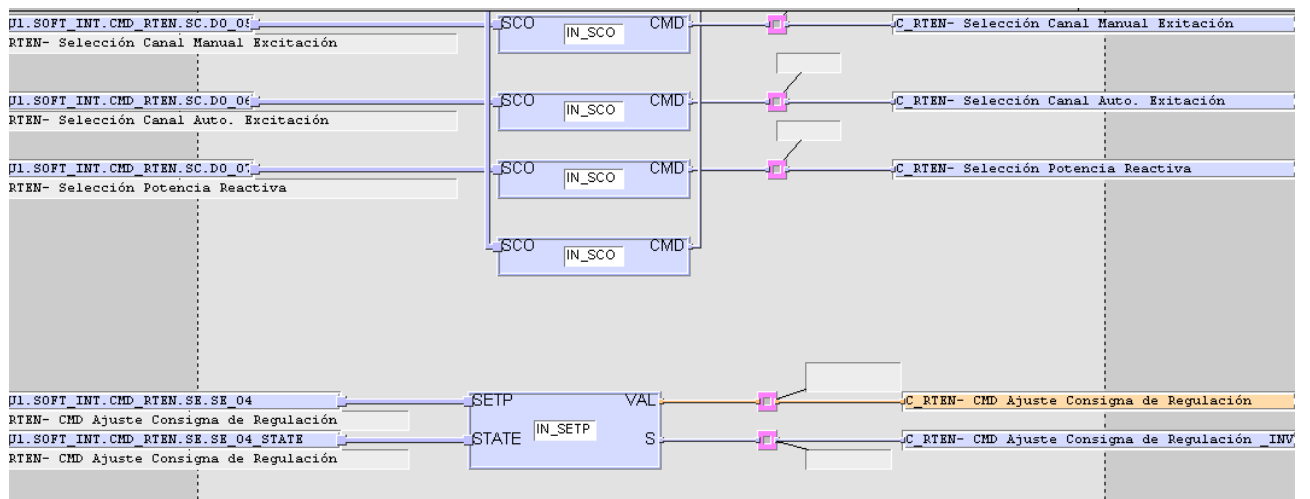
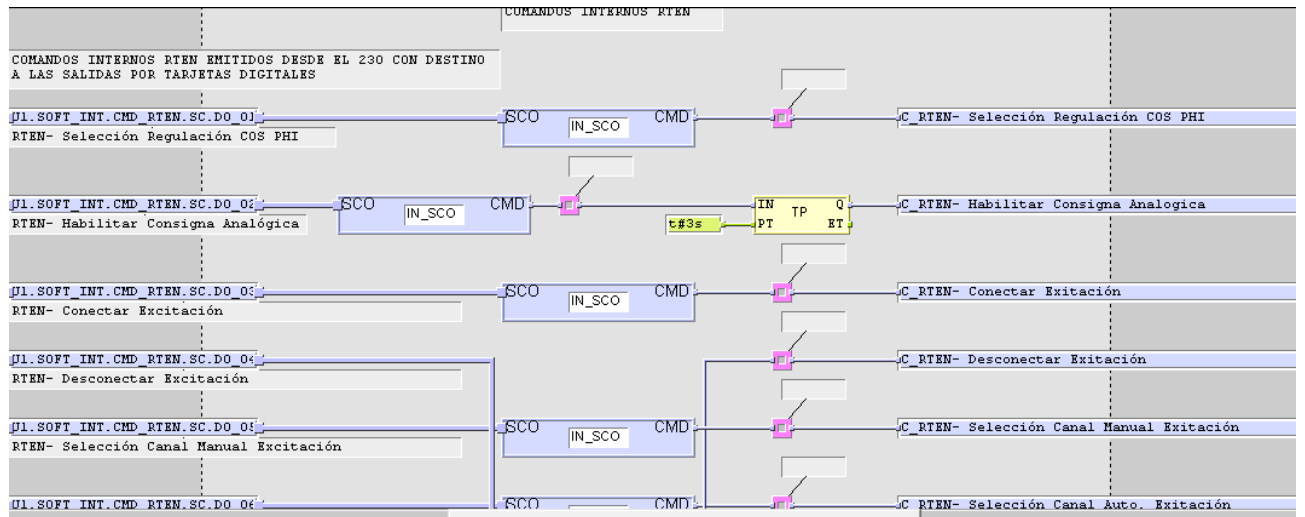
En el proyecto, además de las señales con destino de CAEx Plus es posible crear Variables Globales con el fin de ser usadas en la Lógica de Control y mantener un orden. Con la variable creada es posible usarla en cualquier objeto dentro de la tarjeta que se está programando, de igual forma que una señal de la base de datos del OPM.

CAEx Plus cuenta con dos opciones para la simulación y pruebas lógicas:

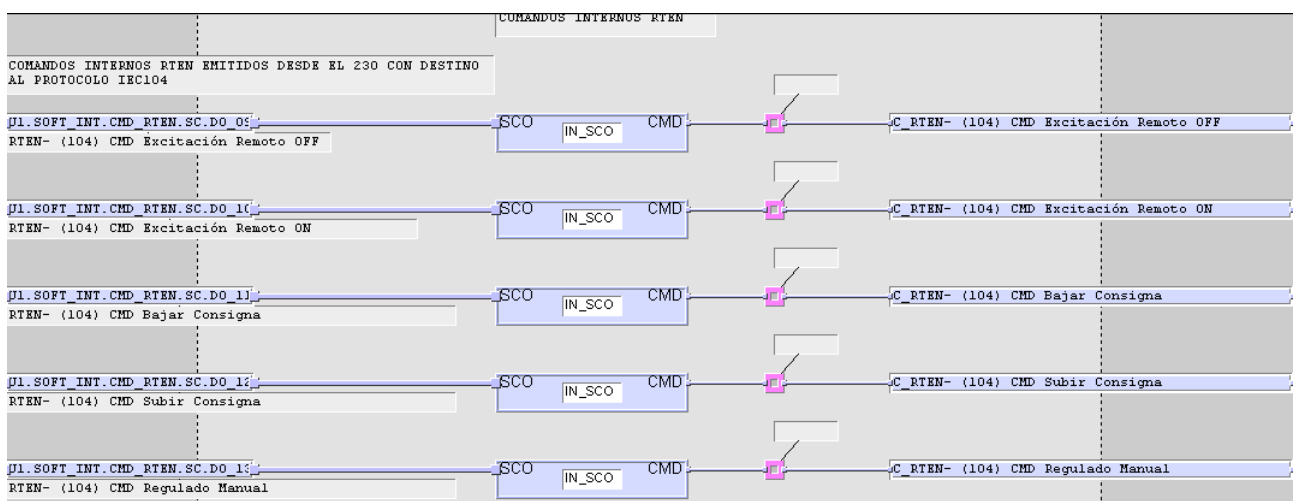
- Offline Simulation: Permite probar una lógica sin tener el controlador para verificar su correcto funcionamiento.
- Online Test: Permite ver el estado de la lógica del controlador en tiempo real con el fin de conocer cómo se está desarrollando lo programado.

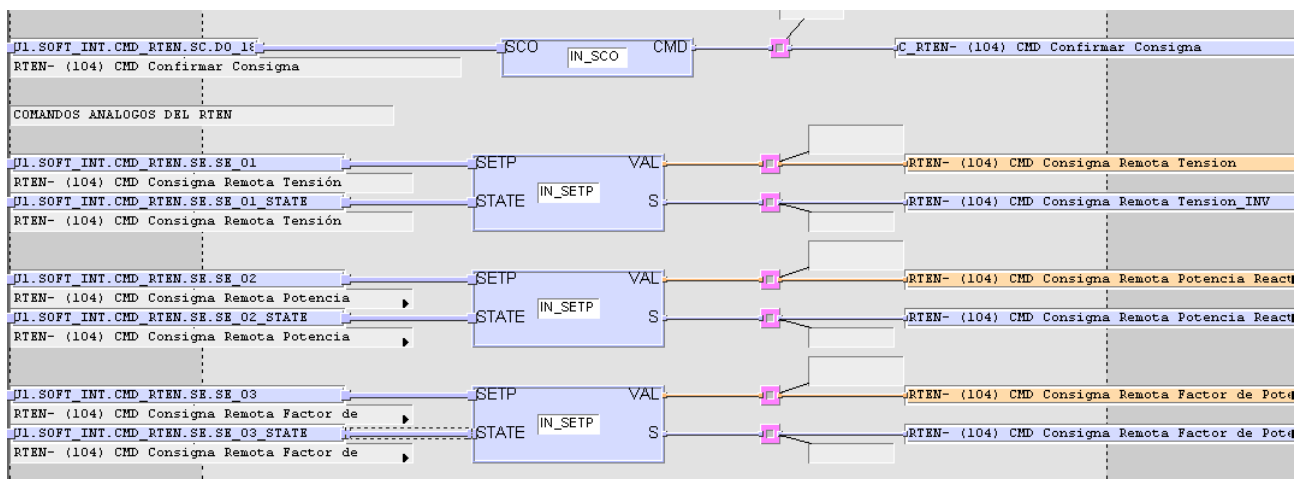
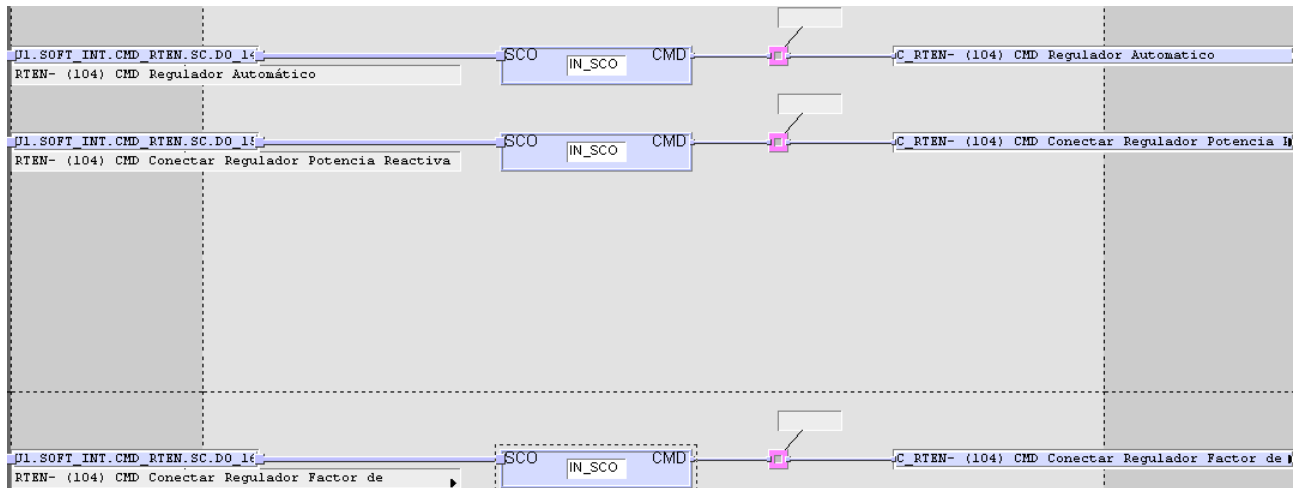
En las siguientes Figuras se muestran todas las lógicas de control para las diferentes señales del regulador de voltaje, entre estas podemos encontrar entradas digitales, entradas analógicas, salidas digitales y señales calculadas.

- 01_Entradas_de_Software
 - Comandos Internos Rten emitidos desde el 230 con destino al protocolo IEC104



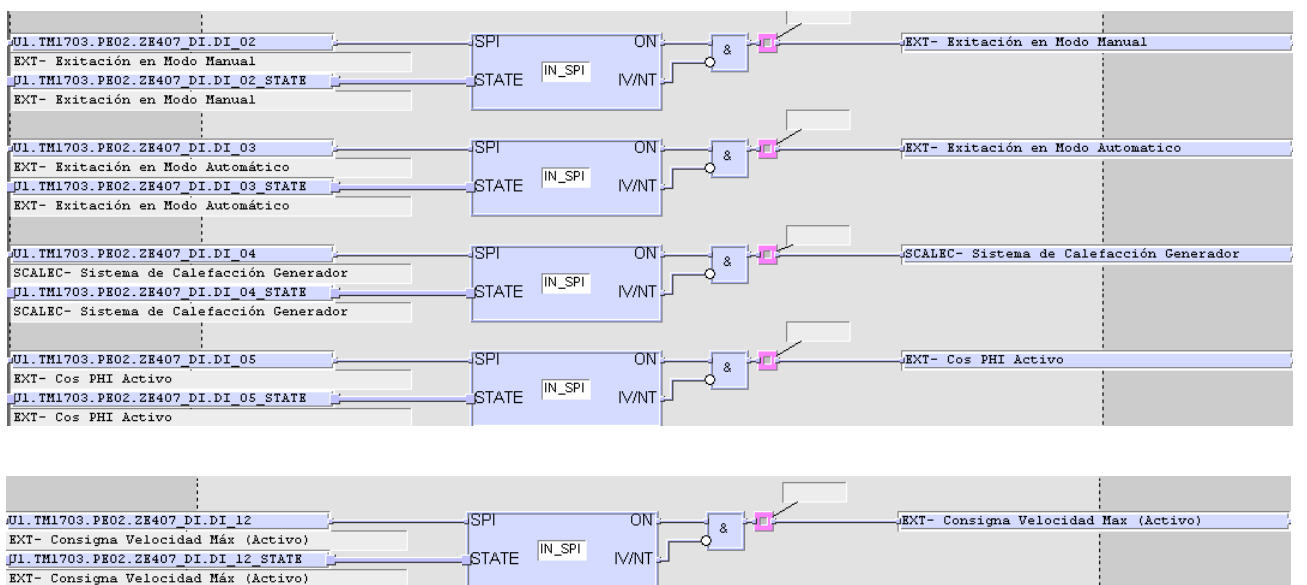
- Comandos Internos RTEN emitidos desde el 230 con destino al protocolo IEC 104



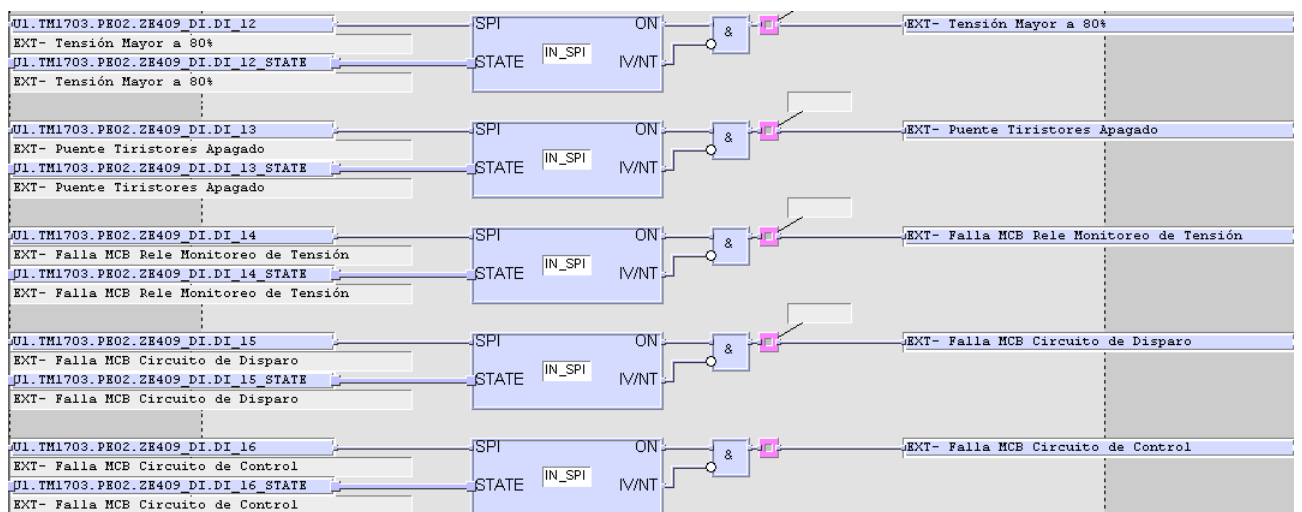
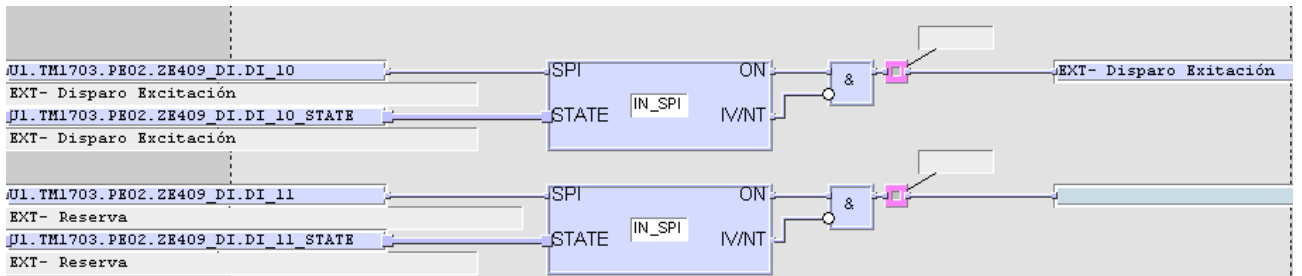
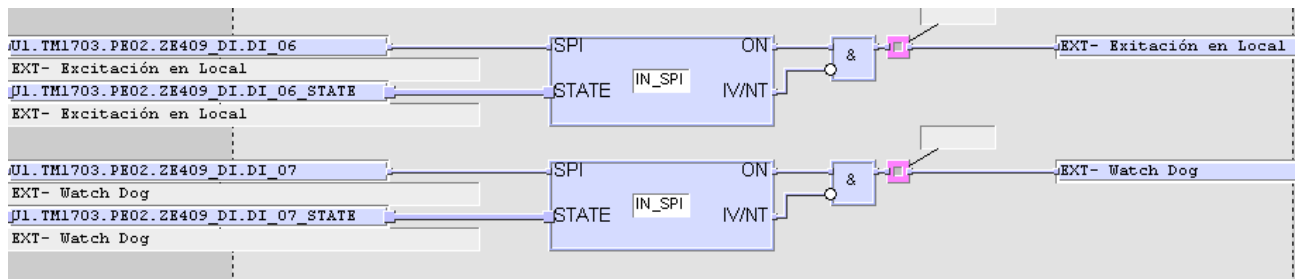
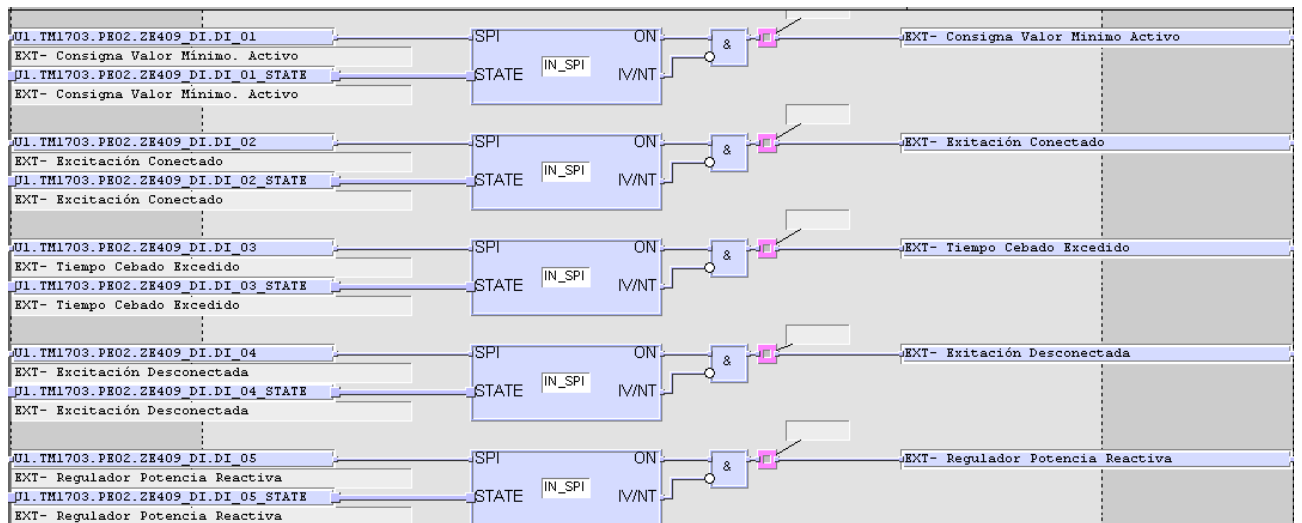


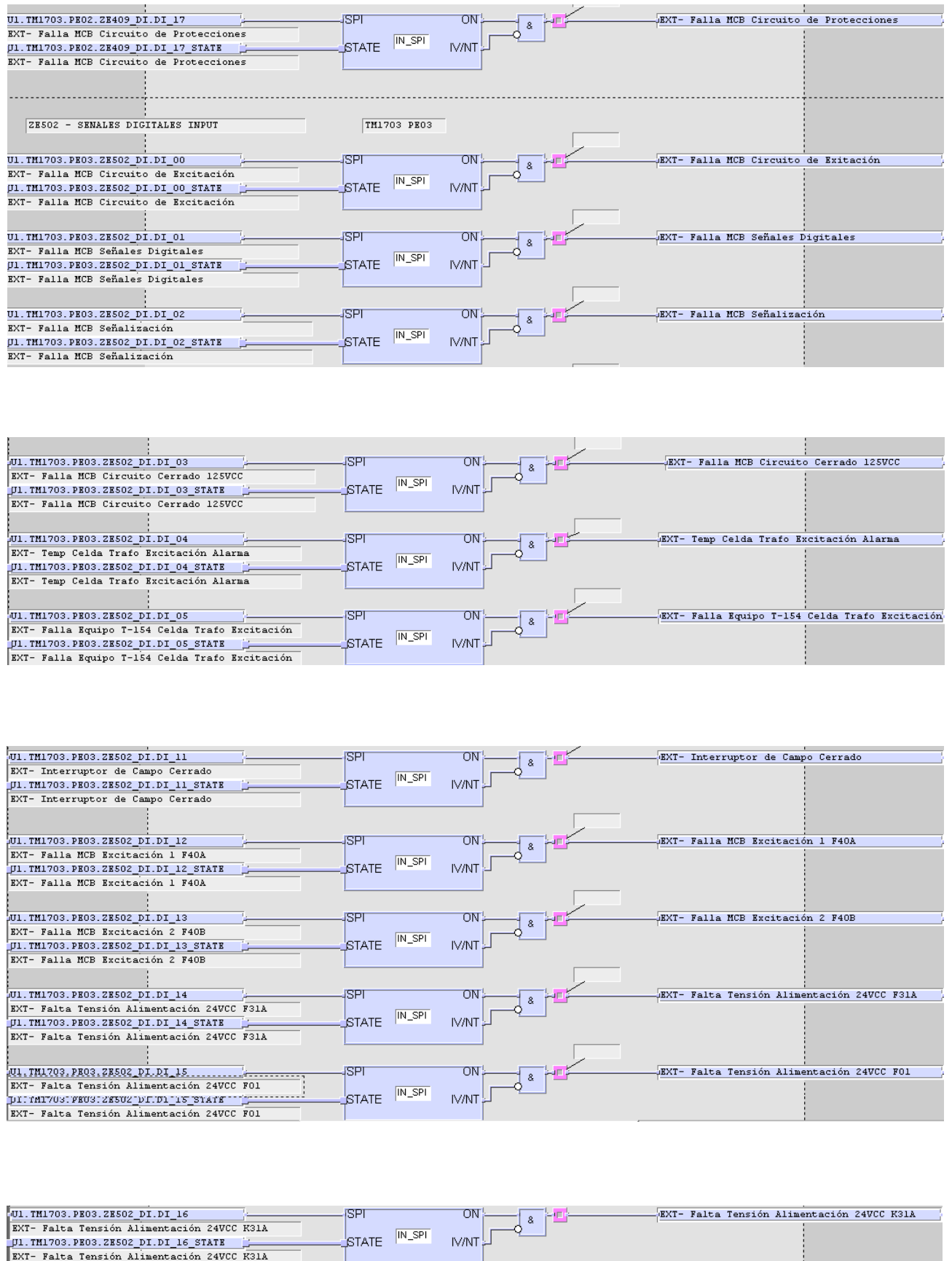
- 020_Entradas_de_Hardware_TM1703

- ZE407 – Señales Digitales Input

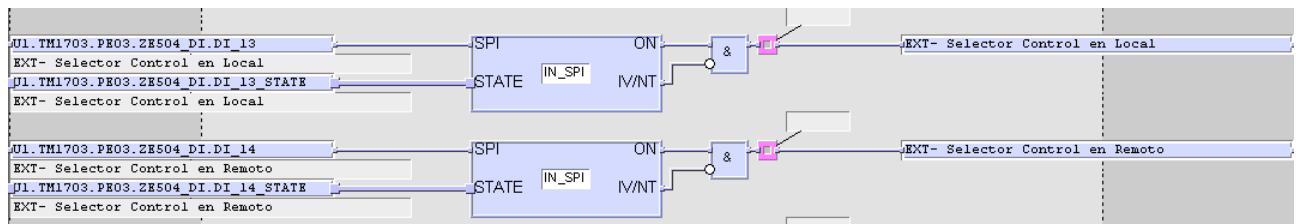


○ ZE409 - Señales Digitales Input

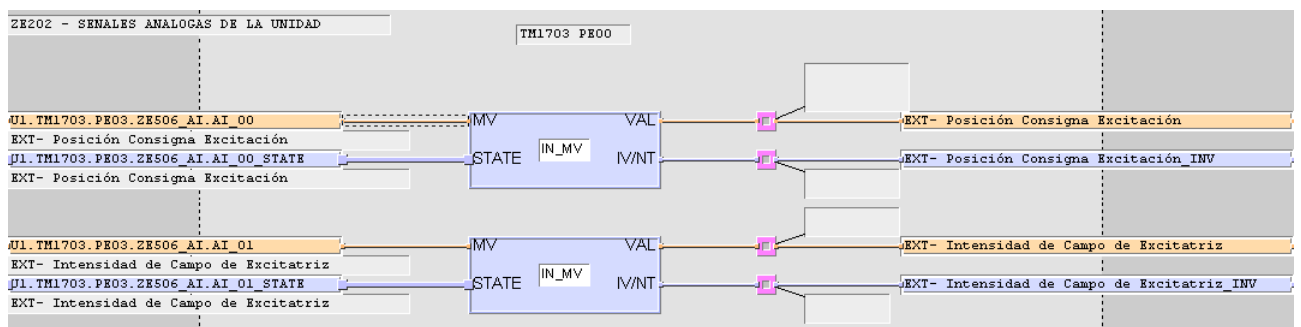




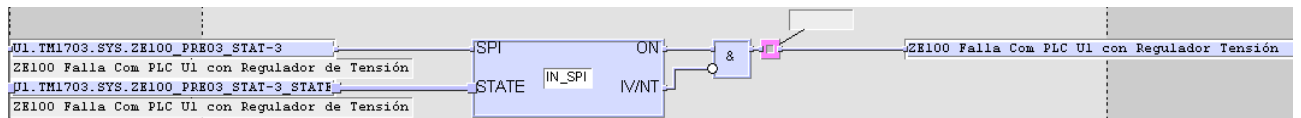
○ ZE504 – Señales Digitales Input



○ ZE202 - Señales análogas de la unidad

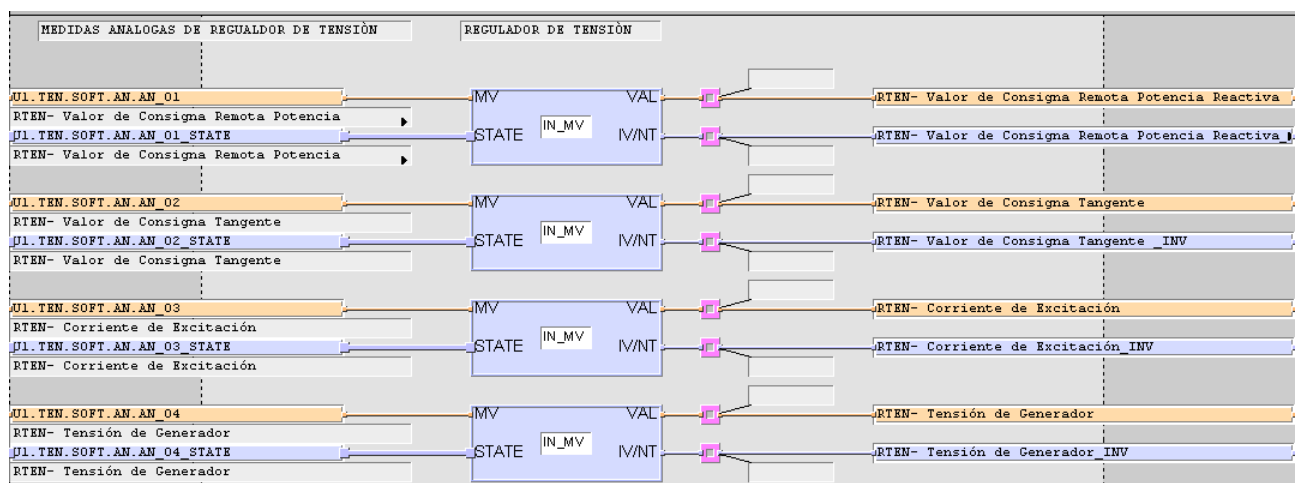


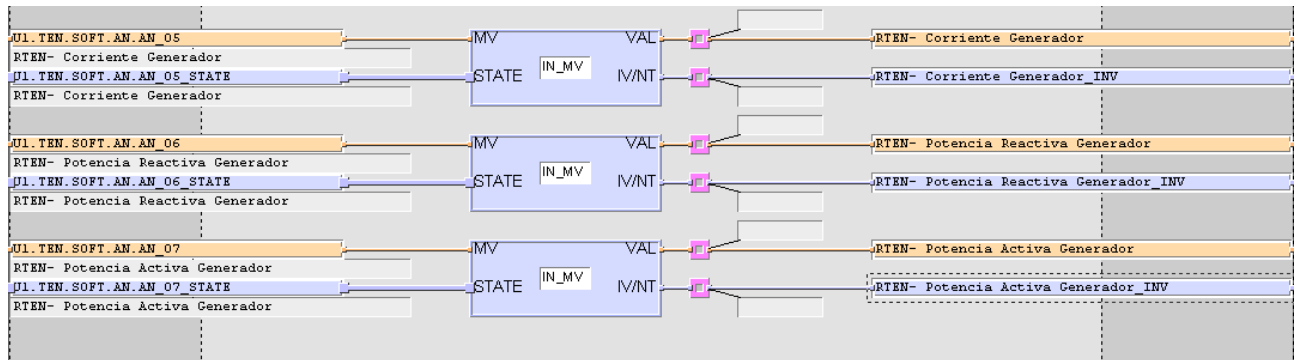
○ Señales de falla comunicación SYS PRE



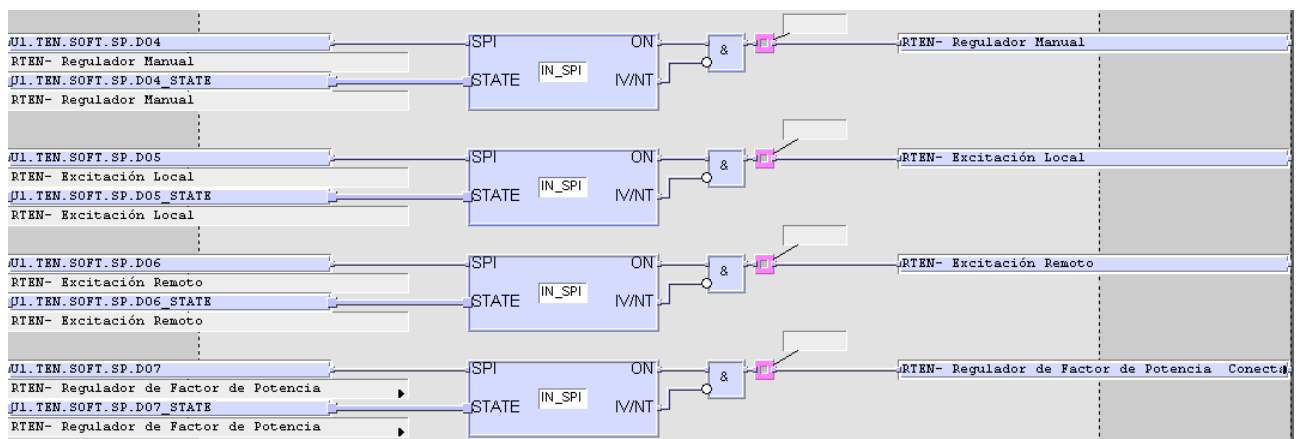
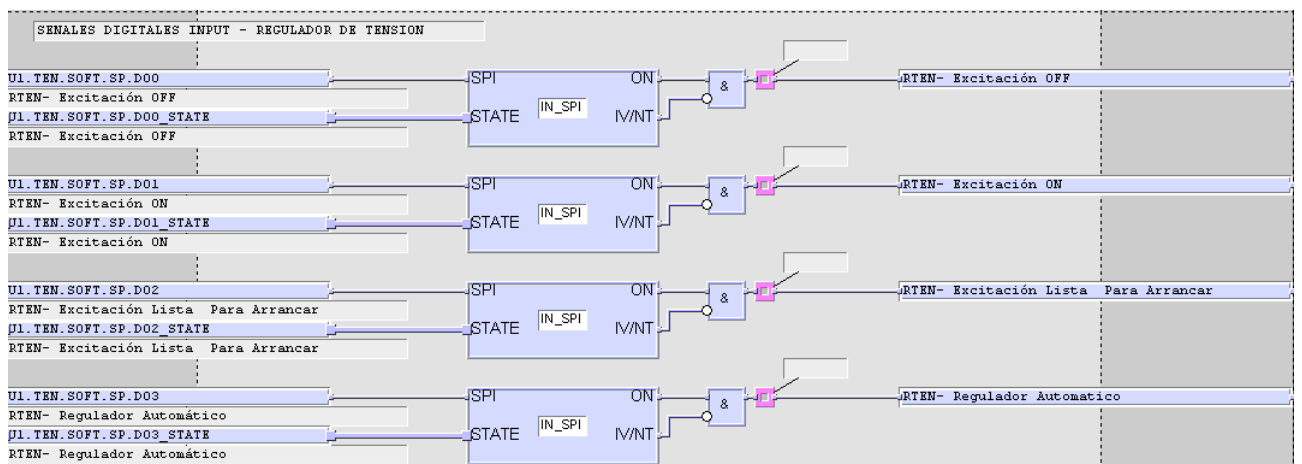
• 023_Entradas_de_Hardware_TEN

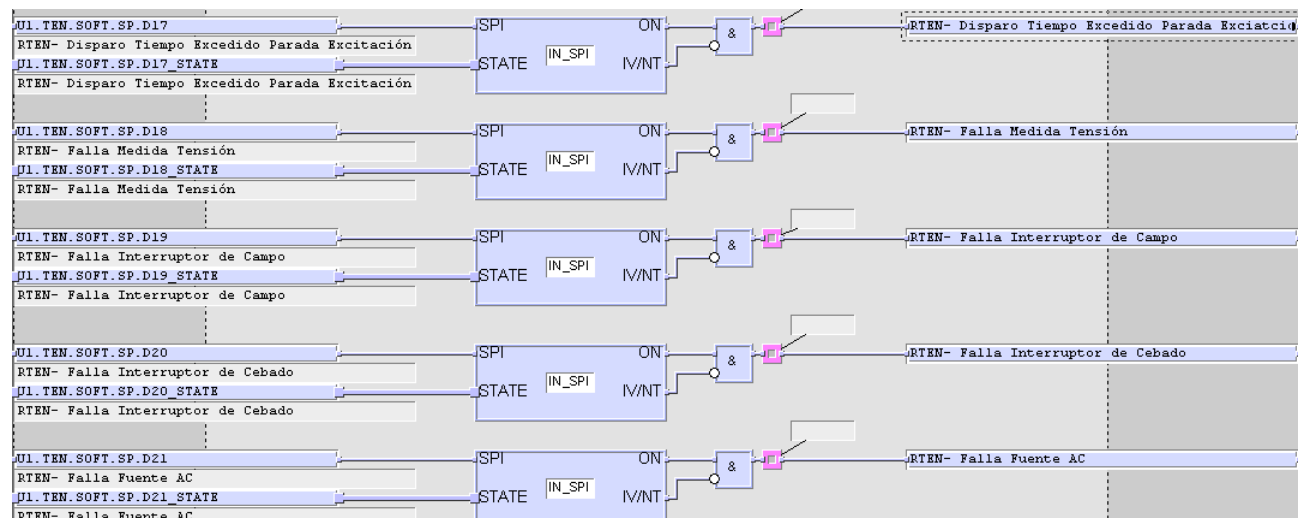
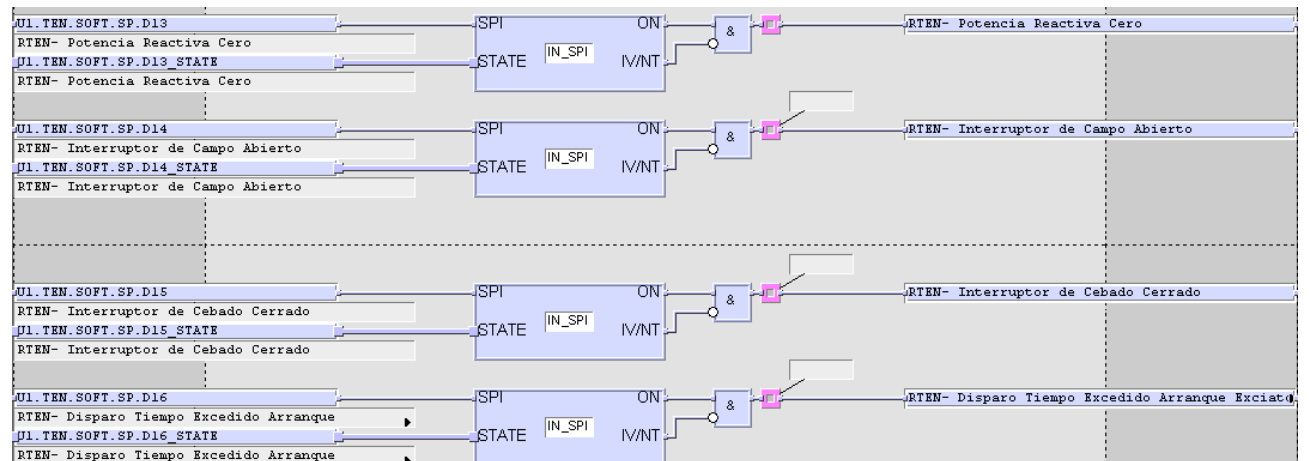
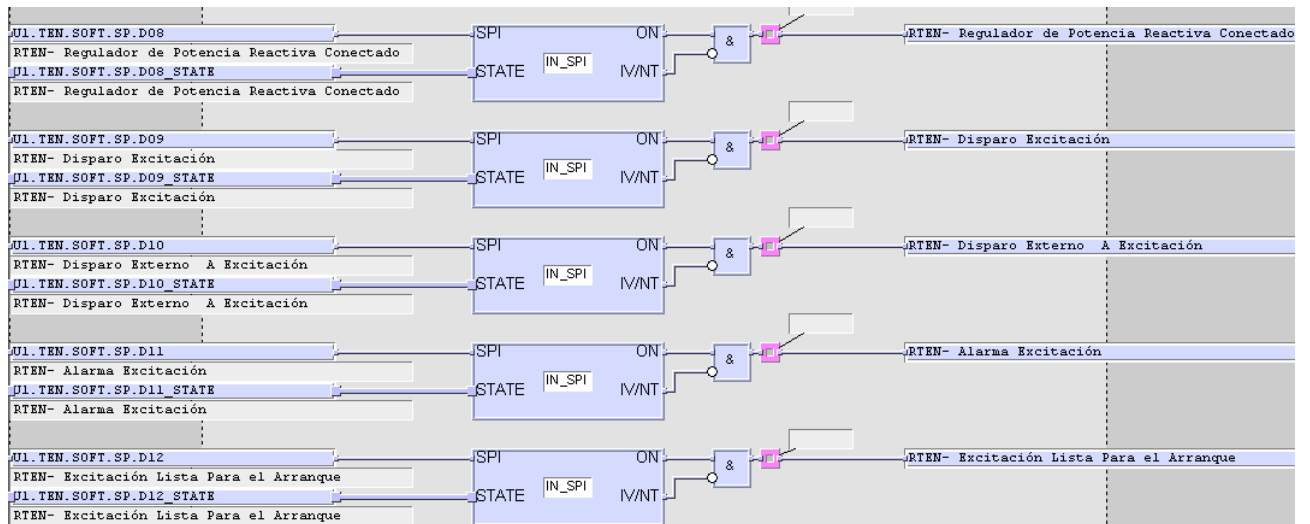
○ Medidas análogas de regulador de tensión

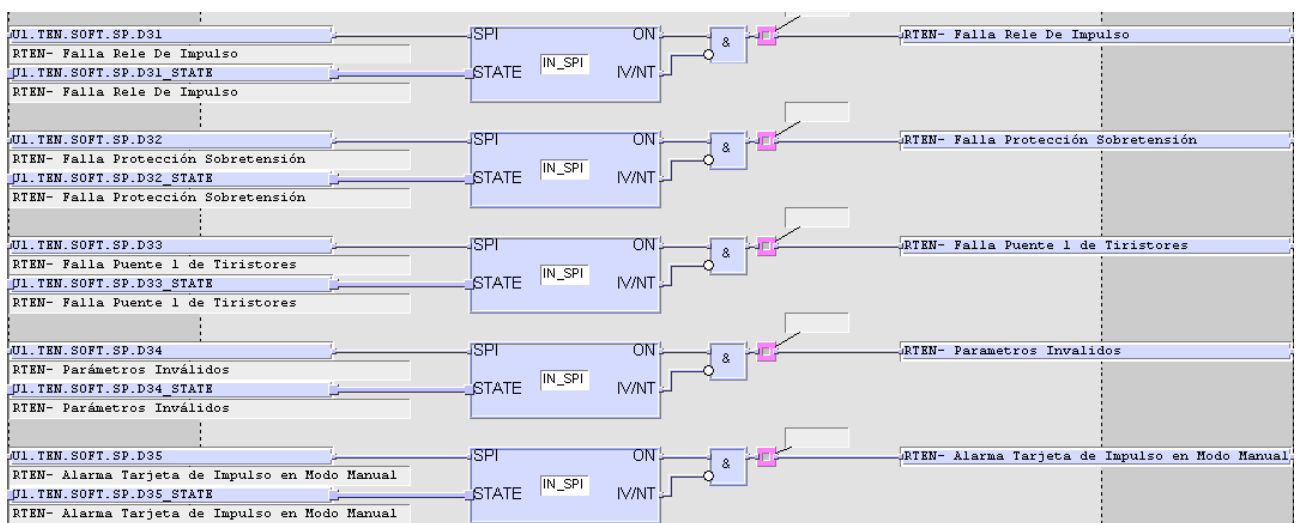
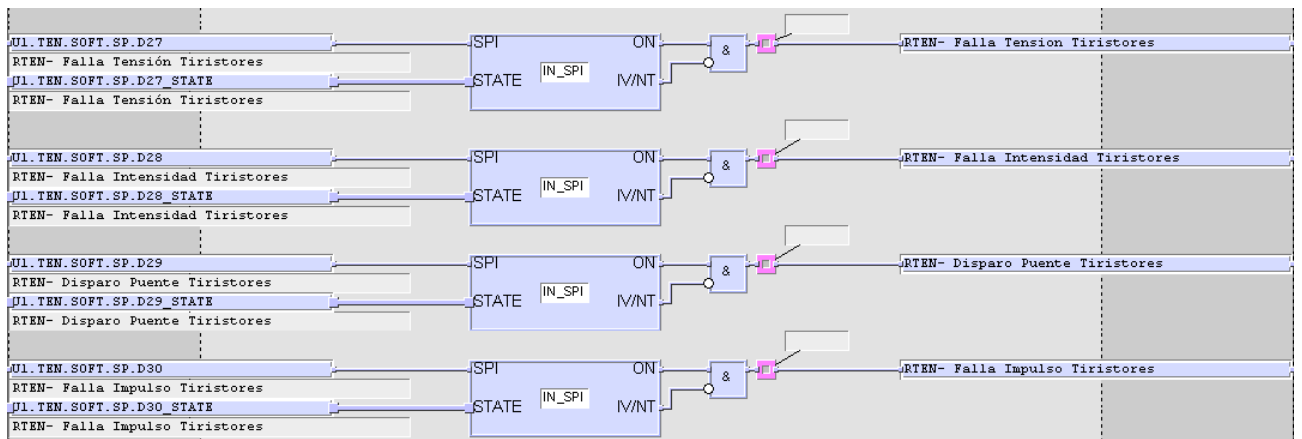
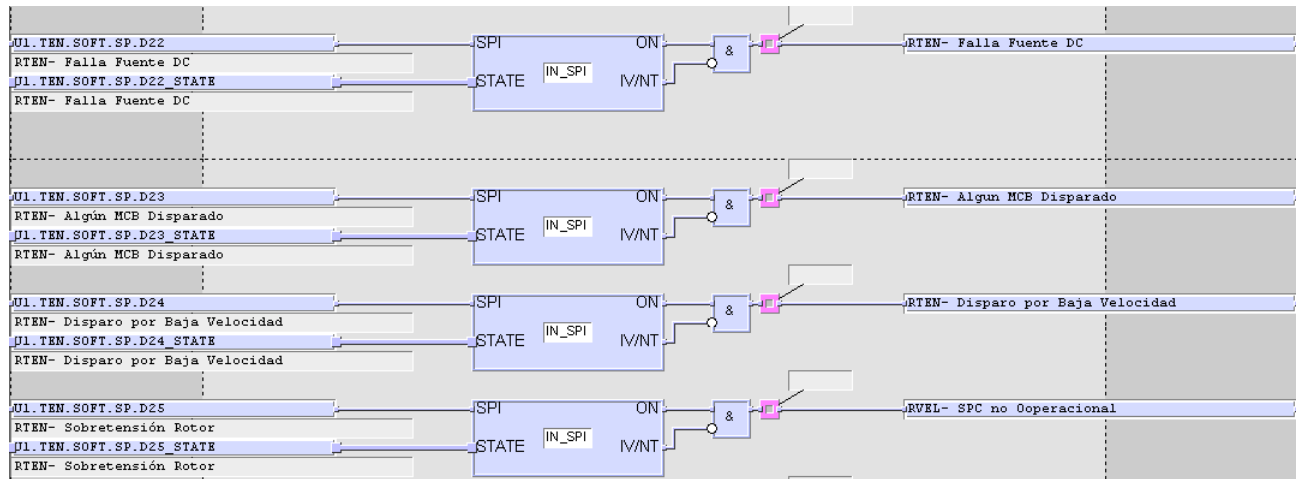


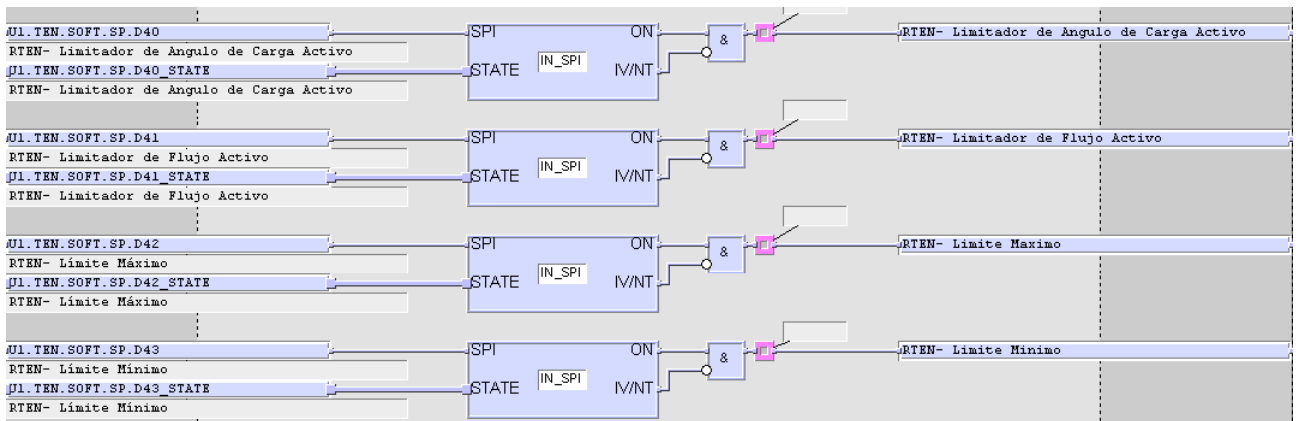
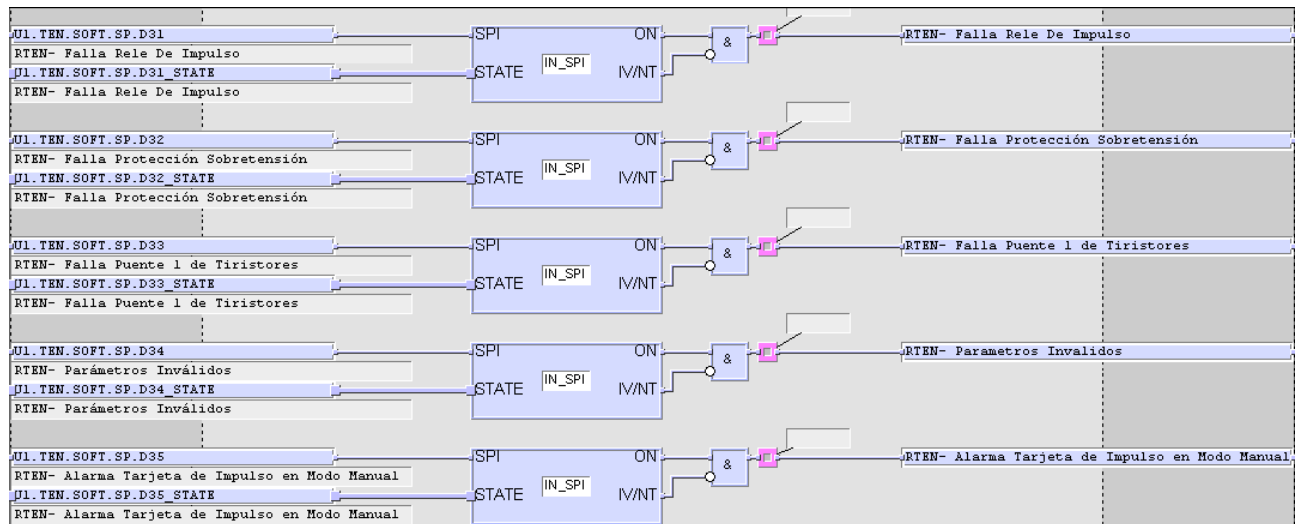


○ Señales digitales INPUT – Regulador de tensión



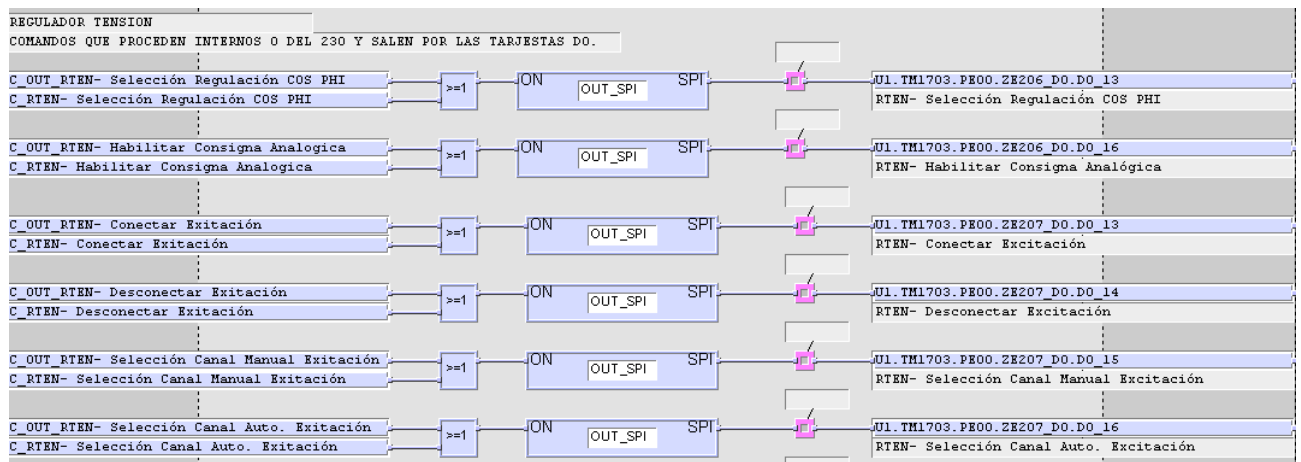


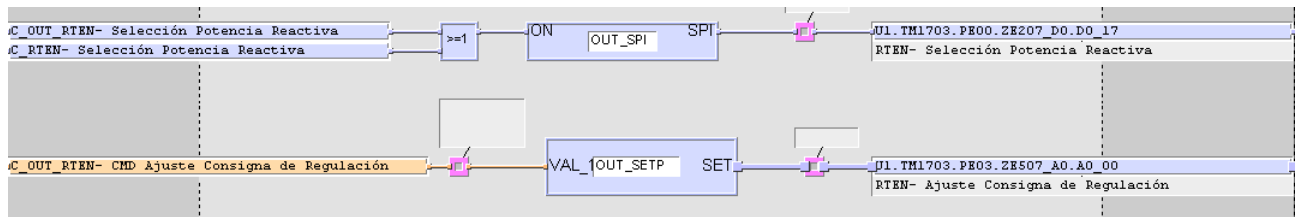




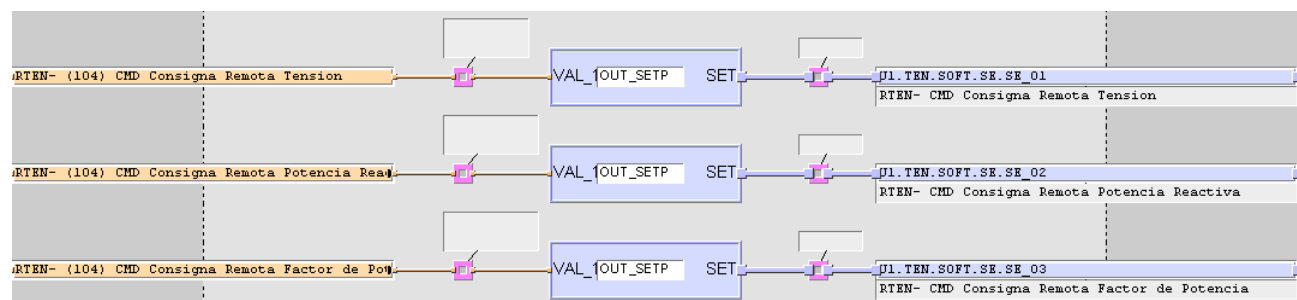
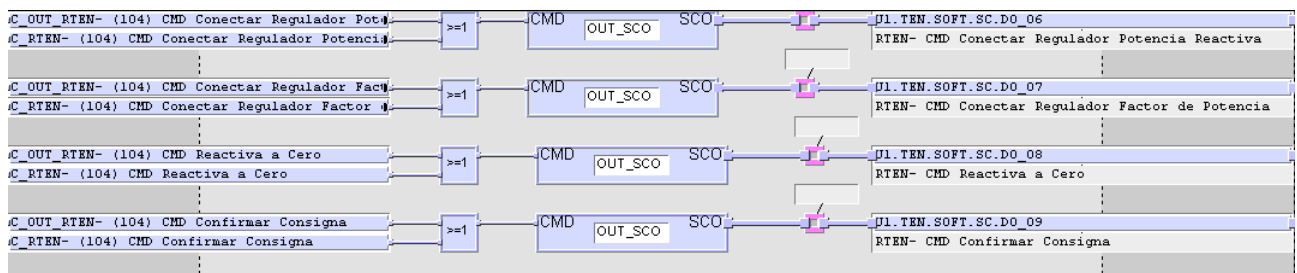
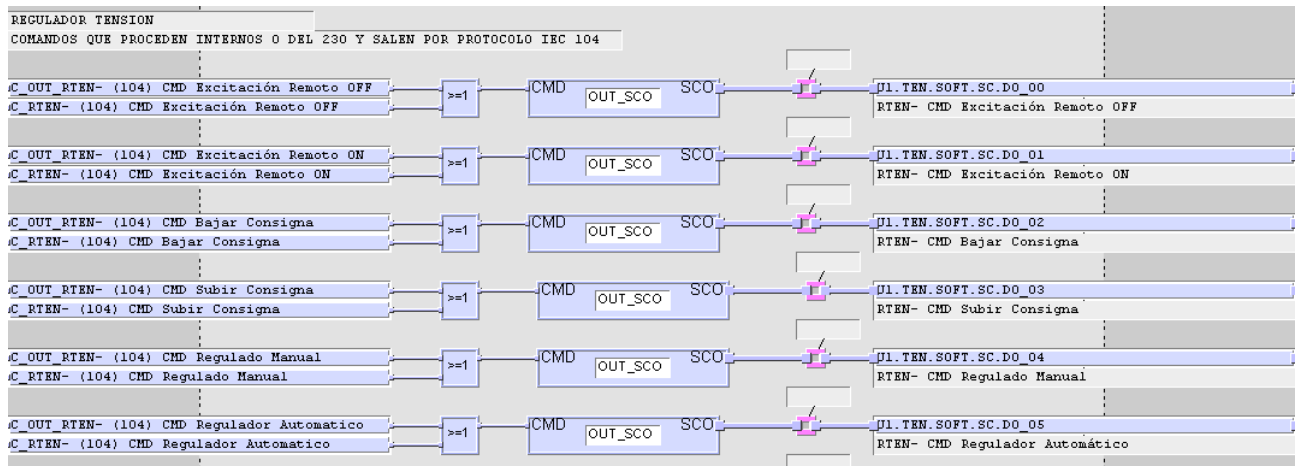
- 37_Salidas_de_Software

- Regulador de tensión (Comandos que proceden internos o del 230 y salen por las tarjetas DO.





- Regulador de voltaje (comandos que proceden internos o del 230 y salen por protocolo IEC 104)



4.2. SICAM 230 (Software para el Sistema SCADA)

El SICAM 230 es un software diseñado para el monitoreo de procesos y control de utilidades en compañías industriales. Dentro de sus funcionalidades se encuentran el manejo de eventos y alarmas según necesidad, reportes, histórico de datos, grafico de

tendencias, entre otros. Posee, además, una fácil integración con controladores de la familia ACP 1703.

4.2.1. Interfaz

En la parte izquierda de la interfaz se tiene la ventana del proyecto o Workspace, donde se encuentran todas las HMI's desarrolladas. Dentro de cada HMI se tiene las opciones propias de cada una como:

- Variables de la aplicación, en donde se tiene el control de la señalización presente en el proyecto de la HMI, por ejemplo, las prioridades de las alarmas.
- Pantallas, en donde se realiza el diseño de las visualizaciones usadas en el proyecto.
- Funciones, se crean las ejecuciones que va a tener la HMI, como cambio de despliegues, reconocimiento de alarmas, comandos del sistema, entre otros.
- Históricos, configuración del almacenamiento de los históricos del sistema.
- Administración de Usuarios, en donde se configuran los usuarios que va a tener el sistema y los niveles de autorización que posee cada uno.
- Archivos propios de la HMI, los cual contienen imágenes usadas en los despliegues, archivos de configuración de protocolo, entre otros.
- Backups del proyecto, en esta parte se crean o importan los backups del proyecto.
- Se crean las interfaces para puestos de operación, servidores y los HMI en los tableros de pie de máquina.

En la parte inferior de la ventana se tienen las propiedades de cada función seleccionada y los logs de la aplicación. En la parte derecha se tienen objetos para la creación de Despliegues del Sistema como se puede observar en la Figura 4.7.

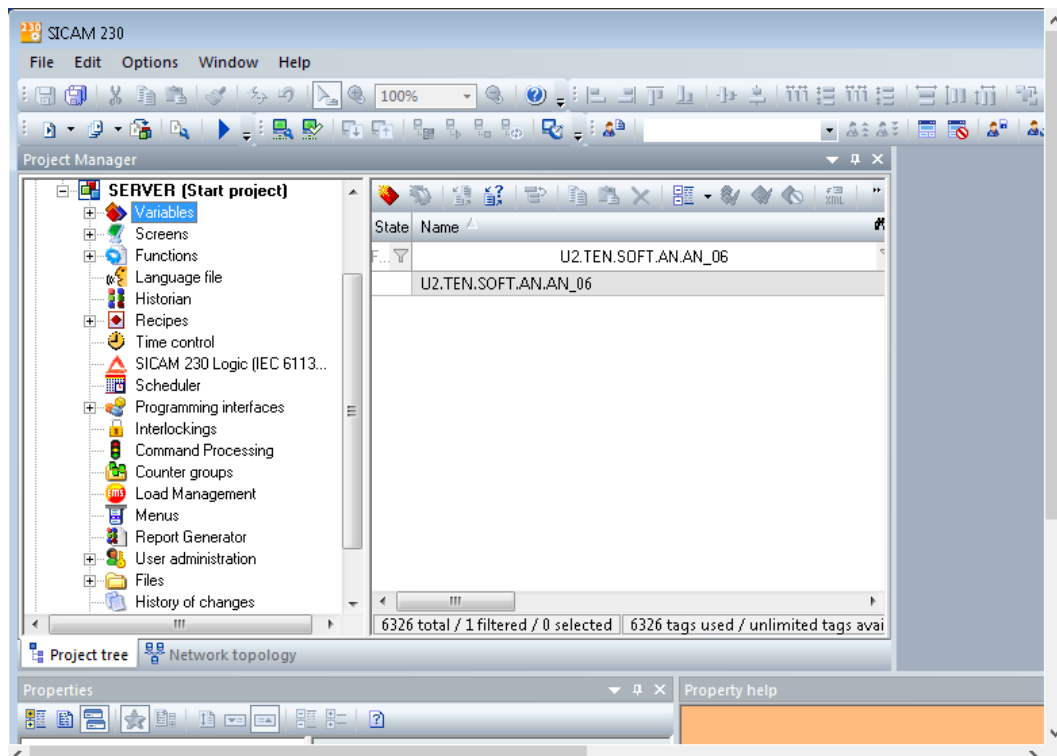


Figura 4.7: Interfaz SICAM 230.

Fuente: Autor.

4.2.2. Escalamiento de Señales

En la aplicación OPM se crean diferentes señales, con los LINKs o destinos necesarios para cada una, sin embargo, para poder utilizarlas en las otras aplicaciones o herramientas es necesario realizar una exportación o una transformación. Como se puede observar en la Figura 4.8, se debe, en primera instancia, acceder a la pestaña Target Systems y seccionar la aplicación, en este caso SICAM 230. Al dar clic sobre Generate se abre una nueva ventana como se puede observar en la Figura 4.9; esta ventana permite seleccionar el grupo al que se desea generar la exportación, para este ejemplo IHMU1 y la forma de exportación: solo modificaciones o generación de señales completas.

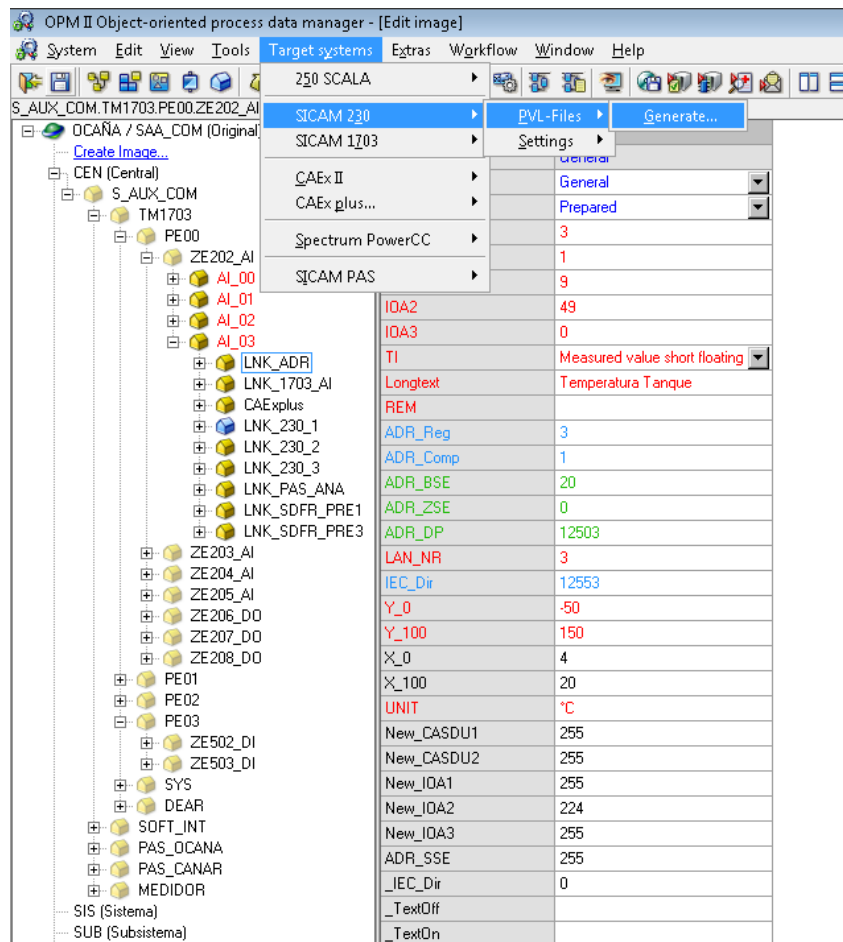


Figura 4.8: Exportar Señales a SICAM 230.

Fuente: Autor.

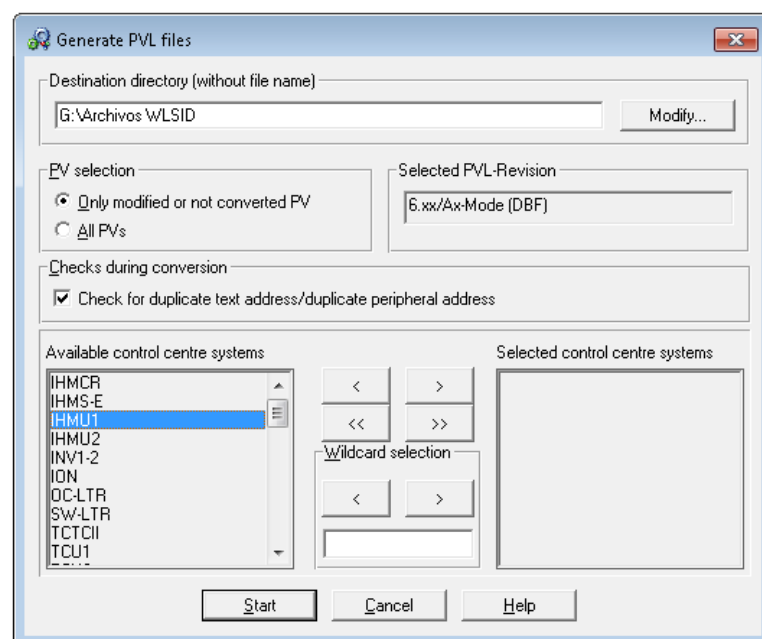


Figura 4.9: Generar Señales para SICAM 230.

Fuente: Autor.

Con este proceso anterior se tendría un archivo .dbf con autonumeración tal como se muestra en la Figura 4.10.

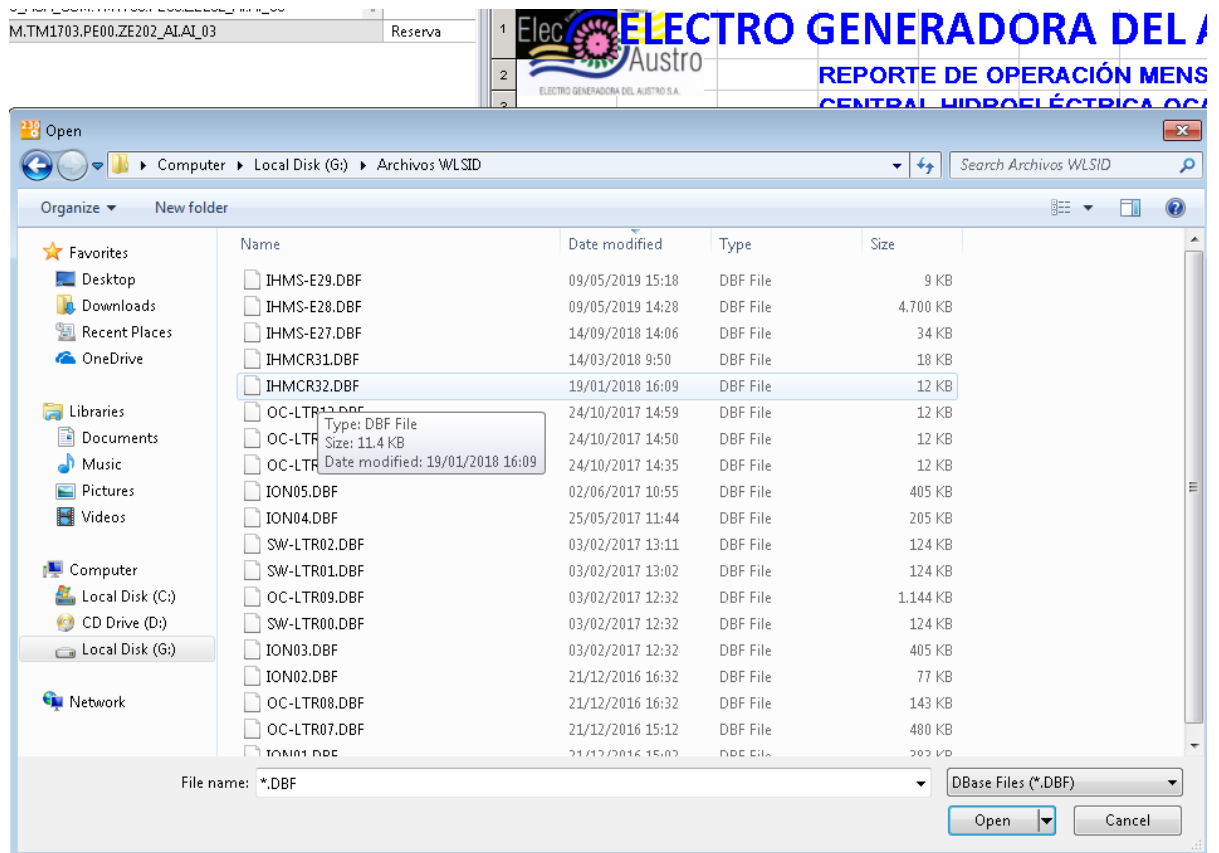


Figura 4.10: Archivos generados .DBF.

Fuente: Autor.

Por otra parte, para la transformación de la base de datos de señales a CAEx Plus para luego ser utilizadas en la lógica y del controlador 1703 se lo realiza como lo muestran las Figuras 11, 12 y 13, respectivamente.

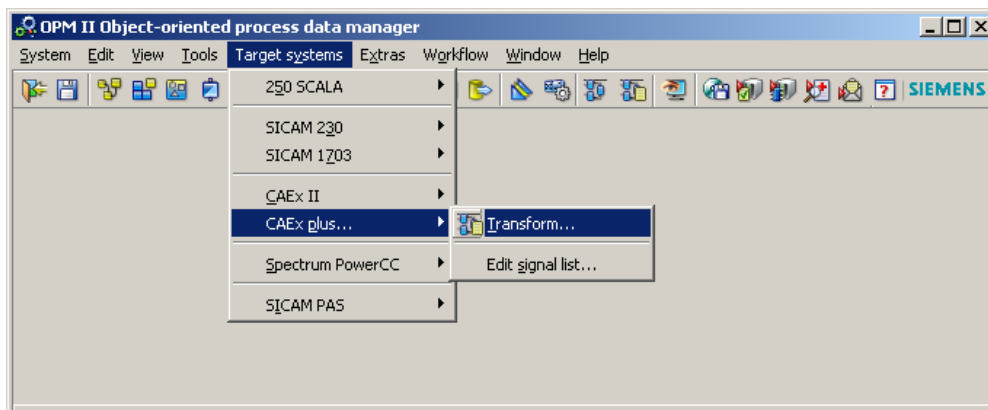


Figura 4.11: Transformación de la base de datos a CAEx Plus.

Fuente: Autor.

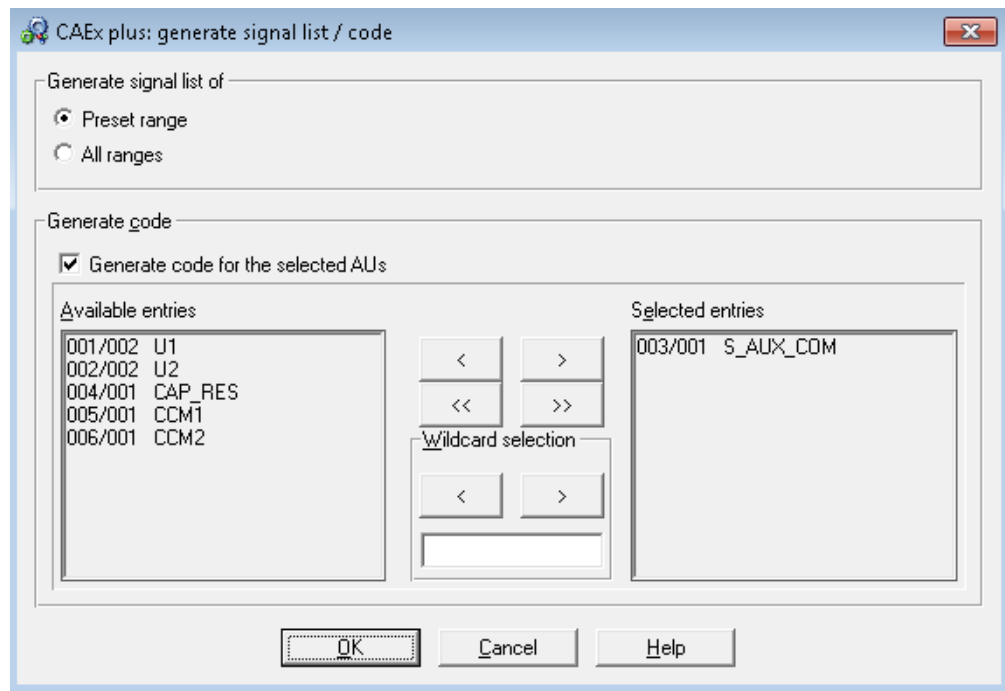


Figura 4.12: Transformación del presente Rango de señales o de todas las señales de la Planta a controlar.

Fuente: Autor.

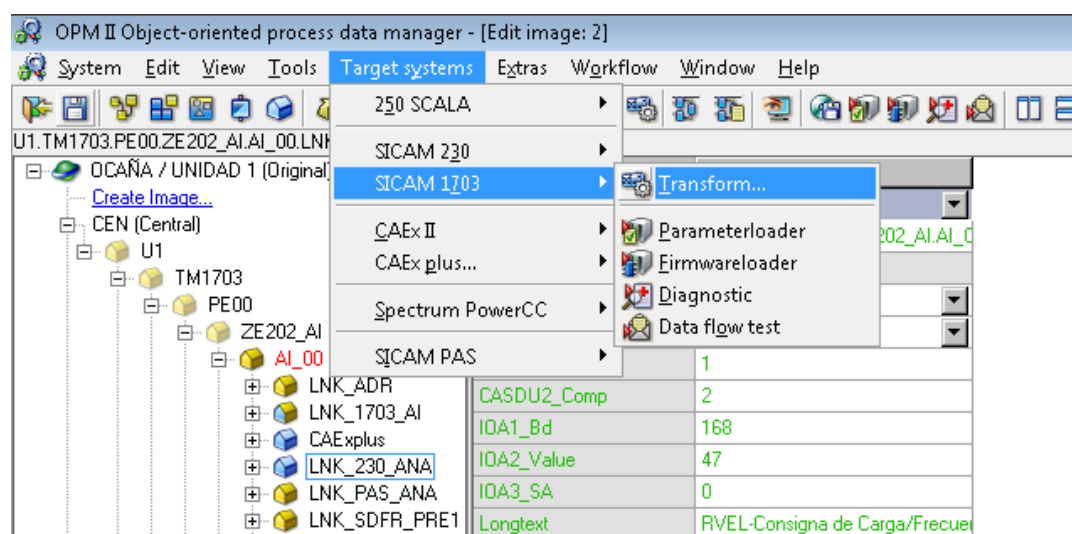


Figura 4.13: Transformación del controlador 1703.

Fuente: Autor.

4.2.3. Cargar Señales

Para importar las señales de la base de datos de ToolBox II, se carga el archivo .dbf exportado del software en la pestaña Variables como lo muestra la Figura 4.14.

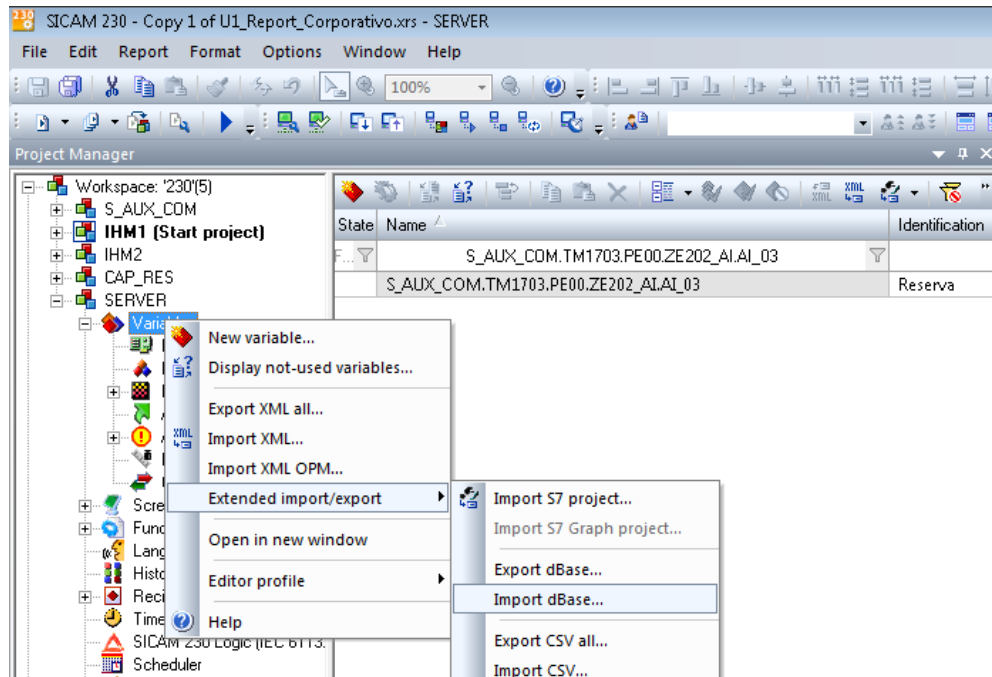


Figura 4.14: Importar base de datos de Toolbox II.

Fuente: Autor.

Al terminar la importación, si existe algún error de dirección el Software lo reporta en la ventana Output (parte inferior de la imagen). Al importar el archivo se tiene la base de datos desarrollada en ToolBox en el Software SICAM 230 en la pestaña Variables.

4.2.4. Interfaz Hombre – Máquina

La Interfaz Hombre Maquina es una SIMATIC PANEL PC Touchscreen, con sistema Operativo Windows 7. Es un computador con pantalla táctil como se puede observar en la Figura 4.15, al cual se le instala el Software de Runtime de SICAM 230.

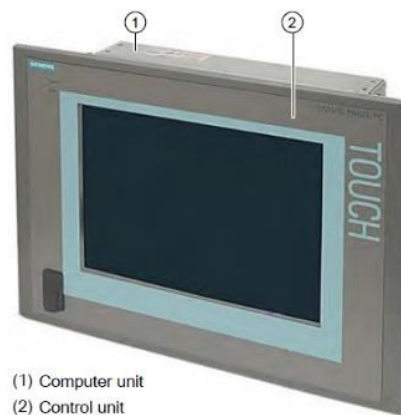


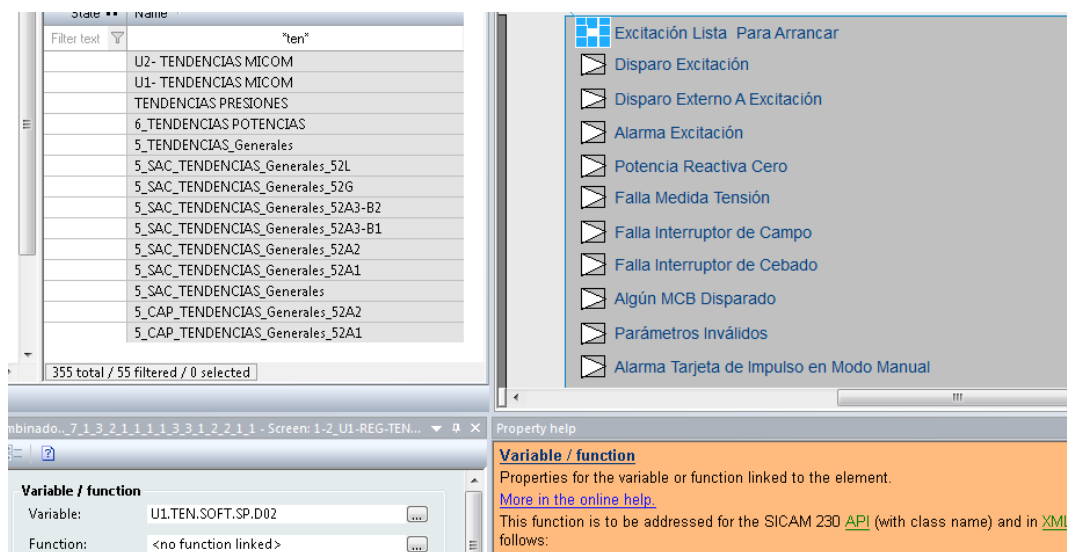
Figura 4.15: SIMATIC PANEL PC Tuchsreen.

Fuente: (SIEMENS, 2009)

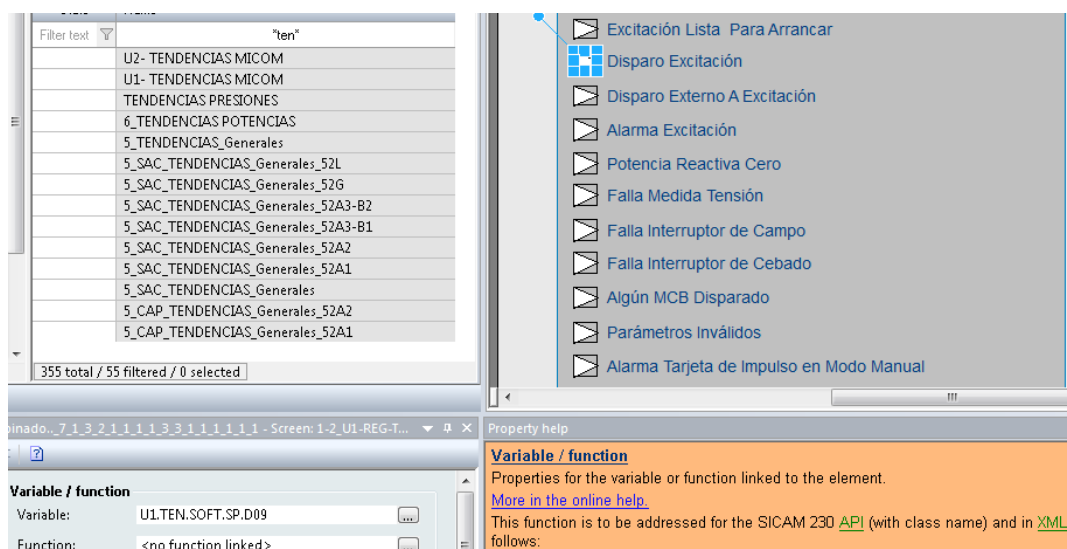
4.2.5. SICAM 230 aplicado al Regulador automático de voltaje de la Central Ocaña

En las siguientes figuras se puede observar el IHM correspondiente al regulador automático de voltaje de la Central Hidroeléctrica Ocaña con cada una de las acciones que realiza dicha pantalla por medio de las señales que recibe.

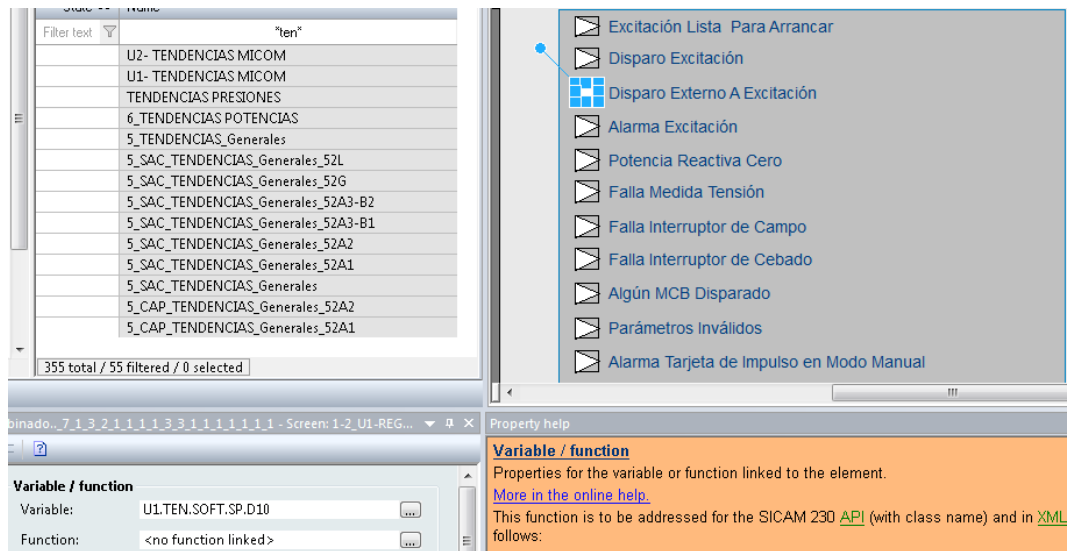
- Pantalla
 - Excitación lista para arrancar – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D02



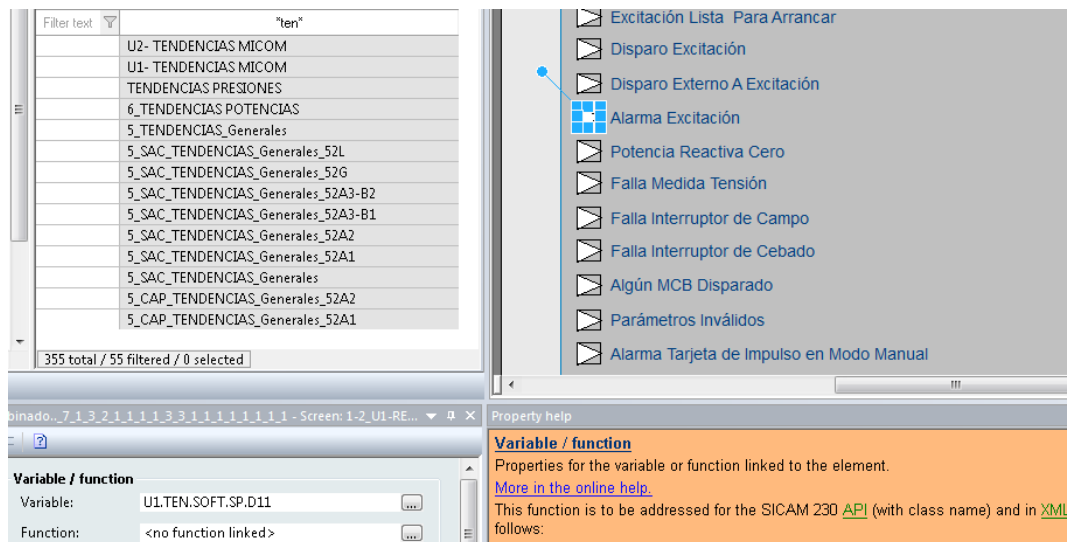
- Disparo Excitación – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D09



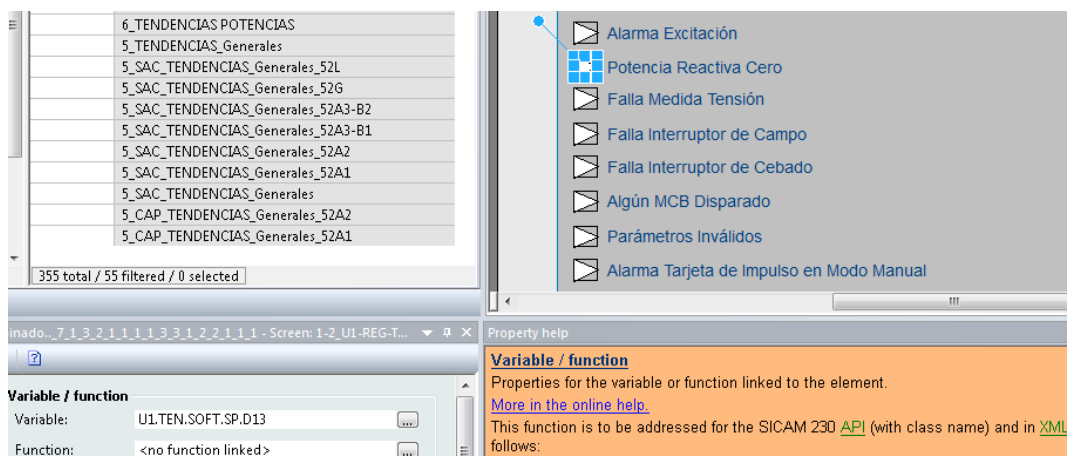
- Disparo Externo a Excitación – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D10



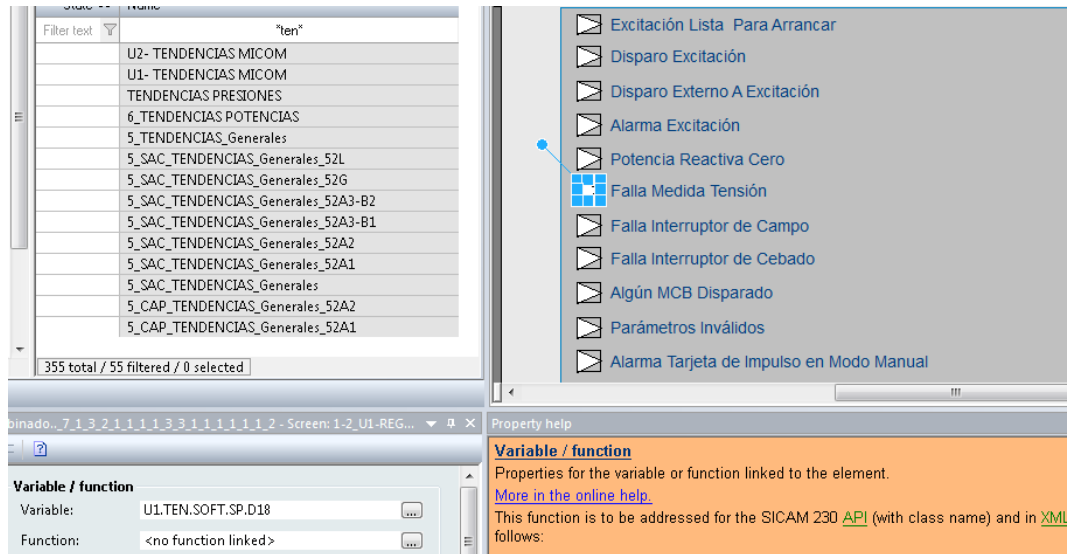
- Alarma Excitación – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D11



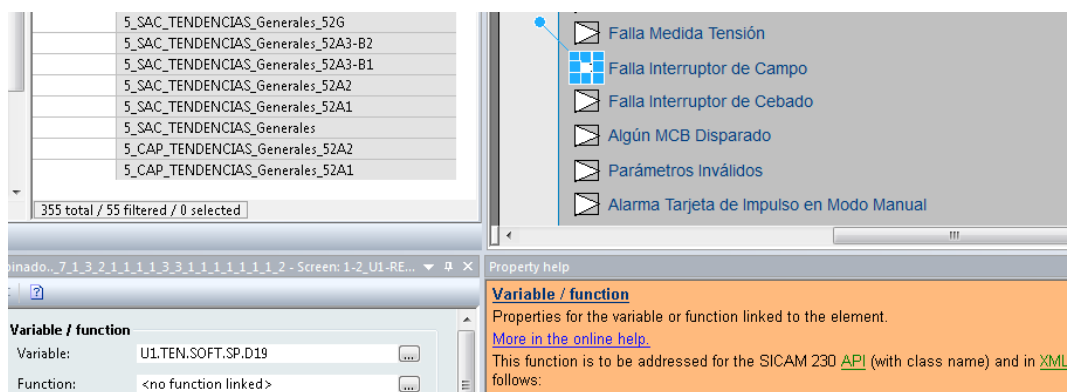
- Potencia Reactiva Zero – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D13



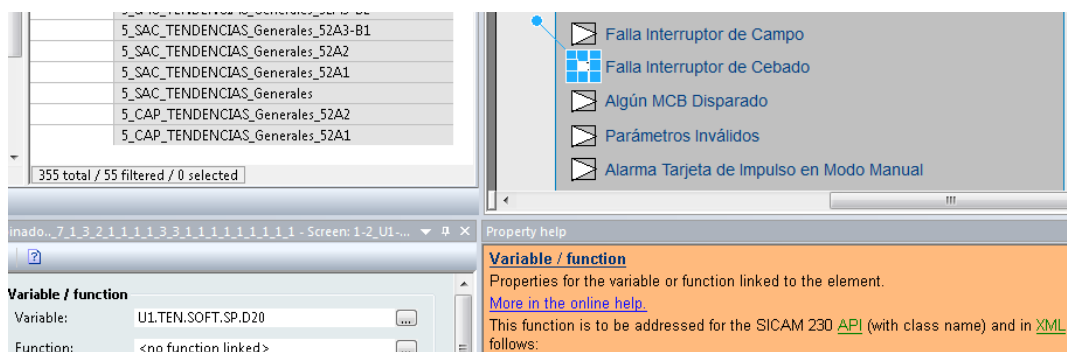
- Falla Medida Tensión – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D182



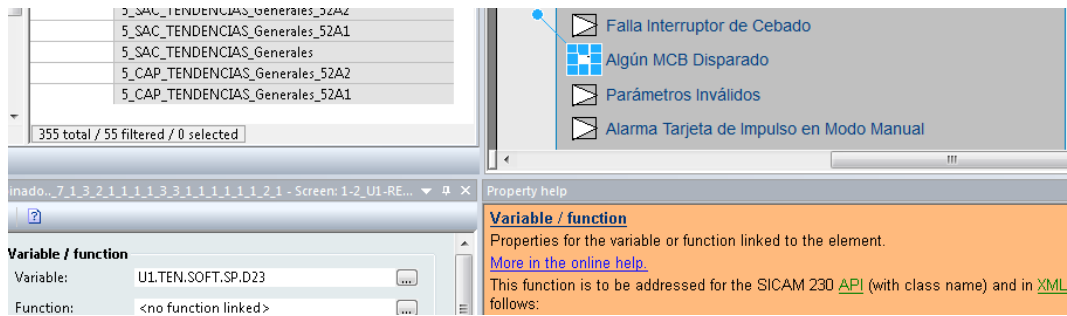
- Falla interruptor de campo – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D19



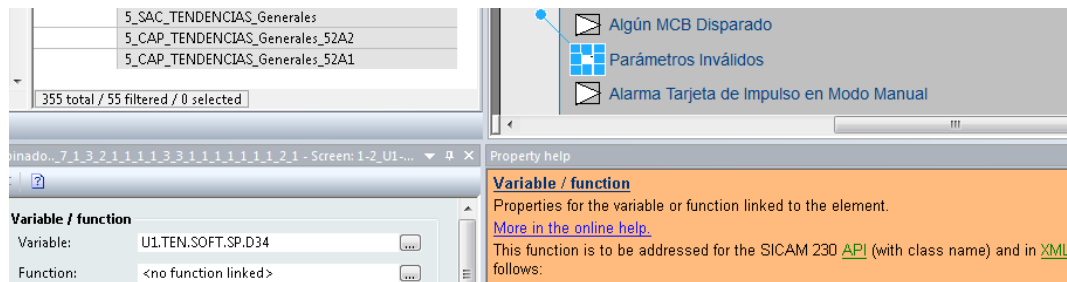
- Falla interruptor de Cebado – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D20



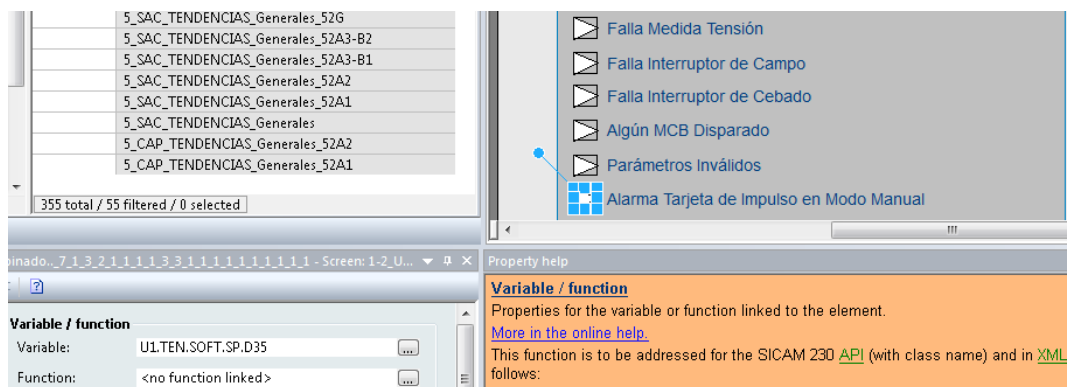
- Algún MCB Disparado – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D23



- Parámetros Inválidos – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D34

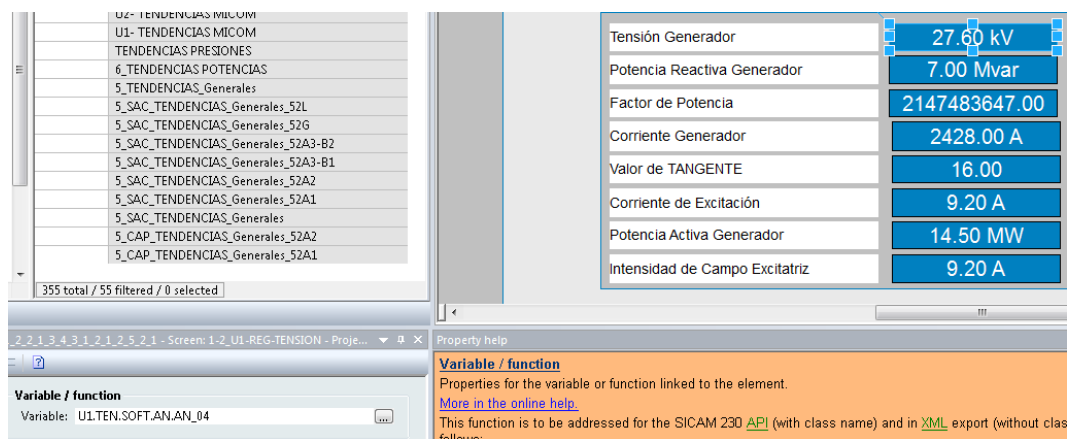


- Alarma Tarjeta de Impulso en Modo Manual – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D35



- Medidas

- Tensión del Generador – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_04



○ Potencia Reactiva Generador – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_06

The screenshot displays the software interface for configuring variables. On the left, a tree view lists various components under 'TENDENCIAS PRESIONES'. The main panel on the right shows a table of variables and their values:

Tensión Generador	27.60 kV
Potencia Reactiva Generador	7.00 Mvar
Factor de Potencia	2147483647.00
Corriente Generador	2428.00 A
Valor de TANGENTE	16.00
Corriente de Excitación	9.20 A
Potencia Activa Generador	14.50 MW
Intensidad de Campo Excitatriz	9.20 A

Below the table, the 'Variable / function' section shows the variable 'U1.TEN.SOFT.AN.AN_06' selected. A note indicates that this function is to be addressed for the SICAM 230 API (with class name) and in XML export (without class name).

○ Factor de Potencia – Variable:
U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.AN.AN_01

The screenshot displays the software interface for configuring variables. On the left, a tree view lists various components under 'TENDENCIAS PRESIONES'. The main panel on the right shows a table of variables and their values:

Tensión Generador	27.60 kV
Potencia Reactiva Generador	7.00 Mvar
Factor de Potencia	2147483647.00
Corriente Generador	2428.00 A
Valor de TANGENTE	16.00
Corriente de Excitación	9.20 A
Potencia Activa Generador	14.50 MW
Intensidad de Campo Excitatriz	9.20 A

Below the table, the 'Variable / function' section shows the variable 'U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.AN.AN_01' selected. A note indicates that this function is to be addressed for the SICAM 230 API (with class name) and in XML export (without class name).

○ Corriente Generador – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_05

The screenshot displays the software interface for configuring variables. On the left, a tree view lists various components under 'TENDENCIAS PRESIONES'. The main panel on the right shows a table of variables and their values:

Tensión Generador	27.60 kV
Potencia Reactiva Generador	7.00 Mvar
Factor de Potencia	2147483647.00
Corriente Generador	2428.00 A
Valor de TANGENTE	16.00
Corriente de Excitación	9.20 A
Potencia Activa Generador	14.50 MW
Intensidad de Campo Excitatriz	9.20 A

Below the table, the 'Variable / function' section shows the variable 'U1.TEN.SOFT.AN.AN_05' selected. A note indicates that this function is to be addressed for the SICAM 230 API (with class name) and in XML export (without class name).

○ Valor de Tangente – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_02

Variable / function

Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_02

Property help

Variable / function
Properties for the variable or function linked to the element.
[More in the online help.](#)
This function is to be addressed for the SICAM 230 [API](#) (with class name) and in [XML](#) export (without cla

○ Corriente de Excitación – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_03

Variable / function

Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_03

Property help

Variable / function
Properties for the variable or function linked to the element.
[More in the online help.](#)
This function is to be addressed for the SICAM 230 [API](#) (with class name) and in [XML](#) export (without cla

○ Potencia Activa Generador – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_07

Variable / function

Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_07

Property help

Variable / function
Properties for the variable or function linked to the element.
[More in the online help.](#)
This function is to be addressed for the SICAM 230 [API](#) (with class name) and in [XML](#) export (without cla

○ Intensidad de Campo Excitatriz –
Variable: U1.TM1703.PE03.ZE506_AI.AI_01

Variable / function

Properties for the variable or function linked to the element.

[More in the online help.](#)

This function is to be addressed for the SICAM 230 [API](#) (with class name) and in [XML](#) export (without class name).

- Estados del sistema

- Estado de operación excitación – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D00

ESTADOS DEL SISTEMA

ESTADO DE OPERACIÓN EXCITACION **INVALIDO**

ESTADO DE OPERACIÓN REGULADOR **INVALIDO**

NIVEL DE OPERACIÓN **INVALIDO**

MODO DE CONTROL

POTENCIA REACTIVA

MODO POT. REACTIVA

Variable / function

Properties for the variable or function linked to the element.

[More in the online help.](#)

This function is to be addressed for the SICAM 230 [API](#) (with class name) and in [XML](#) export (without class name).

- Estado de operación regulador – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D04

ESTADOS DEL SISTEMA

ESTADO DE OPERACIÓN EXCITACION **INVALIDO**

ESTADO DE OPERACIÓN REGULADOR **INVALIDO**

NIVEL DE OPERACIÓN **INVALIDO**

MODO DE CONTROL

POTENCIA REACTIVA

MODO POT. REACTIVA

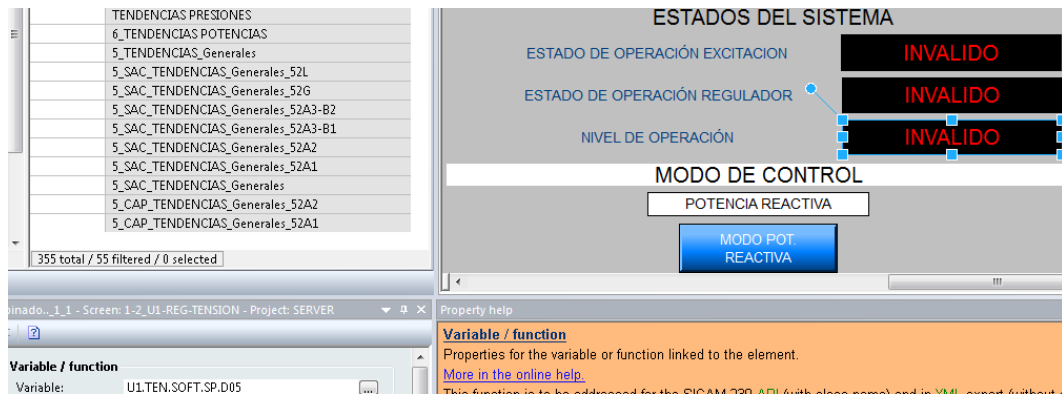
Variable / function

Properties for the variable or function linked to the element.

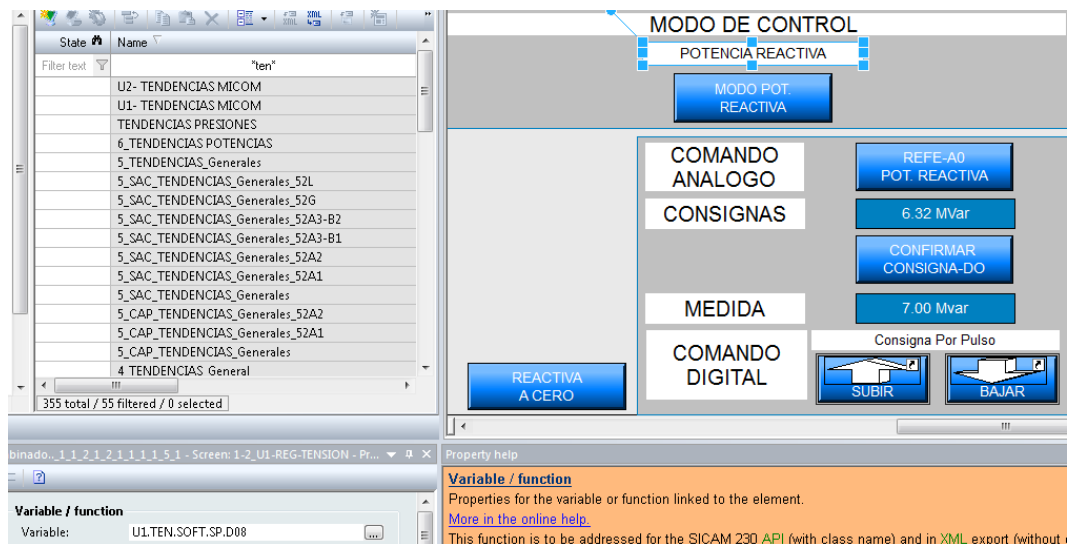
[More in the online help.](#)

This function is to be addressed for the SICAM 230 [API](#) (with class name) and in [XML](#) export (without class name).

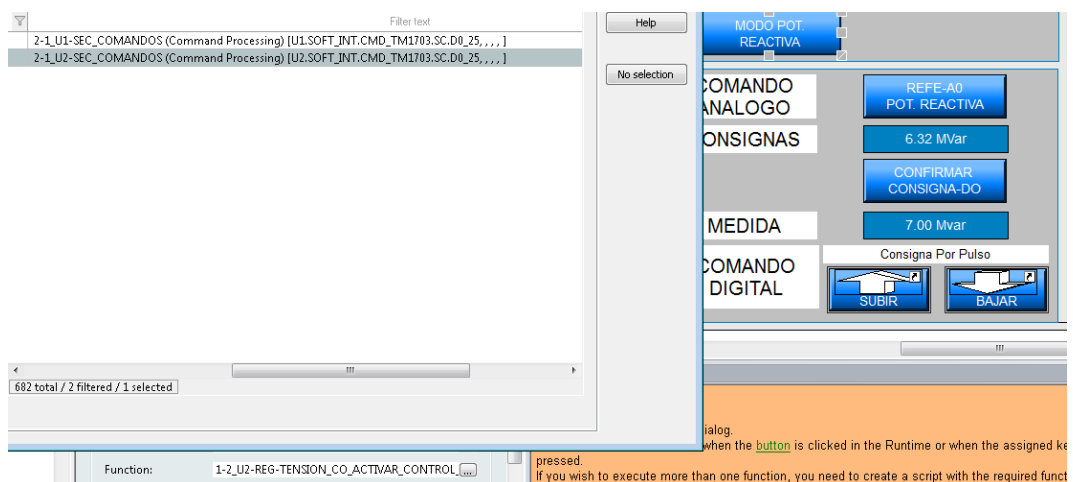
- Nivel de operación – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.D04



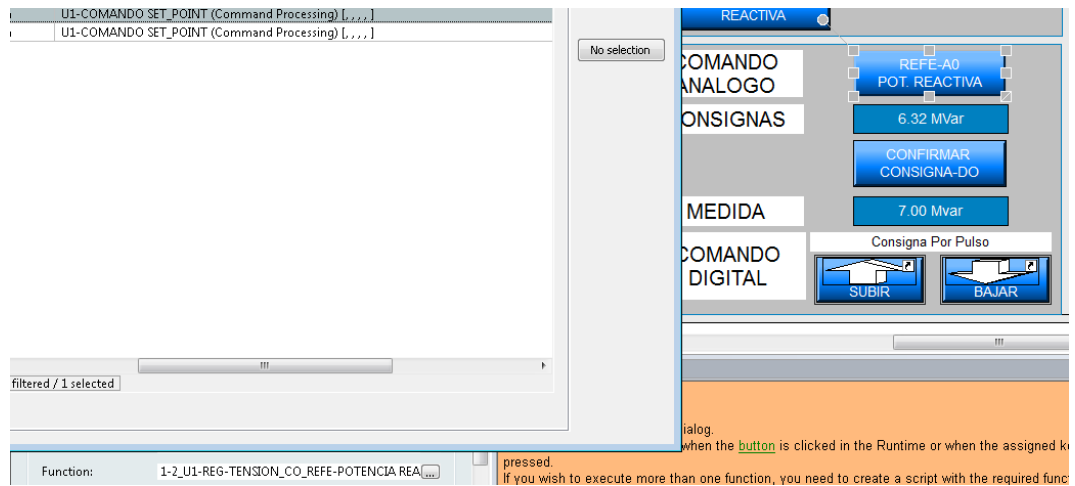
- Modo de control
 - Potencia Reactiva – Variable: U1.TEN.SOFT.SP.DO8



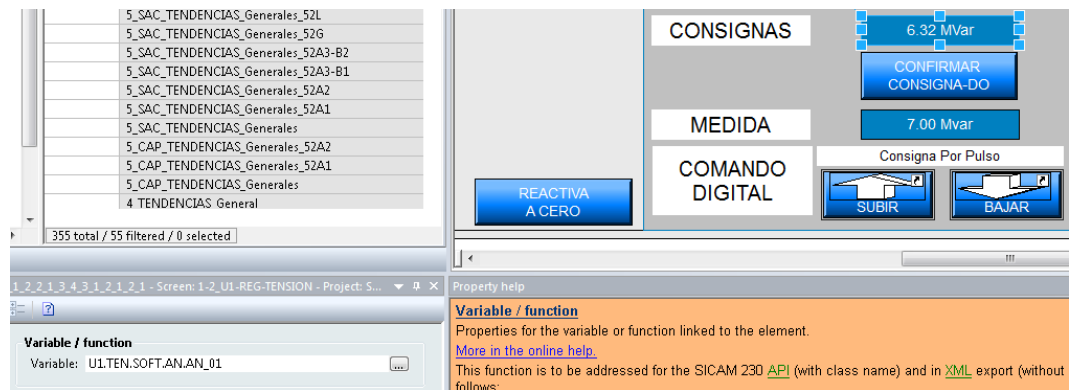
- Modo Pot Reactiva – Comando:
U1.SOFT_INT.CMD_TM1703.SC.DO_25



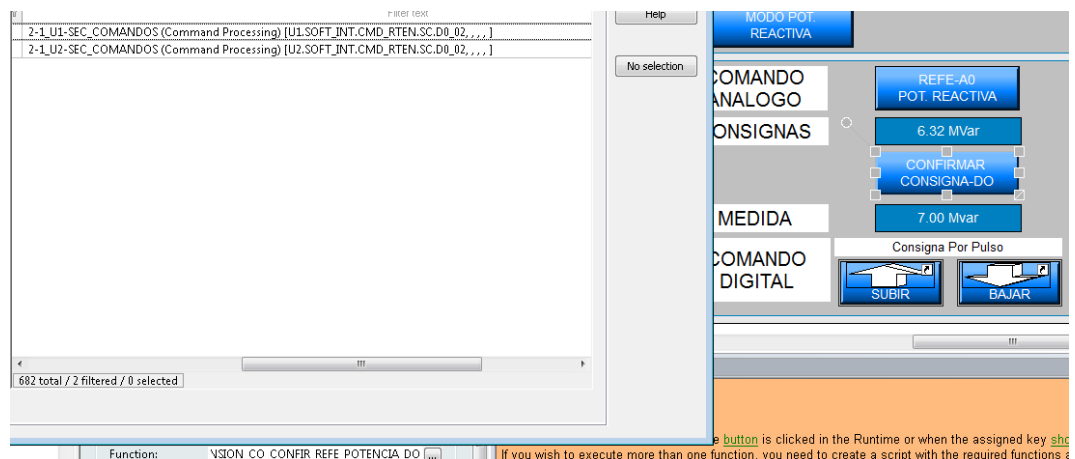
- Refe-A0 Pot. Reactiva – Comando:



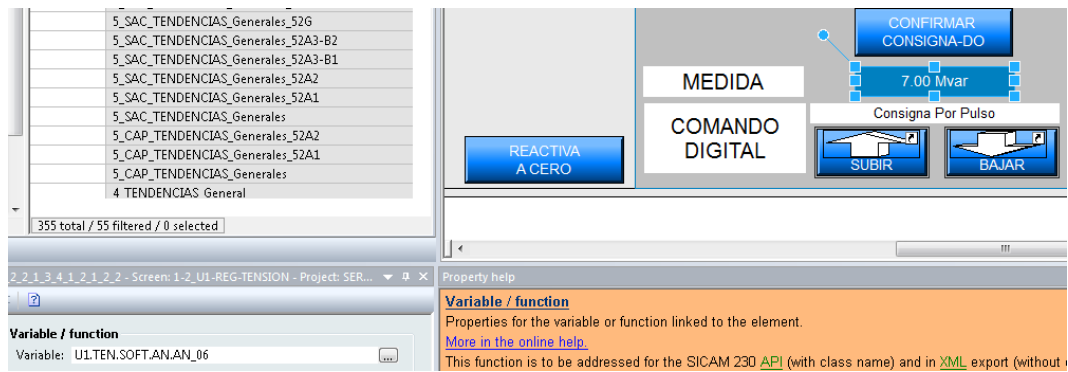
- Consigna – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_01



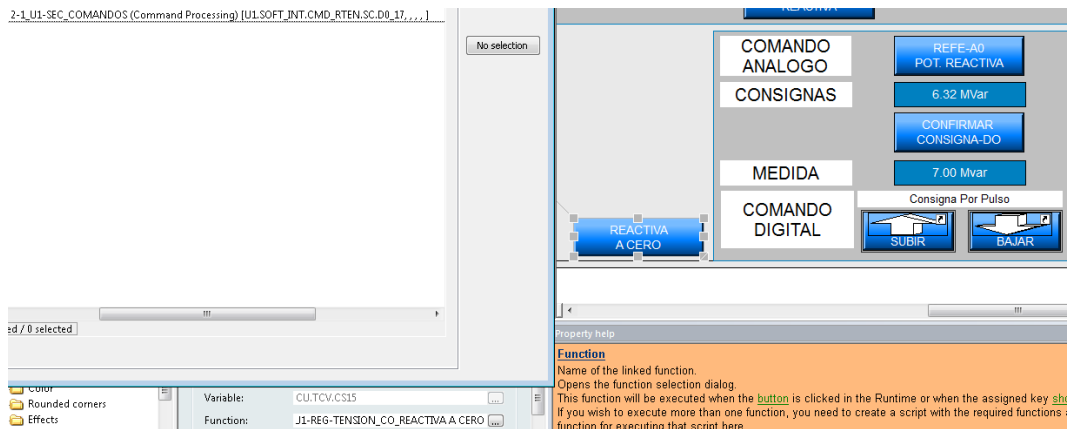
- Confirmado Consigna – Comando:
U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SCDO_02



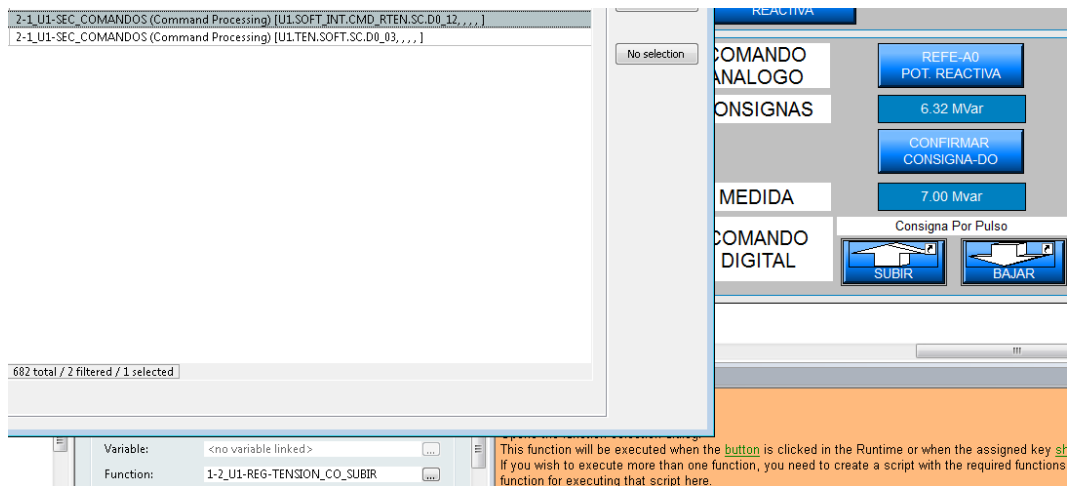
- Medida – Variable: U1.TEN.SOFT.AN.AN_06



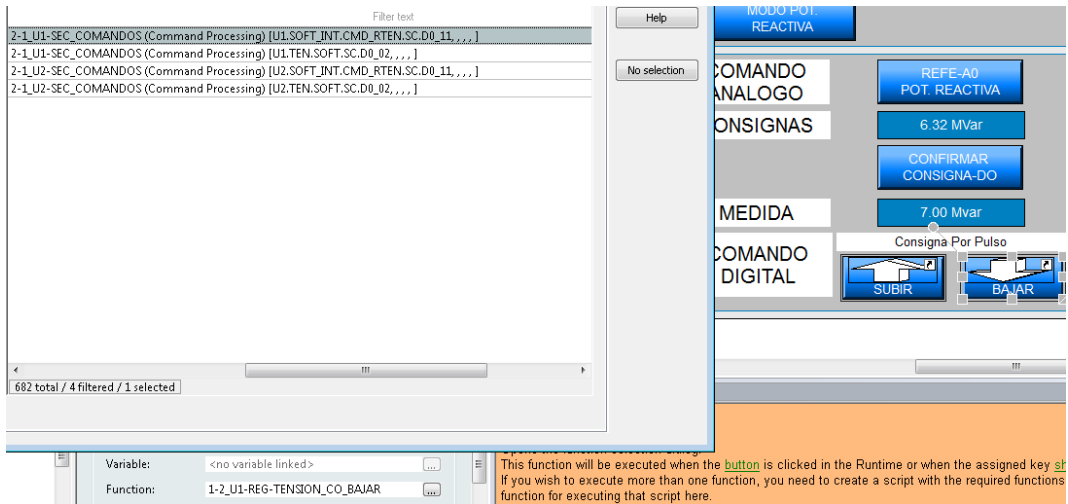
- Reactiva a cero – Comando: U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_17



- Subir Consigna por pulso – Comando:
U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_12



- Bajar Consigna por Pulso - U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_11



4.3. ESTUDIO DE SEÑALES PARA EL SISTEMA SCADA

4.3.1. Señales Analógicas y Digitales del Regulador Automático de Voltaje Thyne4

Las señales digitales y analógicas tanto emitidas como recibidas por el regulador automático de voltaje instalado actualmente en la Central Hidroeléctrica Ocaña se muestran en la Tabla 4-1 y se pueden distinguir las cableadas de las de software mediante los términos TM1703 y SOFT en sus códigos, respectivamente.

Tabla 4-1: Señales digitales y analógicas IN/OUTPUT del AVR Thyne4

INPUT/OUTPUT	Tipo	Código	Nombre
Entradas de software	Comandos internos Rten emitidos desde el 230 con destino a las salidas por tarjetas digitales	U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_01	Selección Regulación Cos phi
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_02	Habilitar consigna analógica
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_03	Conectar excitación
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_04	Desconectar excitación
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_05	Selección Canal Manual Excitación
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_06	Selección Canal Auto. Excitación
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_07	Selección Potencia Reactiva

		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SE.SE_04	CMD Ajuste Consigna de Regulación
	Comandos internos Rten emitidos desde el 230 con destino al protocolo IEC104	U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_09	104 CMD Excitación Remoto OFF
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_10	104 CMD Excitación Remoto ON
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_11	104 CMD Bajar Consigna
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_12	104 CMD Subir Consigna
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_13	104 CMD Regulado Manual
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_14	104 CMD Regulador Automático
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_15	104 CMD Conectar Regulador Potencia Reactiva
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_16	104 CMD Conectar Regulador Factor de Potencia
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SC.DO_18	104 CMD Confirmar Consigna
	Comandos análogos de RTEN	U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SE.SE_01	104 CMD Consigna Remota Tensión
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SE.SE_02	104 CMD Consigna Remota Potencia
		U1.SOFT_INT.CMD_RTEN.SE.SE_03	104 CMD Consigna Remota Factor de Potencia
Entradas de hardware TM1703	ZE407-Señales Digitales Input	U1.TM1703.PE02.ZE407_DI.DI_02	Excitación en Modo Manual
		U1.TM1703.PE02.ZE407_DI.DI_03	Excitación en Modo Automático
		U1.TM1703.PE02.ZE407_DI.DI_05	Cos PHI Activo

		U1.TM1703.PE02.ZE407_DI.DI_12	Consigna Velocidad Máx (Activo)
	ZE409-Señales Digitales Input	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_01	Consigna Valor Mínimo (Activo)
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_02	Excitación Conectado
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_03	Tiempo Cebado Excedido
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_04	Excitación Desconectada
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_05	Regulador Potencia Reactiva
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_06	Excitación en Local
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_07	Watch Dog
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_10	Disparo Excitación
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_11	Reserva
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_12	Tensión Mayor a 80%
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_13	Puente Tiristores Apagado
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_14	Falla MCB Relé Monitoreo de Tensión
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_15	Falla MCB Circuito de Disparo
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_16	Falla MCB Circuito de Control
		U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_17	Falla MCB Circuito de Protecciones
	ZE502-Señales Digitales Input	U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_00	Falla MCB Circuito de Excitación
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_01	Falla MCB Señales Digitales
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_02	Falla MCB Señalización
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_03	Falla MCB Circuito Cerrado 125VCC (Cebado)

		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_04	Temp Celda Trafo Excitación Alarma
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_05	Falla Equipo T-154 Celda Trafo Excitación
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_11	Interruptor de Campo Cerrado
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_12	Falla MCB Excitación 1 F40A
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_13	Falla MCB Excitación 2 F40B
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_14	Falla Tensión Alimentación 24VCC (F31A)
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_15	Falla Tensión Alimentación 24VCC (F01)
		U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_16	Falla Tensión Alimentación 24VCC (K31A)
	ZE504-Señales Digitales Input	U1.TM1703.PE03.ZE504_DI.DI_13	Selector Control en Local
		U1.TM1703.PE03.ZE504_DI.DI_14	Selector Control en Remoto
	ZE506-Señales Análogas de la Unidad	U1.TM1703.PE03.ZE506_AI.AI_00	Posición Consigna Excitación
		U1.TM1703.PE03.ZE506_AI.AI_01	Intensidad de Campo de Excitatriz
Entradas de Hardware Tensión	Medidas Análogas de Regulador de Tensión	U1.TEN.SOFT.AN.AN_01	Valor de Consigna Remota Potencia
		U1.TEN.SOFT.AN.AN_02	Valor de Consigna Tangente
		U1.TEN.SOFT.AN.AN_03	Corriente de Excitación
		U1.TEN.SOFT.AN.AN_04	Tensión del Generador
		U1.TEN.SOFT.AN.AN_05	Corriente de Generador

		U1.TEN.SOFT.AN.AN_06	Potencia Reactiva Generador
		U1.TEN.SOFT.AN.AN_07	Potencia Activa Generador
	Señales Digitales INPUT - Regulador de Tensión	U1.TEN.SOFT.SP.D00	Excitación OFF
		U1.TEN.SOFT.SP.D01	Excitación ON
		U1.TEN.SOFT.SP.D02	Excitación lista para arrancar
		U1.TEN.SOFT.SP.D03	Regulador Automático
		U1.TEN.SOFT.SP.D04	Regulador Manual
		U1.TEN.SOFT.SP.D05	Excitación Local
		U1.TEN.SOFT.SP.D06	Excitación Remoto
		U1.TEN.SOFT.SP.D07	Regulador de Factor de Potencia
		U1.TEN.SOFT.SP.D08	Regulador de Potencia Reactiva Conectado
		U1.TEN.SOFT.SP.D09	Disparo Excitación
		U1.TEN.SOFT.SP.D10	Disparo Externo a Excitación
		U1.TEN.SOFT.SP.D11	Alarma Excitación
		U1.TEN.SOFT.SP.D12	Excitación Lista para el Arranque
		U1.TEN.SOFT.SP.D13	Potencia Reactiva Cero
		U1.TEN.SOFT.SP.D14	Interruptor de Campo Abierto
		U1.TEN.SOFT.SP.D15	Interruptor de Cebado Cerrado
		U1.TEN.SOFT.SP.D16	Disparo Tiempo Excedido Arranque
		U1.TEN.SOFT.SP.D17	Disparo Tiempo Excedido para Excitación
		U1.TEN.SOFT.SP.D18	Falla Medida Tensión

	U1.TEN.SOFT.SP.D19	Falla Interruptor de Campo
	U1.TEN.SOFT.SP.D20	Falla Interruptor de Cebado
	U1.TEN.SOFT.SP.D21	Falla Fuente AC
	U1.TEN.SOFT.SP.D22	Falla Fuente DC
	U1.TEN.SOFT.SP.D23	Algún MCB disparado
	U1.TEN.SOFT.SP.D24	Disparo por Baja Velocidad
	U1.TEN.SOFT.SP.D25	Sobretensión del Rotor
	U1.TEN.SOFT.SP.D27	Falla Tensión Tiristores
	U1.TEN.SOFT.SP.D28	Falla Intensidad Tiristores
	U1.TEN.SOFT.SP.D29	Disparo Puente Tiristores
	U1.TEN.SOFT.SP.D30	Falla Impulso Tiristores
	U1.TEN.SOFT.SP.D31	Falla Relé de Impulso
	U1.TEN.SOFT.SP.D32	Falla Protección Sobretensión
	U1.TEN.SOFT.SP.D33	Falla Puente 1 de Tiristores
	U1.TEN.SOFT.SP.D34	Parámetros Inválidos
	U1.TEN.SOFT.SP.D35	Alarma Tarjeta de Impulso en Modo Manual
	U1.TEN.SOFT.SP.D40	Limitador de Ángulo de Carga Activo
	U1.TEN.SOFT.SP.D41	Limitador de Flujo Activo
	U1.TEN.SOFT.SP.D42	Límite Máximo
	U1.TEN.SOFT.SP.D43	Límite Mínimo

Salidas de Software	Regulador de Tensión Comandos que proceden internos o del 230 y salen por las tarjetas Digital Output	U1.TM1703.PE00.ZE206_DO.DO_13	Selección Regulación Cos phi
		U1.TM1703.PE00.ZE206_DO.DO_16	Habilitar consigna analógica
		U1.TM1703.PE00.ZE207_DO.DO_13	Conectar Excitación
		U1.TM1703.PE00.ZE207_DO.DO_14	Desconectar excitación
		U1.TM1703.PE00.ZE207_DO.DO_15	Selección Canal Manual Excitación
		U1.TM1703.PE00.ZE207_DO.DO_16	Selección Canal Auto. Excitación
		U1.TM1703.PE00.ZE207_DO.DO_17	Selección Potencia Reactiva
		U1.TM1703.PE03.ZE507_AO.AO_00	Ajuste Consigna de Regulación
	Regulador de Tensión Comandos que proceden internos o del 230 y salen por protocolo IEC-104	U1.TEN.SOFT.SC.DO_00	CMD Excitación Remoto OFF
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_01	CMD Excitación Remoto ON
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_02	CMD Bajar Consigna
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_03	CMD Subir Consigna
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_04	CMD Regulado Manual
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_05	CMD Regulador Automático
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_06	CMD Conectar Regulador Potencia Reactiva
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_07	CMD Conectar Regulador Factor de Potencia

		U1.TEN.SOFT.SC.DO_08	CMD Reactiva a Cero
		U1.TEN.SOFT.SC.DO_09	CMD Confirmar Consigna
		U1.TEN.SOFT.SE.SE_01	CMD Consigna Remota Tensión
		U1.TEN.SOFT.SE.SE_02	CMD Consigna Remota Potencia Reactiva
		U1.TEN.SOFT.SE.SE_03	CMD Consigna Remota Factor de Potencia
	Señales de falla comunicación SYS PRE	U1.TM1702.SYS.ZE100_PRE03_STAT- 3	Falla Com PLC U1 con Regulador de Tensión

Fuente: Autor.

Las señales que se presentan en la Tabla 4-1 fueron adquiridas desde la herramienta CAEx, por lo que se puede observar que existe una redundancia pronunciada en la lógica de control realizada para la automatización del AVR. Debido a esta situación se debe realizar un estudio para determinar las señales tanto analógicas como digitales, cableadas o de software que se necesitan para la nueva lógica de control correspondiente al Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250.

4.3.2. Señales Analógicas y Digitales del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250

Cuando se realizó la ingeniería para la futura integración del DECS-250 a los tableros de excitación, protección y medida de las dos unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Ocaña se observó que a partir de sus salidas de contacto programables únicamente se utilizaban cinco señales cableadas que llegaban al PLC. Debido a que el AVR actual utiliza las mismas señales para fines semejantes, se las colocó en la misma tarjeta de entradas digitales tal como se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 4-2: Salidas de contacto programable cableadas al PLC

Función	Tarjeta	Pin	Topología OPM
Disparo 86	ZE409	D10/31	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_10
Modo de Operación Auto	ZE407	D03/4	U1.TM1703.PE02.ZE407_DI.DI_03
AVR Inoperativo	ZE409	D07/8	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_07
AVR Encendido	ZE409	D02/4	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_04
AVR Apagado	ZE409	D04/5	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_02

Fuente: Autor.

Como se puede observar en la Figura 4.16 la topología de la señal en OPM se mantuvo.

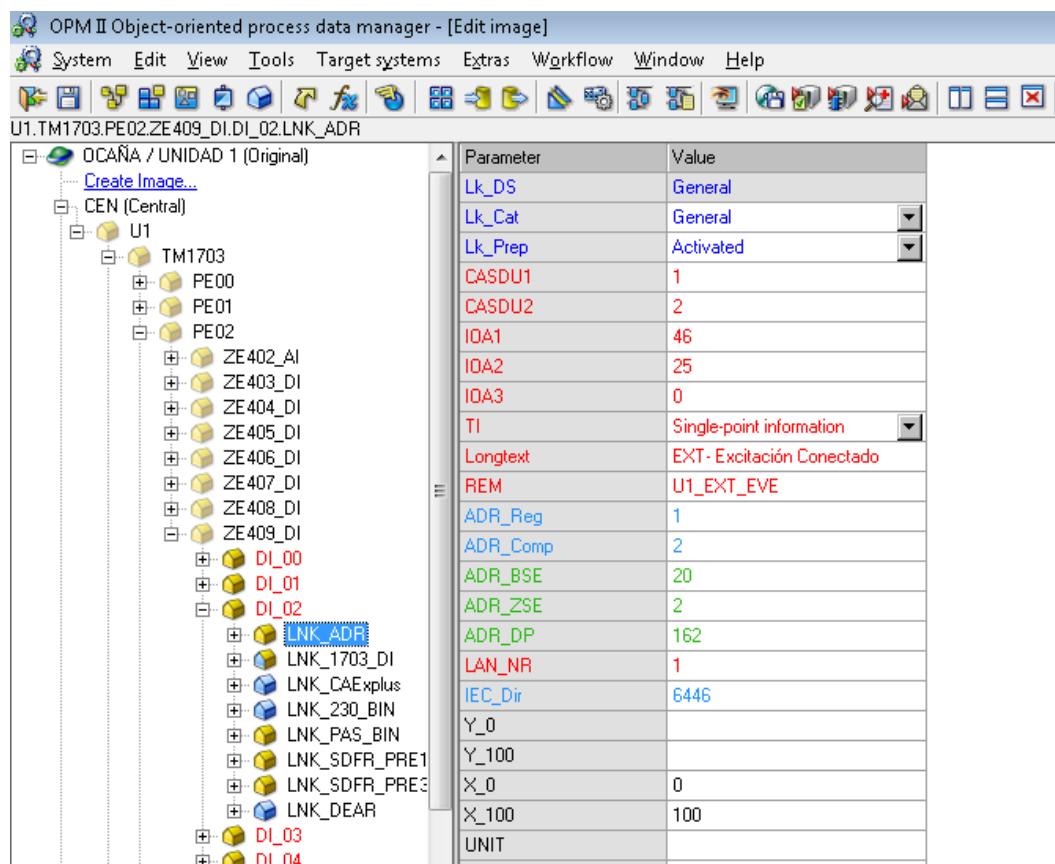


Figura 4.16: Topología para las señales digitales del DECS-250.

Fuente: Autor.

En la tabla anterior se pueden observar a las señales cableadas que salen del DECS-250, sin embargo, existen otras que pese a que no son salidas del regulador deben mantenerse, de acuerdo al estudio realizado en el capítulo III manteniendo la topología OPM. Estas señales se muestran en la table 4-3 a continuación:

Tabla 4-3: Señales cableadas que deben mantenerse para el DECS-250

Función	Tarjeta	Pin	Topología OPM
Falla MCB Relé Monitoreo de Tensión	ZE409	D14/35	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_14
Falla MCB Circuito de Disparo	ZE409	D15/36	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_15
Falla MCB Circuito de Control	ZE409	D16/37	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_16
Falla MCB Circuito de Protecciones	ZE409	D17/38	U1.TM1703.PE02.ZE409_DI.DI_17
Falla MCB Circuito de Excitación	ZE502	D00/1	U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_00
Falla MCB Señales Digitales	ZE502	D01/2	U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_01
Falla MCB Señalización	ZE502	D02/3	U1.TM1703.PE03.ZE502_DI.DI_02

Fuente: Autor.

En la Figura 4.17 se observa la topología actual para dichas señales, la cual se mantendrá con el nuevo AVR.

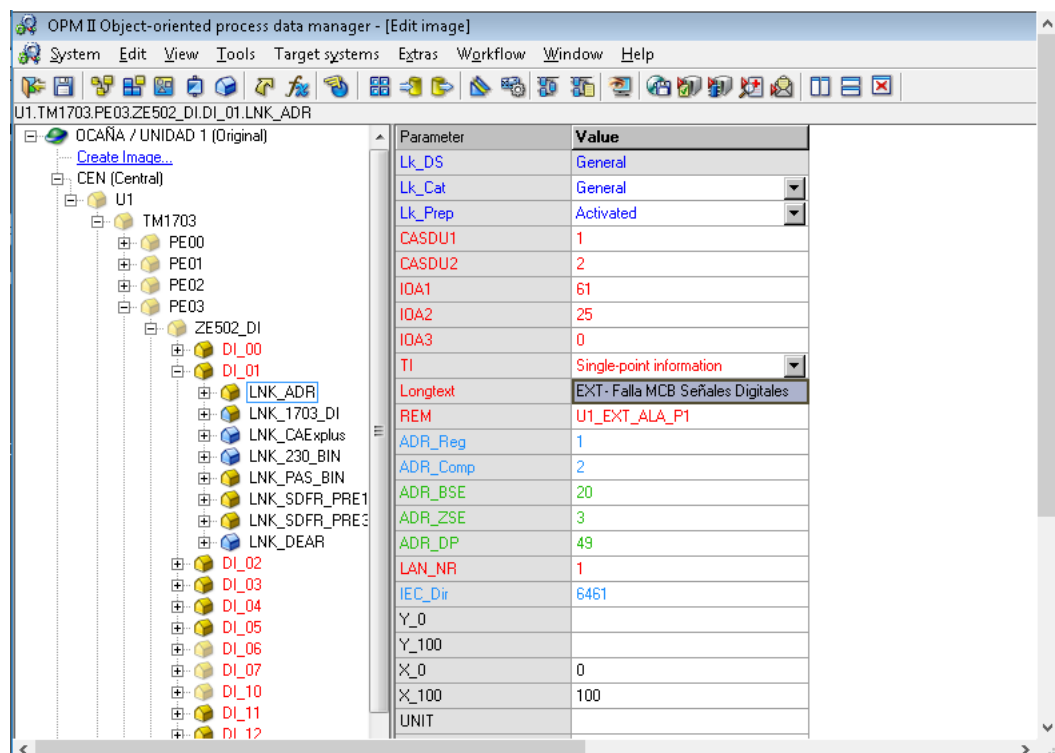


Figura 4.17: Topología actual de señales que deben permanecer.

Fuente: Autor.

Por otra parte, las señales que van a llegar al PLC por comunicación ModBus se muestran en la siguiente tabla acompañadas de su nueva topología en OPM y su número de registro para la comunicación correspondiente.

Tabla 4-4: Señales digitales y analógicas del AVR por comunicación Modbus

Tipo	Nombre	Dirección	Registro	Bit	Tipo	Tamaño
Señales Digitales INPUT - Regulador de Tensión	Fallo Comunicación AVR	U1.BAS.DECS.SP_D00	40900	8	Uint16	2
	Alarma Limitador Sobreexcitación OEL AVR	U1.BAS.DECS.SP_D02	40902	1	Uint16	2
	Alarma Limitador Subexcitación UEL AVR	U1.BAS.DECS.SP_D03	40902	2	Uint16	2
	Selección Modo VAR/PF AVR	U1.BAS.DECS.SP_D04	40903	0	Uint16	2
	Alarma Sobrevoltaje de campo AVR	U1.BAS.DECS.SP_D05	40903	8	Uint16	2
	Alarma Sobrecorriente de campo AVR	U1.BAS.DECS.SP_D06	40903	11	Uint16	2
	Alarma Diodo Abierto AVR	U1.BAS.DECS.SP_D07	40903	12	Uint16	2
	Alarma Diodo en Cortocircuito AVR	U1.BAS.DECS.SP_D08	40903	15	Uint16	2

	Alarma Pérdida de Excitación de Campo AVR	U1.BAS.DECS.SP_D09	40904	3	Uint16	2
	Pérdida Sensado de Campo	U1.BAS.DECS.SP_D10	40904	6	Uint16	2
	Alarma Bajo Voltaje	U1.BAS.DECS.SP_D11	40904	12	Uint16	2
	Alarma Sobre Voltaje	U1.BAS.DECS.SP_D12	40904	15	Uint16	2
	Alarma Sobre Frecuencia	U1.BAS.DECS.SP_D13	40905	2	Uint16	2
	Alarma Baja Frecuencia	U1.BAS.DECS.SP_D14	40905	5	Uint16	2
Medidas Análogas de Regulador de Tensión	Voltaje de Excitación	U1.BAS.DECS.AN.AN_01	41000		Flotante	4
	Corriente de Excitación	U1.BAS.DECS.AN.AN_02	41002		Flotante	4
	Frecuencia de grupo	U1.BAS.DECS.AN.AN_03	41346		Flotante	4
	Consigna Potencia Reactiva	U1.BAS.DECS.AN.AN_04	42232		Flotante	4
	Consigna Factor de Potencia	U1.BAS.DECS.AN.AN_05	42248		Flotante	4

Fuente: Autor.

Para las señales que provienen por Modbus, tal y como se explicó anteriormente en la sección de la herramienta OPM, debe agregarse el módulo de Modbus RTU. Para el tipo de señal se utiliza MOD_DI (crear con los links predeterminados) en donde se tiene como fuente una entrada de ModBus y destinos CAEx Plus y SICAM 230. La señal por defecto que se usará es la MOD_DI, en la que se colocaran los parámetros típicos de las señales de ModBus. En la Figura 4.18 se puede observar el

LNK_MODMA_SP y dentro de él la casilla Mod_addr que es donde se coloca el número de registro, diferente para cada señal según lo indica el manual del DECS-250.

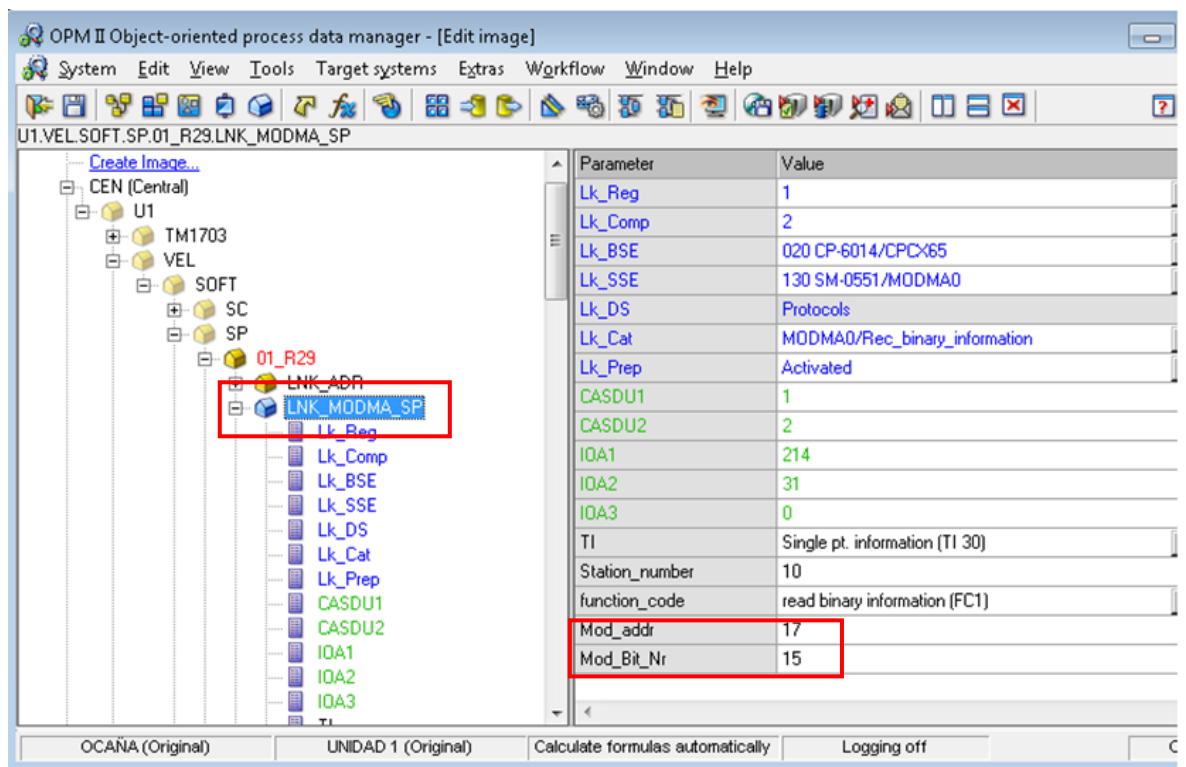


Figura 4.18: Señales provenientes de comunicación Modbus.

Fuente: Autor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Al realizar el levantamiento de campo en los tableros de excitación de las unidades de generación I y II de la Central Ocaña se encontraron ciertas irregularidades tanto en el aspecto físico como en el funcional. Una de las anomalías físicas fue el estado de las etiquetas, algunas eran ilegibles, es decir, no se podía distinguir ni su pin de origen ni su pin de destino debido a que se encontraban escritas con esferográfico, las cuales fueron corregidas con éxito. Además, se encontraron componentes electrónicos y varias conexiones sin su etiquetado correspondiente, estado que de igual manera fue corregido satisfactoriamente.
- Las irregularidades funcionales fueron mayores, ya que se encontró una gran discrepancia entre algunas conexiones, en el tablero y en el plano eléctrico, de varios componentes electrónicos; la mayoría estaban presentes en el tablero, pero no en el plano y viceversa. Esta situación ocasionó un etiquetado erróneo para varias conexiones, la cual fue corregida mediante un estudio cuidadoso que se plasmó en la base de datos del levantamiento de cada tablero (Anexos 2 y 3).
- En la siguiente Tabla se muestran los resultados obtenidos a partir de los levantamientos de campo realizados en los tableros de excitación de las dos unidades de generación de la Central Ocaña:

Tabla 5-1: Datos obtenidos a partir de los levantamientos realizados en los tableros de excitación

	Total de equipos y componentes electrónicos	Total de conexiones	Etiquetas Corregidas	Etiquetas erróneas entre tablero y plano	Conexiones que deben incluirse en el plano
Tablero de excitación I	119	931	32	32	48
Tablero de excitación II	119	934	33	26	52

Fuente: Autor.

- Al realizar el levantamiento del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 en el grupo de generación II de la Central Saucay se obtuvieron dificultades similares a las de la Central Ocaña; algunas etiquetas erróneas con respecto al estado físico y algunos componentes ausentes en los planos del sistema para el estado funcional, lo cual se puede analizar detenidamente en el Anexo 5.
- En la Tabla 2-7 se pueden observar los resultados obtenidos a partir del levantamiento de campo en la Central Saucay.

Tabla 5-2: Datos obtenidos a partir del levantamiento de campo del DECS-250.

	Total, de equipos y componentes electrónicos	Total de conexiones	Etiquetas Corregidas	Etiquetas erróneas entre tablero y plano	Conexiones que deben incluirse en el plano
DECS- 250	22	283	0	39	20

Fuente: Autor.

- Realizar el levantamiento de campo de los tableros de excitación de las dos Centrales permitió observar con mayor claridad las diferencias que existen entre los dos sistemas, el de la Central Ocaña es mucho más complejo y necesita de una gran variedad de componentes para funcionar correctamente, mientras que el de la central Saucay utiliza aproximadamente el 2.5% de los componentes de la Central Ocaña y cumple varias funciones adicionales.
- Al comparar los levantamientos realizados en las dos Centrales se puede decir que a pesar de que los tableros de excitación de la Central Ocaña tenían un número mayor de componentes electrónicos, equipos y conexiones que los de la Central Saucay, fue más sencillo identificarlos porque se encontraban en un solo tablero, mientras que los dispositivos que utiliza el DECS-250 se encontraban distribuidos en varios tableros.
- Al realizar la ingeniería en los tableros se pudo conocer a profundidad cuales eran las acciones que desempeñaban cada uno de los componentes presentes en los armarios de excitación, protección y medida para tener la certeza de

cuáles de los 119 equipos, con 931 y 934 conexión, debían permanecer al momento de la migración de los AVR.

- Al momento de seleccionar los dispositivos que debían permanecer en los tableros se tuvieron ciertos inconvenientes con los componentes que según el levantamiento de campo realizado y descrito en el capítulo II, tenían ciertas conexiones que no aparecían en el tablero, sin embargo, cumplían un papel importante en el tablero. A esas conexiones se las consideraron como inconsistentes en los resultados de la ingeniería del tablero.
- Si bien, para los levantamientos de campo se realizó uno diferente para cada tablero, en la ingeniería, por el contrario, se efectuó una sola que satisface las diferencias mínimas con las que contaban. En la Tabla 3-11 se pueden observar los datos numéricos que dio el anexo 6 al visualizar la ingeniería del tablero conexión por conexión.

Tabla 5-3: Datos numéricos de la ingeniería en el tablero

	Número
Permanece en el tablero	527
No permanece en el tablero	380
Inconsistente	27

Fuente: Autor.

- El Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 es un equipo de estructura unificada que utiliza una ingeniería bastante sencilla para ejecutar las diferentes prestaciones que ofrece. Los elementos complementarios que utiliza para su funcionamiento son relés de 125 VCC e interruptores termomagnéticos de 110 y 125 VCA, los cuales resultan fáciles de utilizar y conseguir en el mercado.
- La ingeniería que se realizó para la futura implementación del DECS-250 en los tableros de excitación, protección y medida de las dos unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Ocaña se basa fundamentalmente en los datos obtenidos a partir del levantamiento de campo en la unidad de

generación II de la Central Hidroeléctrica Sau cay, la cual cuenta con el mismo sistema implementado y funcionando correctamente.

- Al realizar el estudio de todas las señales digitales y analógicas, cableadas y por software input u output del Sistema de Excitación Thyne4 se logró observar que existía una gran cantidad de señales redundantes en la lógica de control para su automatización.
- Mediante la aplicación CAEx se logró verificar a todas las señales del Sistema de Excitación Thyne 4 otorgando los resultados mostrados en la Tabla 4-5.

Tabla 5-4: Señales del Sistema de Excitación Thyne 4

IN/OUTPUT	Tipo	Cantidad
Entradas de software	Comandos internos Rten emitidos desde el 230 con destino a las salidas por tarjetas digitales	8
	Comandos internos Rten emitidos desde el 230 con destino al protocolo IEC104	9
	Comandos análogos de RTEN	3
Entradas de hardware TM1703	ZE407-Señales Digitales Input	4
	ZE409-Señales Digitales Input	15
	ZE502-Señales Digitales Input	12
	ZE504-Señales Digitales Input	2
	ZE506-Señales Análogas de la Unidad	2
Entradas de Hardware Tensión	Medidas Análogas de Regulador de Tensión	7
	Señales Digitales INPUT - Regulador de Tensión	39
Salidas de Software	Regulador de Tensión Comandos que proceden internos o del 230 y salen por las tarjetas Digital Output	8

	Regulador de Tensión Comandos que proceden internos o del 230 y salen por protocolo IEC-104	13
	Señales de falla comunicación SYS PRE	1

Fuente: Autor.

- Para el Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 se realizó un estudio minucioso partiendo desde su propia ingeniería hasta la ingeniería del tablero de excitación del regulador actual para efectuar una selección y adición de las señales necesarias y correctas para su integración al sistema SCADA. En la Tabla 4-6 se puede observar a las diferentes señales cableadas y de software, analógicas y digitales que conforman la lógica de control para el DECS-250.

Tabla 5-5: Señales para el DECS-250

Tipo de señal	Cantidad
Cableada a tarjetas digitales	14
Digitales por Comunicación ModBus	15
Analógicas por Comunicación ModBus	5

Fuente: Autor.

- Si bien la pantalla HMI destinada a la regulación de voltaje va a sufrir cambios debido a las nuevas señales que tiene el DECS-250, la más importante es sin duda el cambio realizado en el modo de potencia reactiva, anteriormente la interfaz permitía únicamente una consigna por VAR, mientras que ahora permite también una consigna por factor de potencia, las cuales llegan al controlador por medio de Comunicación ModBus.

Recomendaciones:

- El regulador automático de voltaje Thyne4, actualmente instalado en las dos unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Ocaña, posee un sin número de componentes electrónicos, repetidores de señales, tarjetas

complementarias, entre otros. Los cuales provocan la generación de más puntos de falla y, debido a la situación actual en la que se encuentran los reguladores, es decir, sin repuestos ni mantenimiento por parte del fabricante, se recomienda que se realice con celeridad la migración de los AVR's a IED's.

- Después de haber estudiado a profundidad el Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250 a lo largo de todo el trabajo de titulación, se recomienda que la migración de los AVR's se realice con este modelo en específico debido a que el estudio para su implementación se encuentra ya realizado, además, porque resulta mucho más eficiente que los reguladores instalados actualmente y porque han cumplido satisfactoriamente su trabajo en las demás Centrales Hidroeléctricas de ELECAUSTRO S.A.
- Cuando se realizaron los diferentes levantamientos de campo en los dos tableros de excitación, protección y medida de la Central Ocaña se observó que existían varias diferencias entre las conexiones que presentaban los armarios y los planos eléctricos. Por esta razón se recomienda la actualización de los planos para erradicar, de esta manera, las conexiones inconsistentes en la ingeniería de los tableros realizada en el capítulo III.
- Debido a la extensión de las diferentes bases de datos: levantamientos de campo de las unidades I y II e ingeniería conexión a conexión de los tableros de excitación de la Central Ocaña, se recomienda realizar un estudio profundo de las mismas antes de efectuar la migración de los AVR's, ya que un mal manejo de estas, podría perjudicar el correcto funcionamiento del tablero.

BIBLIOGRAFÍA

- Aberbour, J., & Graba, M. (2015). *Particle Swarm Optimization Based PID Parameters Tuning for the Automatic Voltage Regulator System*. Boumerdes: Université M'Hamed BOUGARA.
- ALSTOM. (2010). *Esquemas desarrollados de armario de protecciones, medida y excitación grupo*.
- Anderson, P., & Fouad, A. (1977). *Power System Control and Stability*. Iowa: The Iowa State University Press.
- Arias, S., & Bravo, A. (2016). *Estudio para la modernización de central hidroeléctrica Saucay*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- ASOCAE. (21 de Diciembre de 2018). *Natureduca*. Obtenido de <https://natureduca.com/fisica-electricidad-magnetismo-y-electromagnetismo-09.php>
- Balbás García, F. J. (2017). *Sistemas de energía eléctrica de alta tensión*. Santander: Universidad Cantabria.
- Basler Electric. (2008). *Sistema de control de excitación DECS-250*. Highland.
- Basler Electric. (2015). *Manual de instrucciones para el sistema de control digital de excitación DECS-250*.
- Blanquéz García, F., Rodríguez Arribas, J., Alonso Rodríguez, Á., & Veganzones Nicolás, C. (2014). *Máquinas Síncronas y Máquinas de Corriente Continua*. Madrid: Dextra.
- Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Cubillos, F. (2004). *Sistemas de Excitación Estática de Generadores*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Enríquez Harper, G. (2004). *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. México: Limusa.

- Fraile Mora, J. (2008). *Máquinas Eléctricas Sexta Edición*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España.
- Grainger, J., & Stevenson, W. (1995). *Analisis de Sistemas de Potencia*. México: Programas Educativos.
- Juárez Cervantes, J. D. (1998). *Instalaciones Eléctricas en Alta Tensión Tomo I*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- León Martínez, V., Montañana Romeu, J., & Peñalvo López, E. (2018). *Acoplamiento magnéticos y máquinas eléctricas de inducción*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia .
- Oztoklu, E. (2014). *Three Phase Synchronours Generator & Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Bosnia y Herzegovina: University of Sarajevo.
- Riha. (2000). *Regulador de Voltaje y Control de Compuerta GMR3*.
- SIEMENS. (2009). *PLC Diagnosis*.
- Vargas, L. (2008). *Sistemas de Excitación de Máquinas Síncronas*. Santiago: Universidad de Chile.
- Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia Sexta Edición*. México: Pearson Educación.

ANEXOS

Anexo 1: Datos técnicos del Regulador Automático de Voltaje Thyne4.

Anexo 2: Base de datos correspondiente al levantamiento de campo realizado en el Tablero de Excitación de la Unidad de Generación I.

Anexo 3: Base de datos correspondiente al levantamiento de campo realizado en el Tablero de Excitación de la Unidad de Generación II.

Anexo 4: Datos técnicos del Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250.

Anexo 5: Base de datos correspondiente al levantamiento de campo realizado en la Unidad de Generación II de la Central Saucay.

Anexo 6: Ingeniería en los dos tableros de excitación, protección y medida de las dos Unidades de Generación de la Central Ocaña.

Anexo 7: Planos eléctricos de conexión para el Sistema de Control Digital de Excitación DECS-250.

ANEXO 1: DATOS TÉCNICOS DEL REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE THYNE4

6. Datos Técnicos

Alimentación de Voltaje

Alimentación del regulador mediante NGT:

La tierra del regulador se conecta a la caja del regulador.

Voltaje de operación	valor nominal.....	24 Vcd
	rango de operación	14.8 a 36 Vcd
Consumo de corriente	dependiendo de la configuración	≤ 3 A a 24 V

Alimentación de los amplificadores de impulsos mediante la tarjeta SAB:

La tierra de los amplificadores de impulsos (0V) se conecta a la tierra del regulador.

Voltaje de operación	valor nominal.....	24 Vcd
	rango de operación	14.8 a 36 Vcd
Consumo de corriente	por puente de tiristores.....	0.4 A a 24 V

Salidas de Impulsos de Compuerta

Conectadas a la tierra del regulador

Voltaje del impulso	sin carga	+15 V
	con 8 puentes de tiristores	>+10 V
Capacidad de carga	máximo.....	1 A pico, 0.1 Arms
Tipo de impulso	sistema monofásico.....	impulsos simples
	sistema trifásico.....	doble para ángulo de disparo $<90^\circ$ simple para ángulo de disparo $\geq 90^\circ$
Duración de los impulsos	dependiente de la frecuencia	0.3 a 1 mseg.

Entradas para Valores Actuales

Voltaje del estator	valor nominal.....	100 (110) Vca
	rango de operación	0 a 130 %
	rango de frecuencia	10 a 150 Hz, secuencia pos. y neg., 1 ó 3 fases
Corriente del estator	carga de entrada.....	3 VA
	valor nominal.....	1 (5) Aca
	rango de operación	0 a 130 %
	rango de frecuencia	10 a 150 Hz, secuencia pos. y neg., 1 ó 3 fases
Corriente de excitación	carga de entrada.....	3 VA
	valor nominal.....	1 Aca
	rango de operación	0 a 200 %

Conectadas a la tierra del regulador

Voltaje de sincronización	valor nominal.....	15 Vrms
	rango de operación	0.75 a 20 Vrms
	límite.....	30 Vrms, 75 Vrms 5 seg
	rango de frecuencia	10 a 440 Hz, trifásico, secuencia neg. y pos. de fases
		10 a 330 Hz, monofásico
	corriente de entrada.....	aprox. 8.8 mA a 15 Vrms

VA TECH ELINEntradas Analógicas Disponibles en la Tarjeta SAB

Las entradas se conectan a la tierra del regulador.

Voltaje de entrada	rango preestablecido	0 a ± 10 V con rectificación (configurable como entrada de corriente)
	límite	30 V, 75 V 5 seg.
	corriente de entrada	aprox. 5.6 mA a 10 V

Entradas Digitales DE32

Las entradas tienen aislamiento galvánico mediante opto acopladores.

Voltaje de entrada	valor nominal	24 Vcd
	rango alto (High)	14 a 36 Vcd
	rango bajo (Low)	0 a 3 Vcd
	límite	80 V durante 1 seg.
	corriente de entrada	aprox. 5.5 mA a 24 Vcd

Salidas Digitales DA32

Las salidas tienen aislamiento galvánico mediante relés instalados en la tarjeta.

Voltaje nominal		24 V
Corriente nominal	a temperatura ambiente de 50°C	1.0 A

Entradas Analógicas AE8

Las entradas analógicas se conectan a la tierra del regulador mediante alta impedancia (200k Ω).

Voltaje de entrada	rango	± 10 V
	límite	50 V
Corriente de entrada	rango	$\pm 5/10/20$ mA
Máximo voltaje de entrada con respecto a tierra		50 V

Salidas Analógicas AA8

Las salidas analógicas se conectan a la tierra del regulador.

Voltaje	rango	± 10 V
	corriente de corto circuito	aprox. 30 mA
Corriente	rango	$\pm 5/10/20$ mA
	voltaje de circuito abierto	± 15 V

Temperatura Ambiente

Temperatura ambiente	operación continua	-15 a +60°C
	operación de corto tiempo (10 min.) ...	-15 a +75°C

Rango de Regulación

Preajustado	regulador de voltaje	85 a 115 %
	regulador de corriente	0 a ≤ 130 %
Precisión		± 0.5 %

**ANEXO 2: BASE DE DATOS CORRESPONDIENTE AL
LEVANTAMIENTO DE CAMPO REALIZADO EN EL
TABLERO DE EXCITACIÓN DE LA UNIDAD DE
GENERACIÓN I**

- Levantamiento de campo – Lateral Derecho

Nº	Conexión	Equipo	Nombre	Etiqueta O	Etiqueta D	Observación	Estado	Página O	Página D
110	877	Modulador, convertidor	U31A	U31A-20	UA-			31	31
	878			U31A-26	R21-1	Componente R21 no se encuentra en el tablero, pin 26 conectado a F01-1	Etiqueta corregida Corregir conexión en el plano	31	31
111	879	Modulador, convertidor	U41	U41-1	XE-38			41	41
	880			U41-2	XE-37			41	41
	881			U41-5	A40CA.1-X10-3			41	41
	882			U41-6	A40CA.1-X10-4			41	41
	883			U41-7	Q45A-32	Etiqueta de destino errónea (Q45A-32X) La etiqueta de destino no puede ser localizada en el plano	Etiqueta corregida Actualizar plano con el elemento Q45A-32X	41	40J
	884			U41-7	U40GA-13			41	40G
	885			U41-8	K40TB-A2			41	40t
112	886	Modulador, convertidor	U41AA	U41AA-5	XE-42	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AA-6, en el plano indica que va a la bornera XE-41	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A

	887			U41AA-6	XE-41	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AA-5, en el plano indica que va a la bornera XE-42	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A
	888			U41AA-1	AA8-B32			41A	41A
	889			U41AA-2	AA8-Z22			41A	41A
113	890	Modulador, convertidor	U40GA	U40GA-A2	Q45A-E2	Pin E2 no puede ser localizado en el mapa	Actualización de plano eléctrico con el nuevo contacto	40G	N/I
	891			U40GA-A1	Q45A-23K	Etiqueta de destino errónea ED: K70B-7 Revisar etiqueta de destino, el contacto K70B-7 no se encuentra conectado a nada en el plano	Etiqueta corregida Ubicar el contacto K70B-7 donde corresponda en el plano	40G	203
	892			U40GA-A1	F61.3-L5			40G	45
	893			U40GA-13	(+) UA			40G	40G
	894			U40GA-13	U41-7			40G	41
	895			U40GA-14	XDE-Z24			40G	40G
114	896	Modulador, convertidor	U400	U400-3.2	P400-1			400	400
	897			U400-3.1	X-187			400	400
	898			U400-1.2	K45A-14			400	45
	899			U400-1.1	K40ÓC-7			400	45
	900			U400-1.1	F30E-4			400	30
	901			U400-1.2	F30E-2			400	30
	902			U400-4.1	R40C-(-)			400	40

	903			U400-4.2	R40C-(+)			400	40
115	904	Modulador, convertidor	U41AB	U41AB-5	XE-44	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AB-6, en el plano indica que va a la bornera XE-43	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A
	905			U41AB-6	XE-43	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AB-5, en el plano indica que va a la bornera XE-44	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A
	906			U41AB-1	AA8-B28			41A	41A
	907			U41AB-2	AA8-Z28			41A	41A
116	908	Dispositivo de protección	F01	R21-1	U31A-26	Etiqueta de origen errónea, F01-1	Etiqueta corregida	31	31
	909			F01-12	K31A-12			202	202
	910			F01-12	F31A-12			202	202
	911			F01-2	UA+			31	31
	912			F01-11	X-207			202	202
117	913	Transformador	T40B	(+)	A40CA-X8-1			40C	40C
	914			(-)	A40CA-X8-2			40C	40C
	915			(M)	A40CA-X8-3			40C	40C
118	916		UA+		A40BA-D22				40B
	917				A40BA-D18				40B

	918			A40CA-X1-1				40C
	919			A40AA-X03-4				40K
	920			F01-2				31
	921			U40GA-13				40G
	922			XDA-B32				40M
	923			S30A-23	No existe dicho pin	Ahora se conecta a K304F-11 Etiqueta Corregida		40I
119	924		UA-	A40BA-D10				40B
	925			A40BA-D06				40B
	926			A400AA-X03-2				40A
	927			K40QB-A2				40Q
	928			U31A-20				31
	929			A40CA-X1-2				40C
	930			XDE-B32				40G
	931			K31A-A1				31

Debido a la extensión del archivo, el anexo completo se encuentra digitalizado y será entregado a la Empresa para su uso correspondiente.

**ANEXO 3: BASE DE DATOS CORRESPONDIENTE AL
LEVANTAMIENTO DE CAMPO REALIZADO EN EL
TABLERO DE EXCITACIÓN DE LA UNIDAD DE
GENERACIÓN II.**

- Levantamiento de campo – Lateral Derecho

Nº	Conexión	Equipo	Nombre	Etiqueta O	Etiqueta D	Observación	Estado	Página O	Página D
110	877	Modulador, convertidor	U31A	U31A-4	F31A-2			31	31
	878			U31A-8	F31A-4			31	31
	879			U31A-16	GND	Pin 16 no se especifica en el plano	Agregar pin al plano	31	
	880			U31A-20	UA-			31	31
	881			U31A-26	R21-1	Componente R21 no se encuentra en el tablero, pin 26 conectado a F01-1	Etiqueta corregida Corregir conexión en el plano	31	31
111	882	Modulador, convertidor	U41	U41-1	XE-38			41	41
	883			U41-2	XE-37			41	41
	884			U41-5	A40CA.1-X10-3			41	41
	885			U41-6	A40CA.1-X10-4			41	41
	886			U41-7	Q45A-32	Etiqueta de destino errónea (Q45A-32X) La etiqueta de destino no puede ser localizada en el plano	Etiqueta corregida Actualizar plano con el elemento Q45A-32X	41	40J
	887			U41-7	U40GA-13			41	40G
	888			U41-8	K40TB-A2			41	40t

112	889	Modulador, convertidor	U41AA	U41AA-5	XE-42	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AA-6, en el plano indica que va a la bornera XE-41	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A
	890			U41AA-6	XE-41	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AA-5, en el plano indica que va a la bornera XE-42	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A
	891			U41AA-1	AA8-B32			41A	41A
	892			U41AA-2	AA8-Z22			41A	41A
113	893	Modulador, convertidor	U40GA	U40GA-A2	Q45A-E2	Pin E2 no puede ser localizado en el mapa	Actualización de plano eléctrico con el nuevo contacto	40G	N/I
	894			U40GA-A1	Q45A-23K	Etiqueta de destino errónea ED: K70B-7 Revisar etiqueta de destino, el contacto K70B-7 no se encuentra conectado a nada en el plano	Etiqueta corregida Ubicar el contacto K70B-7 donde corresponda en el plano	40G	203

	895			U40GA-A1	F61.3-L5			40G	45
	896			U40GA-13	(+) UA			40G	40G
	897			U40GA-13	U41-7			40G	41
	898			U40GA-14	XDE-Z24			40G	40G
114	899	Modulador, convertidor	U400	U400-3.2	X-188	Etiqueta errónea de destino ED: P400-1	Etiqueta corregida	400	400
	900			U400-3.1	X-187			400	400
	901			U400-1.2	K45A-14			400	45
	902			U400-1.1	K40ÓC-7			400	45
	903			U400-1.1	F30E-4			400	30
	904			U400-1.2	F30E-2			400	30
	905			U400-4.1	R40C - (-)			400	40
	906			U400-4.2	R40C - (+)			400	40
115	907	Modulador, convertidor	U41AB	U41AB-5	XE-44	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AB-6, en el plano indica que va a la bornera XE-43	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A
	908			U41AB-6	XE-43	Etiqueta de destino intercambiada con el pin U41AB-5, en el plano indica que va a la bornera XE-44	Etiqueta de destino verificada en el tablero Corregir plano	41A	41A

	909			U41AB-1	AA8-B28			41A	41A
	910			U41AB-2	AA8-Z28			41A	41A
116	911	Dispositivo de protección	F01	R21-1	U31A-26	Etiqueta de origen errónea, F01-1	Etiqueta corregida	31	31
	912			F01-12	K31A-12			202	202
	913			F01-12	F31A-12			202	202
	914			F01-2	UA+			31	31
	915			F01-11	X-207			202	202
117	916	Transformador	T40B	(+)	A40CA-X8-1			40C	40C
	917			(-)	A40CA-X8-2			40C	40C
	918			(M)	A40CA-X8-3			40C	40C
118	919		UA+		A40BA-D22				40B
	920				A40BA-D18				40B
	921				A40CA-X1-1				40C
	922				A40AA-X03-4				40K
	923				F01-2				31
	924				U40GA-13				40G
	925				XDA-B32				40M
	926				S30A-23	No existe dicho pin	Ahora se conecta a K304F-11 Etiqueta Corregida		40I
119	927		UA-		A40BA-D10				40B
	928				A40BA-D06				40B
	929				A400AA-X03-2				40A
	930				K40QB-A2				40Q
	931				U31A-20				31

	932				A40CA-X1-2				40C
	933				XDE-B32				40G
	934				K31A-A1				31

Debido a la extensión del archivo, el anexo completo se encuentra digitalizado y será entregado a la Empresa para su uso correspondiente.

ANEXO 4: DATOS TÉCNICOS DEL SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE EXCITACIÓN DECS-250

Especificaciones

Las características eléctricas y físicas del DECS-250 se enumeran en los siguientes párrafos.

Potencia de Funcionamiento

Valor de Tensión

Para Potencia de Excitación 32 Vcc..... 56 a 70 Vca

Para Potencia de Excitación 63 Vcc..... 100 a 139 Vca o 125 Vcc

Para Potencia de Excitación 125 Vcc..... 190 a 277 Vca o 250 Vcc monofásica, trifásica de 190 a 260 V CA o 250 V CC

Valor de Frecuencia cc, 50 a 500 Hz

Precaución

Si la potencia de servicio supera los 260 V CA, se debe configurar la conexión como monofásica L-N o el equipo podría dañarse.

La Tabla 40 enumera la tensión de potencia de funcionamiento nominal requerida y la configuración requerida para obtener potencia de campo continua de 32, 63, y 125 Vcc para el DECS-250.

Tabla 40. Requisitos de Potencia de Funcionamiento para el DECS-250

Potencia de Excitación	32 Vcc	60 Vcc	125 Vcc
Configuración de Potencia de Entrada	Fase-1 ó -3	Fase-1 ó -3	Fase-1 ó -3
Tensión de Entrada Nominal	60 Vca	120 Vca	240 Vca
Tensión Continua a Plena Carga	32 Vcc	63 Vcc	125 Vcc
Corriente Continua a Plena Carga	15 Acc		
Tensión Mínima de Reserva para el Crecimiento de su Despliegue	6 Vca		
Entrada de Potencia de Funcionamiento Carga a 15 Acc Salida de Excitación	780 VA	1,570 VA	3,070 VA
Temperatura de Funcionamiento	-40 a +70°C (-40 a +158°F)		

Potencia de Control

Dos entradas de potencia de control permiten un funcionamiento continuo si una de las dos entradas se pierde. La tensión nominal de la potencia de control se determina por el número de estilo del dispositivo.

Estilo LXXXXXX

Entrada CC

Entrada Nominal 24 ó 48 Vcc

Rango de Entrada 16 a 60 Vcc

Carga..... 30 W

Estilo CXXXXXXEntrada CA

Entrada Nominal	120Vca, 50/60 Hz
Rango de Entrada	82 a 132 Vca, 50/60 Hz
Carga.....	50 VA

Entrada CC

Entrada Nominal	125 Vcc
Rango de Entrada	90 a 150 Vcc
Carga.....	30 W

Terminales

Entrada CA.....	L, N
Entrada CC.....	BATT+, BATT-

Medición de Tensión del Bus y Generador

Tipo	Fase-1 o Fase-3—Cable de tres hilos
Carga.....	<1 VA por fase

Terminales

Medición de Tensión del Generador.....	E1, E2, E3
Medición de Tensión del Bus	B1, B2, B3

Medición de Entrada Nominal de Tensión 50 Hz, Valor

100 Vca	90 a 110 Vca
200 Vca	180 a 220 Vca
400 Vca	360 a 440 Vca

Medición de Entrada Nominal de Tensión 60 Hz, Valor

120 Vca	108 a 132 Vca
240 Vca	216 a 264 Vca
480 Vca	432 a 528 Vca
600 Vca	540 a 660 Vca

Medición de Corriente del Generador

Configuración	4 entradas: fase-A, -B, -C, y entrada CT de compensación de corriente cruzada
Tipo	Fase-1 (Fase-B), Fase-1 con compensación de corriente cruzada, fase-3, fase-3 con compensación de corriente cruzada
Valor	1 Acaó 5 Aca nominal
Frecuencia.....	50/60 Hz
Carga	
Medición 1 Aca.....	<5 VA
Medición 5 Aca.....	<10 VA

Terminales

Fase-A	CTA+, CTA-
Fase-B	CTB+, CTB-
Fase-C	CTC+, CTC-
Compensación de Contra Corriente	CCCT+, CCCT-

Entradas Accesorias

Entrada de Corriente

Valor 4 a 20 mAcc
 Carga Aproximadamente 500 Ω
 Terminales I+, I–

Entrada de Tensión

Valor –10 a +10 Vcc
 Carga >20 k Ω
 Terminales V+, V–

Entradas de Contacto

Tipo Contacto seco, aceptasalidas de colector abierto PLC
 Tensión de las señales
 de Interrogación 12 Vcc

Terminales

Comenzar COMENZAR, COM A
 Parar PARAR, COM A
 Entrada Programable 1 IN 1, COM A
 Entrada Programable 2 IN 2, COM A
 Entrada Programable 3 IN 3, COM A
 Entrada Programable 4 IN 4, COM A
 Entrada Programable 5 IN 5, COM A
 Entrada Programable 6 IN 6, COM A
 Entrada Programable 7 IN 7, COM B
 Entrada Programable 8 IN 8, COM B
 Entrada Programable 9 IN 9, COM B
 Entrada Programable 10 IN 10, COM B
 Entrada Programable 11 IN 11, COM B
 Entrada Programable 12 IN 12, COM B
 Entrada Programable 13 IN 13, COM B
 Entrada Programable 14 IN 14, COM B

Puertos de Comunicación

Bus Serial Universal (USB)

Interfaz Conector de USB tipo B
 Ubicación Panel frontal

Precaución

Conforme a las pautas establecidas en las normas USB, el puerto USB de este dispositivo no está aislado. Para evitar daños en una PC o computadora portátil conectada, el DECS-250 debe estar correctamente conectado a tierra.

Ethernet

Tipo 100Base-T cobre (estilo xxxxx1x) o
 100Base-FX (estilo xxxxx2x)

Interfaz	Conector RJ45 (estilo xxxxx1x) o dúplex de bloqueo ST (siglas en inglés de: Punta Recta) receptáculo (estilo xxxxx2x)
Ubicación.....	Panel derecho

Red de Controlador de Área (CAN)

Tipo	protocolo de mensaje SAE J1939
Interfaz	Terminales de tipo resorte (estiloxxxSxxx) o compresión (estiloxxxCxxx)
Ubicación.....	Panel derecho
Terminales.....	CAN 1 H, L, SH CAN 2 H, L, SH
Tensión del Bus Diferencial	1,5 a 3 Vcc
Tensión Máxima	-32 a +32 Vcc
Velocidad de Comunicación.....	250 kb/s

RS-232

Tipo	RS-232 (para auto-seguimiento externo)
Interfaz	Conector DB-9
Ubicación.....	Panel derecho

RS-485

Tipo	RS-485, semidúplex
Interfaz	Terminales de tipo resorte
Ubicación.....	Panel izquierdo
Terminales.....	RS-485 A, B, C

Entrada de Sincronización de Tiempo IRIG

Estándar	200-98, Formato B002, y 200-04, Formato B006
----------------	--

Señal de Entrada	No modulado (señal de desplazamiento de nivel cc)
Nivel Alto Lógico	3,5 Vcc, mínimo
Nivel Bajo Lógico	0,5 Vcc, máximo
Valor de Tensión de Entrada	-10 a +10 Vcc
Resistencia de Entrada	No lineal, aproximadamente 4 kΩa 3,5 Vcc, 3 kΩa 20 Vcc
Tiempo de Respuesta	<1 ciclo
Terminales.....	IRIG+, IRIG-

Salidas de Contacto

Valores Nominales de Cierre e Interrupción (Resistiva)

24 Vcc.....	7,0Acc
48 Vcc.....	0,7Acc
125 Vcc.....	0,2Acc
120/240 Vca.....	7,0 Aca

Valores Nominales de Carga (Resistiva)

24/48/125 Vcc.....	7,0 Acc
120/240 Vca.....	7,0 Aca

Asignación de Terminales

Watchdog.....	WTCHD1, WTCHD, WTCHD2
Salida de Relé 1	RLY 1, RLY 1
Salida de Relé 2	RLY 2, RLY 2
Salida de Relé 3	RLY 3, RLY 3
Salida de Relé 4	RLY 4, RLY 4

Salida de Relé 5	RLY 5, RLY 5
Salida de Relé 6	RLY 6, RLY 6
Salida de Relé 7	RLY 7, RLY 7
Salida de Relé 8	RLY 8, RLY 8
Salida de Relé 9	RLY 9, RLY 9
Salida de Relé 10	RLY 10, RLY 10
Salida de Relé 11	RLY 11, RLY 11

Salida de Potencia de Campo

Valor Continuo	15 Acc
Valor Forzado	30 Accpor10 s
Terminales.....	F+, F–

Régimen de salida de función forzada mínimo de 10 segundos

Entrada de 60 V CA	50 V CC, 30 A CC
Entrada de 120 V CA	100 V CC, 30 A CC
Entrada de 240 V CA	200 V CC, 30 A CC

Resistencia de Campo Mínima

Aplicación 32 Vcc.....	2,13 Ω
Aplicación 63 Vcc.....	4,20 Ω
Aplicación 125 Vcc.....	8,33 Ω

Regulación

Modo de Funcionamiento FCR

Valor de la Consigna.....	0 a 18 Acc, en incrementos de 0,1%
Precisión en la Regulación.....	$\pm 1,0\%$ del valor nominal para 10% decambio de tensión de entrada de potencia o 20% decambio de resistencia de campo. De otra manera, $\pm 5,0\%$

Modo de Funcionamiento FVR

Valor de la Consigna.....	0 a 270 Vcc, en incrementos de 0,1%
Precisión en la Regulación.....	$\pm 1,0\%$ del valor nominal para 10% de cambio de tensión de entrada de potencia o 20% de cambio de resistencia de campo. De otra manera, $\pm 5,0\%$

Modo de Funcionamiento AVR

Valor de la Consigna.....	70 a 120% de la tensión nominal del generador, en incrementos de 0,1%
Precisión en la Regulación.....	$\pm 0,25\%$ en todo el rango de carga a un valor de PF con frecuencia de generador y temperatura ambiente constantes
Estabilidad en Estado Permanente	$\pm 0,25\%$ en un valor nominal de PF con frecuencia de generador y temperatura ambiente constantes
Desviación de la Temperatura	$\pm 0,5\%$ entre 0 y 40°C en carga y frecuencia del generador constantes

Modo de Funcionamiento Var

Valor de la Consigna.....	–100% (adelantado) a +100% (atrasado) de la potencia aparente nominal del generador en incrementos de 0,1%
Precisión en la Regulación.....	$\pm 2,0\%$ del valor nominal de la potencia aparente del generador a la frecuencia nominal del generador

Modo de Funcionamiento de Factor de Potencia

Valor de la Consigna	0,5 a 1,0 (atrasado) y -0,5 a -1,0 (adelantado), en incrementos de 0,005
Precisión en la Regulación.....	$\pm 0,02$ PF de la consigna de PF para la potencia real entre 10 y 100% en la frecuencia nominal

Compensación Paralela

Modos.....	Caída Reactiva, Caída de Tensión de Línea, y Reactivo Diferencial (Corriente Cruzada)
Carga de Entrada de Corriente Cruzada	Can excede 1 VA si los resistores externos se suman al circuito CT para compensación de corriente cruzada.
Terminales de Entrada de Corriente Cruzada	CCCT+, CCCT-

Valor de Consigna

Caída Reactiva.....	0 a +30%de Tensión Nominal
Caída de Tensión de Línea.....	0 a 30%de Tensión Nominal
Corriente Cruzada	-30 a +30%de Corriente CT Primaria

Funciones de Protección del Generador**Sobretensión (59) ySubtensión (27)**Activación

Valor 1 a 600,000 Vca
Incremento 1 Vca

Tiempo de Retardo

Valor 0,1 a 60 s
Incremento 0,1 s

Pérdida de MediciónTiempo de Retardo

Valor 0 a 30 s
Incremento 0,1 s

Nivel Balanceado de Tensión

Valor: 0 a 100%de Tensión de Secuencia Positiva
Incremento 0,1%

Nivel No-balanceado de Tensión

Valor 0 a 100%de Tensión de Secuencia Positiva
Incremento 0,1%

Sobrefrecuencia (81O) ySubfrecuencia (81U)Activación

Valor 30 a 70 Hz
Incremento 0,01 Hz

Tiempo de Retardo

Tiempo de RetardoValor 0 a 300 s

Incremento 0,1 s

Inhibidor de Tensión (sólo 81U)

Valor 50 a 100%de Tensión Nominal

Incremento 1%

Potencia Inversa (32R)

Activación

Valor 0 a 150%de Watts Nominales

Incremento 1%

Tiempo de Retardo

Valor 0 a 300 s

Incremento 0,1 s

Pérdida de Excitación (40Q)

Activación

Valor 0 a 150%de kvars Nominales

Incremento 1%

Tiempo de Retardo

Valor 0 a 300 s

Incremento 0,1 s

Funciones de Protección de Campo

Sobretensión de Campo

Activación

Valor 1 a 325 Vcc

Incremento 1 Vcc

Tiempo de Retardo

Valor 0,2 a 30 s

Incremento 0,1 s

Sobrecorriente de Campo

Activación

Valor 0 a 22 Acc

Incremento 0,1Acc

Tiempo de Retardo

Valor 5 a 60 s

Incremento 0,1 s

Pérdida de PMG

Activación

Fuente Monofásica..... <10 Vca

Fuente Trifásica <50 Vcao un desbalance de fase a fase >20%

Tiempo de Retardo

Valor 0 a 10 s

Incremento 0,1 s

Monitor de Diodo del Excitador (EDM: siglas en Inglés de ExciterDiode Monitor)Relación Polar

Valor 0 a 10
Incremento 0,01

Nivel de Activación

Diodo Abierto y en Cortocircuito 0 a 100%de Corriente de Campo Medida
Incremento 0,1%

Retardo

Protección del Diodo Abierto..... 10 a 60 s
Protección del Diodo
enCortocircuito 5 a 30 s
Incremento 0,1 s

Protección de Chequeo del Sincronismo (25)**Diferencia de Tensión**

Valor 1 a 50%
Incremento 1%

Angulo de Deslizamiento

Valor 1 a 99°
Incremento 0,1°

Frecuencia de Deslizamiento

Valor 0,01 a 0,5 Hz
Incremento 0,01 Hz

Arranque**Nivel de Arranque Suave**

Valor 0 a 90%de la Tensión del Gen Nominal
Incremento 1%

Tiempo de Arranque Suave

Valor 1 a 7,200 s
Incremento 1 s

Nivel Desactivación del Cebado de Campo

Valor 0 a 100% de Tensión del Gen Nominal
Incremento 1%

Tiempo de Cebado de Campo Máximo

Valor 1 a 50 s
Incremento 1 s

Coincidencia de Tensión

Precisión La tensiónrms del Generador se hace coincidir con la tensiónrms del bus dentro de $\pm 0,5\%$ de la tensión del generador.

Limitador de Sobreexcitación On-Line

Nivel de Corriente Intensa

Activación

Valor 0 a 30 Acc

Incremento 0,1Acc

Tiempo

Valor 0 a 10 s

Incremento 1 s

Nivel de Corriente Media

Activación

Valor 0 a 20 Acc

Incremento 0,1Acc

Tiempo

Valor 0 a 120 s

Incremento 1 s

Nivel de Corriente Baja

Activación

Valor 0 a 15Acc

Incremento 0,1Acc

Limitador de Sobreexcitación Sin Conexión

Nivel de Corriente Intensa

Activación

Valor 0 a 30 Acc

Incremento 0,1Acc

Tiempo

Valor 0 a 10 s

Incremento 1 s

Nivel de Corriente Baja

Activación

Valor 0 a 15 Acc

Incremento 0,1Acc

Registro de Secuencia de Eventos (SER –siglas en inglés)

Más de 1.000 registros se almacenan en memoria no volátil (extraíble vía BESTCOMSPPlus®). El SER puede dispararse por: cambios de estado de Entrada/Salida, cambios de estado de funcionamiento de sistema o anuncios de alarmas.

Registro de Datos (Oscilografía)

Se pueden registrar hasta 6 variables. La frecuencia de muestreo es de 1.200 puntos de datos por registro, hasta 1.1999 antes del disparo, intervalos de 4 ms a 10 s (duración total del registro 4,8 s a 12.000 s).

Ambiente

Temperatura

Valor de Funcionamiento	–40 a +70°C (–40 a +158°F)
Valor de Almacenamiento	–40 a +85°C (–40 a +185°F)

Humedad

MIL-STD-705B, Método 711-1C

Niebla Salina

MIL-STD-810E, Método 509.3

Tipos de Pruebas

Golpes

Soporta 15 G en 3 planos perpendiculares.

Vibración

18 a 2,000 Hz 5 G por 8 horas

Impulso

IEC 60255-5

Oscilaciones Momentáneas - Transitorios

EN61000-4-4

Descarga Estática

EN61000-4-2

Radiointerferencia

Tipo testado utilizando un transceptor portátil de 5 W que opera a frecuencias aleatorias centradas alrededor de los 144 y 440 MHz con la antena ubicada dentro de los 150 mm (6") del dispositivo en ambos planos, vertical y horizontal.

HALT (Prueba de Vida Altamente Acelerada)

HALT se utiliza en Basler Electric para demostrar que nuestros productos le brindarán al usuario muchos años de servicio confiable. HALT somete al dispositivo a extremos de temperatura, golpes y vibración para simular años de funcionamiento, pero en un menor período de tiempo. HALT le permite a Basler Electric evaluar todos los elementos de diseño posibles que le sumarán vida al dispositivo. Como ejemplo de algunas de las condiciones extremas de testeo, el DECS-250 se sometió a pruebas de temperatura (testeo sobre un valor de temperatura de –100°C a +120°C), pruebas de vibración (de 5 a 45 G a +20°C), y pruebas de temperatura y vibración (testeo a 40 en un valor de temperatura de –100°C a +120°C). El testeo combinado de temperatura y vibración a estos extremos prueba que se espera que el DECS-250 funcione por un largo plazo en un ambiente difícil. Debe notarse que las vibraciones y

temperaturas extremas que se enumeran en este párrafo son específicas de HALT y no reflejan niveles de funcionamiento recomendados. Estos valores de funcionamiento están incluidos en la Sección 1 de este manual.

Patente

Patente pendiente.

Descripción Física

Dimensiones Ver sección de *Montaje*.

Peso 6,62 kg (14,6 lb)

Normas Regulatorias

Certificación DNV (DetNorske Veritas)

Reconocimiento según la norma IACS UR (E10 y E22) otorgado por:

- Bureau Veritas (BV) – Reglas de BV – Pt. C, Cap. 3
- Det Norske Veritas (DNV) – N.º 2.4
- Germanischer Lloyd (GL) – VI-7-2
- American Bureau of Shipping (ABS): Reglamentaciones de la ABS, parte 1

IEC 60092-504 se utiliza para evaluación.

Aprobación UL

Se reconoce que este producto cumple con las normas de seguridad correspondientes de Canadá y de EE. UU., y con los requisitos de UL.

Normas utilizadas para la evaluación:

- UL 6200

Certificación CSA

Este producto fue probado y cumple con los requisitos de certificación de productos eléctricos, mecánicos o de plomería.

Normas utilizadas para la evaluación:

- CSA C22.2 N.º 0
- CSA C22.2 N.º 14

Conformidad CE

Este producto se ha evaluado y cumple con los requisitos esenciales relevantes establecidos por la legislación de la UE.

Directivas de la CE:

- LVD 2014/35/UE
- EMC 2004/108/CE

Normas armonizadas que se utilizaron para la evaluación:

- EN 50178 – Equipo electrónico para uso en instalaciones eléctricas
- EN 61000-6-4 – Compatibilidad electromagnética (EMC), Normas genéricas, Norma de emisión para entornos industriales
- EN 61000-6-2 – Compatibilidad electromagnética (EMC), Normas genéricas, Inmunidad para entornos industriales

Marca EAC (Conformidad Euroasiática)

- TP TC 004/2011
- TP TC 020/2011

**ANEXO 5: BASE DE DATOS CORRESPONDIENTE AL
LEVANTAMIENTO DE CAMPO REALIZADO EN LA
UNIDAD DE GENERACIÓN II DE LA CENTRAL
SAUCAY**

N°	Conexión	Equipo	Nombre	Etiqueta O	Etiqueta D	Observación	Estado	Página O	Página D
1	1	Regulador de Voltaje	U10	U10-37	Q11-2	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	2			U10-38	Q11-4	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	3			U10-39	Q11-6	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	4			U10-1	X10-12			E03	E03
	5			U10-2	X10-13			E03	E03
	6			U10-3	X10-14			E03	E03
	7			U10-4	X10-15			E03	E03
	8			U10-5	X10-16			E03	E03
	9			U10-6	X10-17			E03	E03
	10			U10-7	X10-18			E03	E03
	11			U10-8	X10-19			E03	E03
	12			U10-9	X10-20			E04	E04
	13			U10-10	X10-21			E04	E04
	14			U10-11	X10-22			E04	E04
	15			U10-12	X10-23			E04	E04
	16			U10-13	X10-24			E03	E03
	17			U10-14	X10-25			E03	E03
	18			U10-19	X10-26			E05	E05
	19			U10-20	X10-27			E05	E05
	20			U10-21	X10-28			E05	E05
	21			U10-22	X10-29			E05	E05
	22			U10-51	Q10-22			E06	E06
	23			U10-52	Q10-21			E06	E06

	24			U10-53	X10-40			E06	E06
	25			U10-54	X10-41			E06	E06
	26			U10-55	X10-42			E06	E06
	27			U10-56	X10-43			E06	E06
	28			U10-57	X10-44			E06	E06
	29			U10-58	X10-45			E06	E06
	30			U10-84	Q12-2	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	31			U10-85	Q12-4	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	32			U10-86	Q13-2	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	33			U10-87	Q13-4	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	34			U10-77	X10-3	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	35			U10-78	X10-4	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	36			U10-88	Q10-2	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	37			U10-90	Q10-4	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		
	38			U10-91	X10-00	No se encuentra dicha conexión en el plano	Actualizar plano		

	39			U10-93	X10-1	En el plano el pin 93 aparece como F+			
	40			U10-94	X10-2	En el plano el pin 94 aparece como F-			
	41			U10-95	X10-00	Tierra			
2	42	Bornera	X10	X10-0	U10-94	El plano indica que el pin 0 se conecta con el pin 91	Editar nombre del pin en el plano	E09	E09
	43			X10-0	U10-90	El plano indica que el pin 0 se conecta con el pin 95	Editar nombre del pin en el plano	E09	E09
	44			X10-0	PE1-5			E09	E09
	45			X10-1	U10-92	El plano indica que el pin 1 se conecta con el pin 93	Editar nombre del pin en el plano	E09	E09
	46			X10-1	EXCG2-F+			E09	E09
	47			X10-2	U10-93	El plano indica que el pin 2 se conecta con el pin 94	Editar nombre del pin en el plano	E09	E09
	48			X10-2	EXCG2-F-			E09	E09
	49			X10-3	U10-77			E09	E09
	50			X10-3	TPG2: B (+) /B3:59			E09	E09
	51			X10-4	U10-78			E09	E09
	52			X10-4	TPG2: B (-) /B3:58			E09	E09
	53			X10-5	Q10-1			E09	E09
	54			X10-5	PMGG2: (+)			E09	E09
	55			X10-6	Q10-3			E09	E09
	56			X10-6	PMGG2: (-)			E09	E09
	57			X10-7	Q11-1			E09	E09
	58			X10-7	TPG2: (A)			E09	E09
	59			X10-8	Q11-3			E09	E09

	60			X10-8	TPG2: (B)			E09	E09
	61			X10-9	Q11-5			E09	E09
	62			X10-9	TPG2: (C)			E09	E09
	63			X10-10	Ka10-44			E09	E09
	64			X10-10	86E1-11			E09	E09
	65			X10-11	X10-15			E09	E09
	66			X10-11	86E1-14			E09	E09
	67			X10-12	U10-1			E09	E09
	68			X10-12	PCG21/K35b-14	En el plano aparece como K53b	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E09	E09
	69			X10-13	U10-2			E09	E09
	70			X10-13	PCG21/K35b-11	En el plano aparece como K53b	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E09	E09
	71			X10-14	Ka10-41			E09	E09
	72			X10-14	U10-3			E09	E09
	73			X10-14	PCG21/K35a-14	En el plano aparece como K53a	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E09	E09
	74			X10-15	U10-4			E09	E09
	75			X10-15	X10-11			E09	E09
	76			X10-15	PCG21/K35a-11	En el plano aparece como K53a	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E09	E09
	77			X10-16	U10-5			E09	E09
	78			X10-16	PCG21/S10-4			E09	E09

	79			X10-17	U10-6			E09	E09
	80			X10-17	PCG21/S10-3			E09	E09
	81			X10-18	U10-7			E09	E09
	82			X10-18	PCG21/S10-2			E09	E09
	83			X10-19	U10-8			E09	E09
	84			X10-19	PCG21/S10-1			E09	E09
	85			X10-20	U10-9			E09	E09
	86			X10-20	K2Ua1:11			E09	E09
	87			X10-20	PCG21/K3-14			E09	E09
	88			X10-21	U10-10			E09	E09
	89			X10-21	K2Ua1:14			E09	E09
	90			X10-21	PCG21/K3-11			E09	E09
	91			X10-22	U10-11			E09	E09
	92			X10-22	K2Ua2:11			E09	E09
	93			X10-22	PCG21/K4-14			E09	E09
	94			X10-23	U10-12			E09	E09
	95			X10-23	K2Ua2:14			E09	E09
	96			X10-23	PCG21/K4-11			E09	E09
	97			X10-24	Ka10-11			E09	E09
	98			X10-24	U10-13			E09	E09
	99			X10-24	PCG21/K5-11	No se encuentra dicha conexión en el plano	Agregar conexión al plano	E09	E09
	100			X10-25	Ka10-12	No se encuentra dicha conexión en el plano	Agregar conexión al plano	E09	E09
	101			X10-25	U10-14			E09	E09
	102			X10-25	U10-20	No se encuentra dicha conexión en el plano	Agregar conexión al plano	E09	E09

	103			X10-25	Ka10-22	No se encuentra dicha conexión en el plano	Agregar conexión al plano	E09	E09
	104			X10-26	U10-19			E09	E09
	105			X10-26	Ka10-21			E09	E09
	106			X10-27	U10-20			E09	E09
	107			X10-27	Ka10-22	El plano indica que el pin 27 se conecta con el pin 24 del contacto Ka10		E09	E09
	108			X10-28	Ka10-31			E09	E09
	109			X10-28	U10-21			E09	E09
	110			X10-28	PCG21/S12-4			E09	E09
	111			X10-29	Ka10-32	El plano indica que el pin 29 se conecta con el pin 34 del contacto Ka10		E09	E09
	112			X10-29	U10-22			E09	E09
	113			X10-29	PCG21/S12-3			E09	E09
	114			X10-30	Q13-1			E09	E09
	115			X10-30	X1-2			E09	E09
	116			X10-31	Q13-3			E09	E09
	117			X10-31	X1-6			E09	E09
	118			X10-32	Q14-2			E09	E09
	119			X10-33	Q10-22			E09	E09
	120			X10-33	X10-42			E09	E09
	121			X10-34	Ka12-21			E09	E09
	122			X10-34	X10-40			E09	E09
	123			X10-35	K24C-11			E09	E09
	124			X10-36	Ka10-A2			E09	E09
	125			X10-36	Q14-4			E09	E09

	126			X10-37	Ka10-A1			E09	E09
	127			X10-37	K24c-14			E09	E09
	128			X10-38	Ka12-A1			E09	E09
	129			X10-38	X10-41			E09	E09
	130			X10-39	Ka13-A1			E09	E09
	131			X10-39	X10-43			E09	E09
	132			X10-40	U10-53			E09	E09
	133			X10-40	X10-34			E09	E09
	134			X10-41	U10-54			E09	E09
	135			X10-41	X10-38			E09	E09
	136			X10-42	U10-55			E09	E09
	137			X10-42	X10-44			E09	E09
	138			X10-42	X10-33			E09	E09
	139			X10-43	U10-56			E09	E09
	140			X10-43	X10-39			E09	E09
	141			X10-44	U10-57			E09	E09
	142			X10-44	X10-42			E09	E09
	143			X10-44	U10-47			E09	E09
	144			X10-45	U10-58			E09	E09
	145			X10-45	Ka14-A1			E09	E09
	146			X10-46	Ka11-14			E09	E09
	147			X10-46	PCG21/X15-1			E09	E09
	148			X10-47	Ka11-11			E09	E09
	149			X10-47	X10-44			E09	E09
	150			X10-47	X10-49			E09	E09
	151			X10-48	Ka12-14			E09	E09
	152			X10-48	PCG21/X15-2			E09	E09
	153			X10-49	Ka12-11			E09	E09
	154			X10-49	X10-47			E09	E09

	155			X10-49	X10-51			E09	E09
	156			X10-50	Ka13-11			E09	E09
	157			X10-50	PCG21/X15-4			E09	E09
	158			X10-51	Ka13-14			E09	E09
	159			X10-51	X10-53			E09	E09
	160			X10-51	X10-49			E09	E09
	161			X10-52	Ka14-14			E09	E09
	162			X10-52	X15-5			E09	E09
	163			X10-53	Ka14-11			E09	E09
	164			X10-53	X10-51			E09	E09
	165			X10-54	Q12-1			E09	E09
	166			X10-54	X6-2			E09	E09
	167			X10-55	Q12-3			E09	E09
	168			X10-55	X6-6			E09	E09
	169			X10-56	Ka12-12			E09	E09
	170			X10-56	PCG21/X15-3			E09	E09
3	171	Breaker	Q10	Q10-1	X10-5			E10	E10
	172			Q10-2	U10-88			E10	E10
	173			Q10-3	X10-6			E10	E10
	174			Q10-4	U10-90			E10	E10
	175			Q10-22	X10-33	El plano indica que el pin 22 se conecta con el pin 32 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E06	E06
	176			Q10-22	U10-51				
	177			Q10-21	Ka11-A1			E06	E06
	178			Q10-21	U10-52			E06	E06

4	179	Breaker	Q11	Q11-1	X10-7	El plano indica que el pin 1 se conecta con el pin 11 de la bornera X10 Esta conexión no se encuentra en el plano	Editar nombre del pin en el plano	E10	E10
	180			Q11-2	U10-37	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10
	181			Q11-3	X10-8	El plano indica que el pin 3 se conecta con el pin 12 de la bornera X10 Esta conexión no se encuentra en el plano	Editar nombre del pin en el plano	E10	E10
	182			Q11-4	U10-38	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10
	183			Q11-5	X10-9	El plano indica que el pin 5 se conecta con el pin 13 de la bornera X10 Esta conexión no se encuentra en el plano	Editar nombre del pin en el plano	E10	E10
	184			Q11-6	U10-39	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10
5	185	Breaker	Q12	Q12-1	X10-54	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10

	186			Q12-2	U10-83	El plano indica que el pin 2 se conecta con el pin 84 de la U10 Esta conexión no se encuentra en el plano	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E10	E10
	187			Q12-3	X10-55	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10
	188			Q12-4	U10-84	El plano indica que el pin 4 se conecta con el pin 83 de la U10 Esta conexión no se encuentra en el plano	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E10	E10
6	189	Breaker	Q13	Q13-1	X10-30	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10
	190			Q13-1	Q14-1	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10
	191			Q13-2	U10-85	El plano indica que el pin 2 se conecta con el pin 86 de la U10 Esta conexión no se encuentra en el plano	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E10	E10
	192			Q13-3	X10-31	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10

	193			Q13-3	Q14-3	Esta conexión no se encuentra en el plano		E10	E10
	194			Q13-4	U10-86	El plano indica que el pin 4 se conecta con el pin 87 de la U10 Esta conexión no se encuentra en el plano	Corregir etiqueta de destino en el tablero	E10	E10
7	195	Breaker	Q14	Q14-1	Q13-1			E06	E06
	196			Q14-2	X10-32			E06	E06
	197			Q14-3	Q13-3			E06	E06
	198			Q14-4	X10-36			E06	E06
8	199	Relé	Ka10	Ka10-A1	X10-37			E07	E07
	200			Ka10-A2	X10-36	Esta conexión no se encuentra en el plano		E11	E11
	201			Ka10-A2	Ka11-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E11	E11
	202			Ka10-12	X10-25	El pin 12 del contacto recibe el nombre de 14 en el plano	Editar nombre del pin	E03	E03
	203			Ka10-11	X10-24			E03	E03
	204			Ka10-22	X10-27	En el plano el pin que se conecta al 27 de la bornera X10 es el 24	Editar nombre del pin	E05	E05
	205			Ka10-21	X10-26			E05	E05

	206			Ka10-32	X10-29	En el plano el pin que se conecta al 29 de la bornera X10 es el 34	Editar nombre del pin	E05	E05
	207			Ka10-31	X10-28			E05	E05
	208			Ka10-44	X10-10	Esta conexión no se encuentra en el plano		E11	E11
	209			Ka10-41	X10-14	Esta conexión no se encuentra en el plano		E11	E11
9	210	Relé	Ka11	Ka11-A1	Q10-21			E06	E06
	211			Ka11-A2	Ka12-A2			E06	E06
	212			Ka11-A2	Ka13-A2			E06	E06
	213			Ka11-14	X10-46			E07	E07
	214			Ka11-11	X10-47			E07	E07
10	215	Relé	Ka12	Ka12-A1	X10-38	El plano indica que la el pin A1 de la bobina va al pin 41 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E06	E06
	216			Ka12-A2	Ka12-A2			E06	E06
	217			Ka12-A2	Ka14-A2			E06	E06
	218			Ka12-14	X10-48			E07	E07
	219			Ka12-12	X10-56			E07	E07
	220			Ka12-11	X10-49			E07	E07
	221			Ka12-24	X3-27	El plano indica que la etiqueta de destino es X3-22 y no 27	Editar nombre del pin	E07	E07
	222			Ka12-21	X10-34			E07	E07

11	223	Relé	Ka13	Ka13-A1	X10-39	El plano indica que el pin A1 de la bobina va al pin 43 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E06	E06
	224			Ka13-A2	Ka13-A2			E06	E06
	225			Ka13-A2	Ka15-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E11	E11
	226			Ka13-14	X10-51	El plano indica que el pin 14 del contacto va al pin 50 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E07	E07
	227			Ka13-11	X10-50	El plano indica que el pin 11 del contacto va al pin 51 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E07	E07
12	228	Relé	Ka14	Ka14-A1	X10-45			E06	E06
	229			Ka14-A2	Ka13-A2			E06	E06
	230			Ka14-A2	Ka15-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E11	E11
	231			Ka14-14	X10-52			E07	E07
	232			Ka14-11	X10-53			E07	E07
13	233	Relé	K53a	K53a-A1	XDO21-32	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	234			K53a-A2	X5-8	El plano indica que A2 debe ir a X2-8	Verificar en el tablero la etiqueta de destino	E12	E12
	235			K53a-A2	K53b-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12

	236			K53a-14	X10-14			E03	E03
	237			K53a-11	X10-15			E03	E03
14	238	Relé	K53b	K53b-A1	XD021-30	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	239			K53b-A2	K53-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	240			K53b-A2	K3-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	241			K53b-14	X10-12			E03	E03
	242			K53b-11	X10-13			E03	E03
15	243	Relé	K3	K3-A1	XDO22-4	El plano indica que A1 se conecta a XDO22-2	Verificar en el tablero la etiqueta de destino	E12	E12
	244			K3-A1	S11-3			E04	E04
	245			K3-A2	K35b-A2			E04	E04
	246			K3-A2	K4-A2			E04	E04
	247			K3-14	X10-20	El plano indica que el pin 14 va conectado al pin 21 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E04	E04
	248			K3-11	X10-21	El plano indica que el pin 11 va conectado al pin 20 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E04	E04
16	249	Relé	K4	K4-A1	XDO22-2	El plano indica que A1 se conecta a XDO22-4	Verificar en el tablero la etiqueta de destino	E12	E12
	250			K4-A1	S11-13			E04	E04

	251			K4-A2	K3-A2			E04	E04
	252			K4-14	X10-22		Editar nombre del pin	E04	E04
	253			K4-11	X10-23		Editar nombre del pin	E04	E04
17	254	Relé	K2Ua1	K2Ua1-A1	X4-64	Esta conexión no se encuentra en el plano	Agregar conexión al plano		
	255			K2Ua1-A2	K2Ua2-A2	El plano indica que el pin A2 va conectado a Ka13-A2	Verificar en el tablero la etiqueta de destino	E12	E12
	256			K2Ua1-A2	K1Ua2-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	257			K2Ua1-14	X10-21			E04	E04
	258			K2Ua1-11	X10-20			E04	E04
18	259	Relé	K2Ua2	K2Ua2-A1	X4-63	Esta conexión no se encuentra en el plano	Agregar conexión al plano		
	260			K2Ua2-A2	K3Ua1-A2	El plano indica que el pin A2 se conecta a K1Ua1-A2	Verificar en el tablero la etiqueta de destino	E12	E12
	261			K2Ua2-A2	K2Ua1-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	262			K2Ua2-14	X10-23			E04	E04
	263			K2Ua2-11	X10-22			E04	E04
19	264	Relé	K24C	K24C-A1	K24A-A1	Esta conexión no se encuentra en el plano	Agregar conexión al plano		

	265			K24C-A2	K24A-A2	El plano indica que el pin A2 se conecta a Ka13-A2	Verificar en el tablero la etiqueta de destino	E12	E12
	266			K24C-A2	K1Ua2-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	267			K24C-14	X10-37	El plano indica que el pin 14 va conectado al pin 35 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E07	E07
	268			K24C-11	X10-35	El plano indica que el pin 11 va conectado al pin 37 de la bornera X10	Editar nombre del pin	E07	E07
20	269	Relé	86E-1	86E-1-A1	86E-A1	Esta conexión no se encuentra en el plano	Agregar conexión al plano		
	270			86E-1-A2	86E-A2	El plano indica que el pin A2 se conecta a K1Ua1-A2	Verificar en el tablero la etiqueta de destino	E12	E12
	271			86E-1-A2	K2Ua1-A2	Esta conexión no se encuentra en el plano		E12	E12
	272			86E-1-14	X10-11			E03	E03
	273			86E-1-11	X10-10			E03	E03
21	274	Selector	S10	S10-1	X10-19	En el plano el pin 1 aparece como pin 13	Editar nombre del pin en el plano	E03	E03
	275			S10-2	X10-18	En el plano el pin 2 aparece como pin 14	Editar nombre del pin en el plano	E03	E03
	276			S10-3	X10-17			E03	E03

	277			S10-4	X10-16			E03	E03
22	278	Selector	S11	S11-4	X14-2			E04	E04
	279			S11-3	K3-A1			E04	E04
	280			S11-14	X14-3			E04	E04
	281			S11-13	K4-A1			E04	E04
23	282	Selector	S12	S12-1	X10-28			E05	E05
	283			S12-2	X10-29			E05	E05

**ANEXO 6: INGENIERÍA EN LOS DOS TABLEROS DE
EXCITACIÓN, PROTECCIÓN Y MEDIDA DE LAS DOS
UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL
OCAÑA**

- Ingeniería – Puerta

Equipo	Nombre	Etiqueta O	Etiqueta D	Observación	Tipo de Conexión	Página O	Página D
Resistencia	R40B	R40B-1	V40C-L1		Resistencia - AVR	40	40
		R40B-2	F30H-4		Resistencia - AVR	40	30
Resistencia	R40D	R40D-1	K45B-2		Resistencia - AVR	40	40
		R40D-2	K45B-8		Resistencia - AVR	40	40
Semiconductor	V30A	V30A-1	XC-1		Diodos rectificadores	30	30
		V30A-2	F30A-3		Diodos rectificadores	30	30
Semiconductor	V30B	V30B-1	XC-3		Diodos rectificadores	30	30
		V30B-2	F30A-3		Diodos rectificadores	30	30
Resistencia	R40A	R40A-1	Q45A-7		Resistencia - AVR	40	40
		R40A-1	V40B-L1		Resistencia - AVR	40	40
		R40A-2	Q45A-R4		Resistencia - AVR	40	40
Semiconductor	V40A	V40A-K	V40B-(+)		Diodo rectificador - AVR	40	40
		V40A-(-)	V40B-(-)		Diodo rectificador - AVR	40	40
Puente de tiristores	G40AA	G40AA-1-7	A40AA-X22-2		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-1-6	A40AA-X22-1		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-1-5	A40AA-X21-2		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-1-4	A40AA-X21-1		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-2-7	A40AA-X22-4		Puente de Tiristores	40A	40A

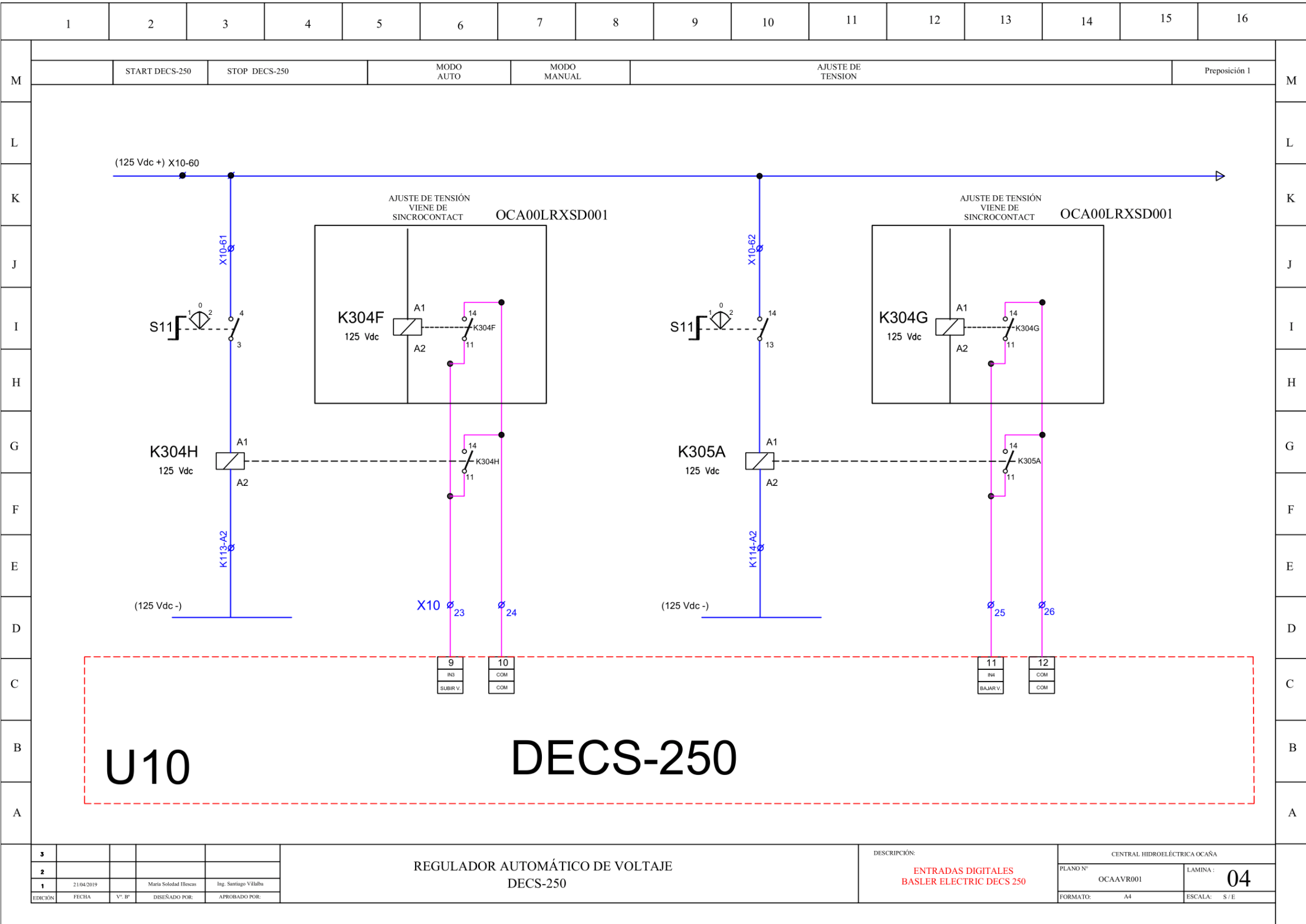
		G40AA-2-6	A40AA-X22-3		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-2-5	A40AA-X21-4		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-2-4	A40AA-X21-3		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-3-7	A40AA-X22-6		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-3-6	A40AA-X22-5		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-3-5	A40AA-X21-6		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-3-4	A40AA-X21-5		Puente de Tiristores	40A	40A
		G40AA-AM-	Q45A-4		Puente de Tiristores	40	40
		G40AA-AM-	K40ÓB-4		Puente de Tiristores	40	40
		G40AA-KM+	Q45A-2		Puente de Tiristores	40	40
		G40AA-KM+	K40ÓB-3		Puente de Tiristores	40	40
		G40AA-AK1	F40A-2		Puente de Tiristores	40	40
		G40AA-AK2	F40A-4		Puente de Tiristores	40	40
		G40AA-AK3	F40A-6		Puente de Tiristores	40	40
Resistencia	R40C	R40C-1	Q45A-R3		Resistencia - AVR	40	40
		R40C-2	XE-7		Resistencia - AVR	40	40
		R40C-(+)	U40O-4.2		Resistencia - AVR	40	400
		R40C-(-)	U40O-4.1		Resistencia - AVR	40	400
Tubo electrónico	V40B	V40B-(+)	V40A-K		Tubo electrónico - AVR	40	40
		V40B-(-)	V40A-(-)		Tubo electrónico - AVR	40	40
		V40B-L1	R40A-1		Tubo electrónico - AVR	40	40
		V40B-N	Q45A-1		Tubo electrónico - AVR	40	40
Tubo electrónico	V40C	V40C-L1	R40B-1		Tubo electrónico - AVR	40	40
		V40C-N	F30H-2		Tubo electrónico - AVR	40	30
		V40C-(+)	K45B-1		Tubo electrónico - AVR	40	40

		V40C-(-)	K45B-7		Tubo electrónico - AVR	40	40
Transformador	T40A	T40A-U	F40B-2		Transformador - AVR	40	40
		T40A-V	F40B-4		Transformador - AVR	40	40
		T40A-W	F40B-6		Transformador - AVR	40	40
		T40A-U1	A40CA-X3-6		Transformador - AVR	40	40C
		T40A-V1	A40CA-X3-7		Transformador - AVR	40	40C
		T40A-W1	A40CA-X3-8		Transformador - AVR	40	40C
Tarjeta LG6	A40AA	A40AA-X21-1	G40AA-1-4		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X21-2	G40AA-1-5		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X21-3	G40AA-2-4		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X21-4	G40AA-2-5		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X21-5	G40AA-3-4		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X21-6	G40AA-3-5		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X22-1	G40AA-1-6		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X22-2	G40AA-1-7		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X22-3	G40AA-2-6		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X22-4	G40AA-2-7		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X22-5	G40AA-3-6		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X22-6	G40AA-3-7		Tarjeta LG6	40A	40A
		A40AA-X03-1	XDA-D22		Tarjeta LG6	40A	40Ó
		A40AA-X03-2	(-)UA		Tarjeta LG6	40A	31
		A40AA-X03-3	XDA-D20		Tarjeta LG6	40A	40P
		A40AA-X03-4	(+)UA		Tarjeta LG6	40K	40K
		A40AA-X03-5	XDE-D06		Tarjeta LG6	40K	40K
		GND	GND		Tarjeta LG6		

Debido a la extensión del archivo, el anexo completo se encuentra digitalizado y será entregado a la Empresa para su uso correspondiente.

**ANEXO 7: PLANOS ELÉCTRICOS DE CONEXIÓN
PARA EL SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE
EXCITACIÓN DECS-250**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
M	Servicio de montaje e implementación del Sistema de Control de Excitación Digital DECS-250 en la Central Hidroeléctrica Ocaña Grupo de generación G1 y G2																M	
L																	L	
K																	K	
J																	J	
I																	I	
H																	H	
G																	G	
F																	F	
E																	E	
D																	D	
C	C																	
B	B																	
A	A																	
3					REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250					DESCRIPCIÓN: CARATULA		CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA						
2												PLANO N°		OCAA VR001		LAMINA :	01	
1	21/04/2019		Maria Soledad Illescas	Ing. Santiago Villalba								FORMATO:		A4		ESCALA:		S / E
EDICIÓN	FECHA	V°: IP°	DISEÑADO POR:	APROBADO POR:														



3				
2				
1	21/04/2019		Maria Soledad Illanes	Ing. Santiago Villalba
EDICION	FECHA	V° B°	DISEÑADO POR:	APROBADO POR:

REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE
DECS-250

DESCRIPCIÓN:
ENTRADAS DIGITALES
BASLER ELECTRIC DECS 250

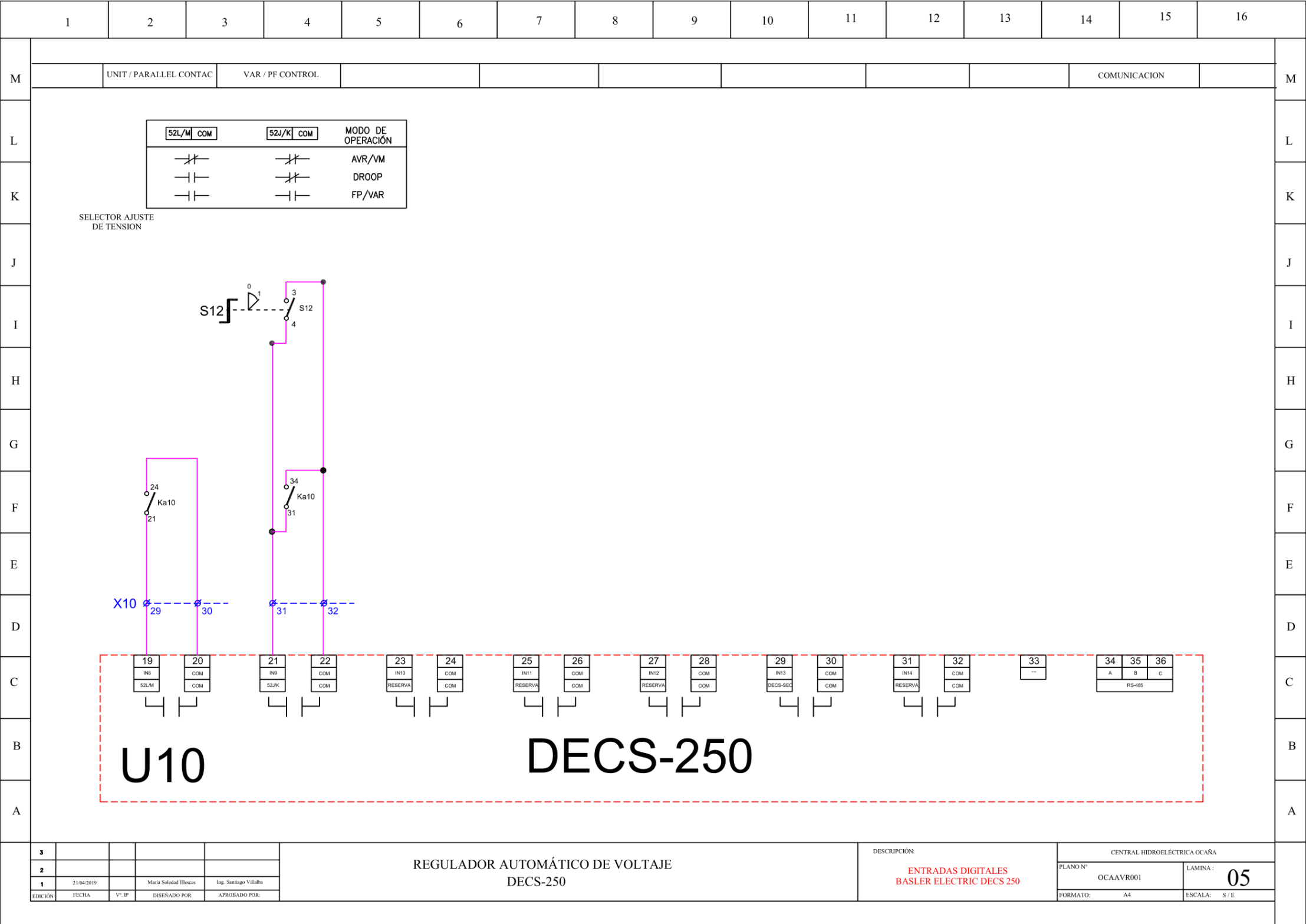
CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA

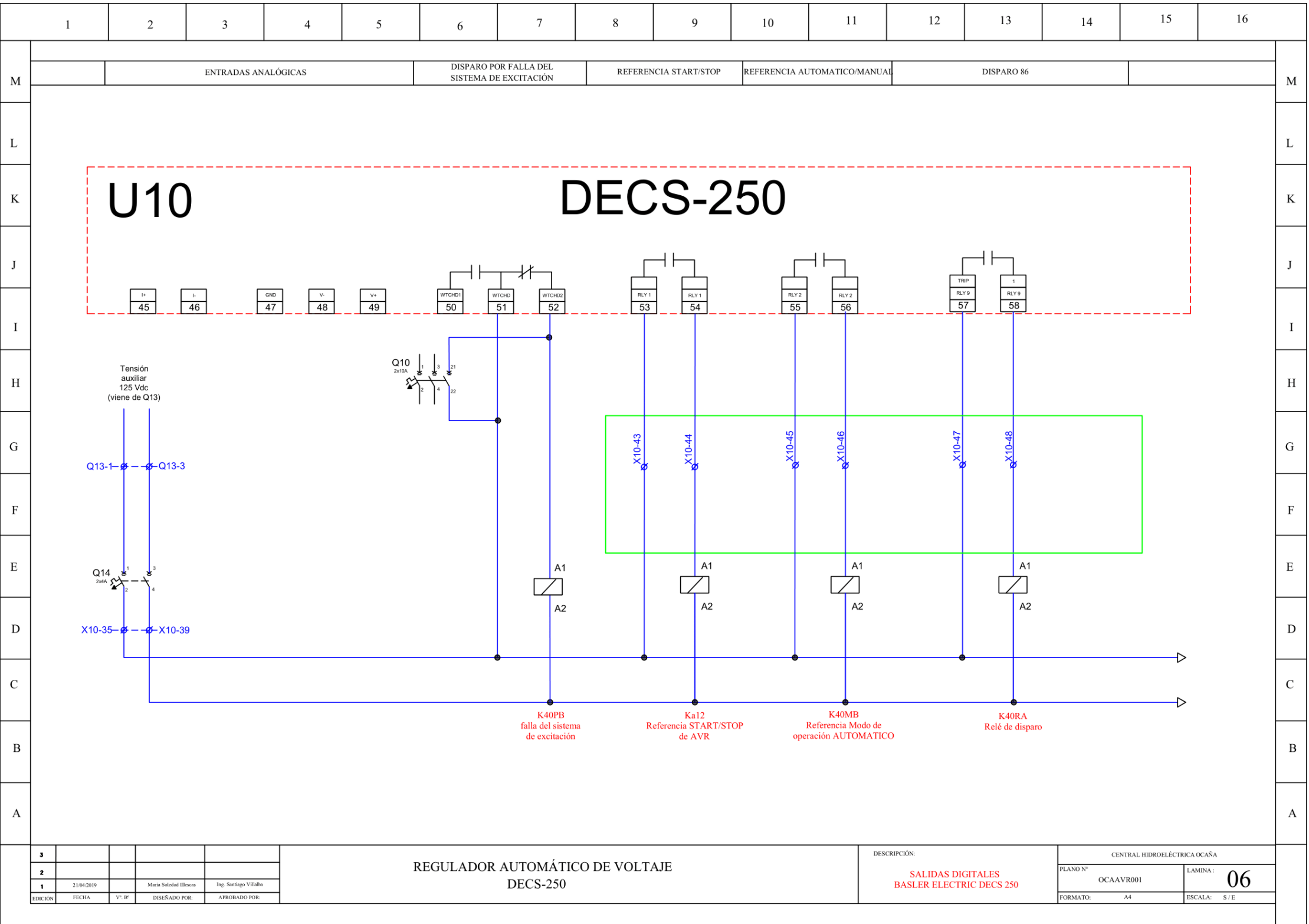
PLANO N°
OCAAVR001

FORMATO:
A4

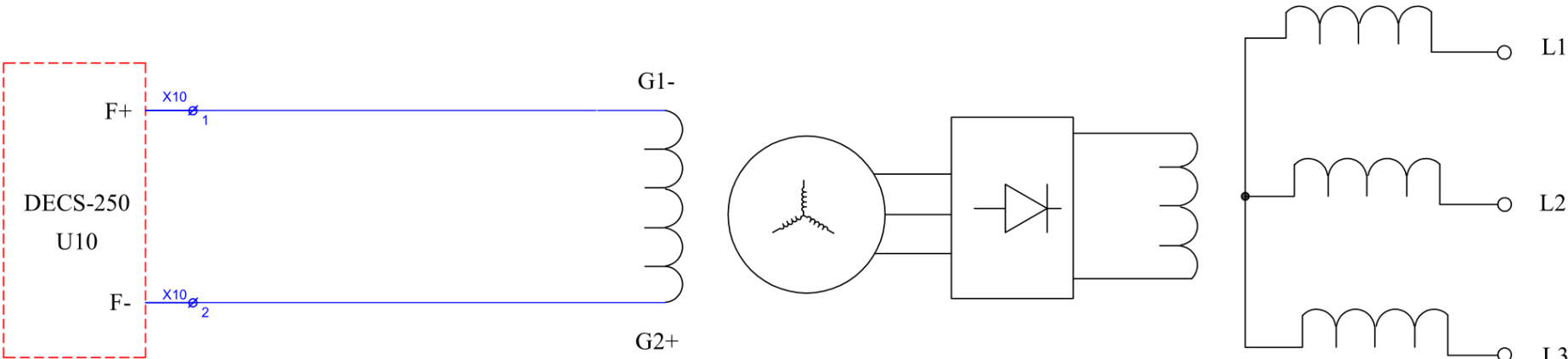
LAMINA :
04

ESCALA:
S / E



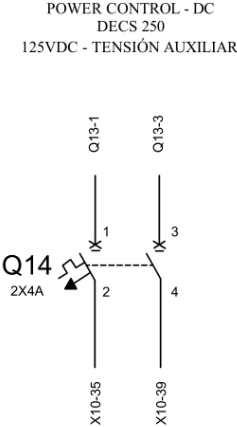
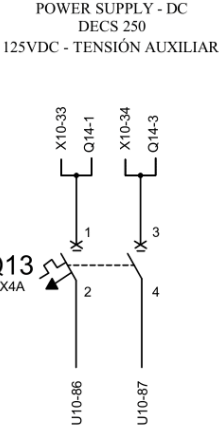
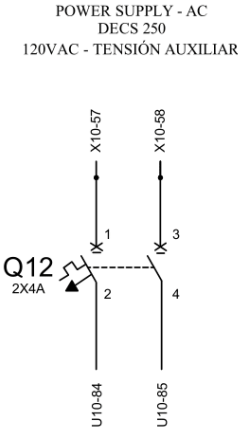
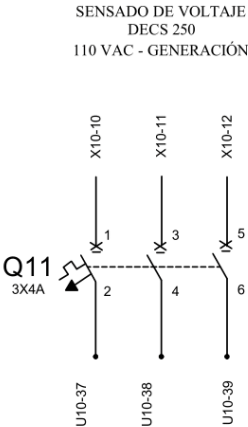
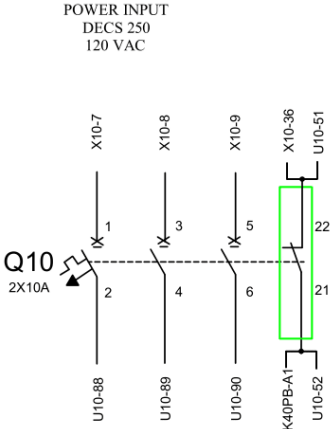


1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16																																																													
M	ENLACE																														SEÑAL DEL INTERRUPTOR GENERADOR										AVR INOPERATIVO										CONTACTOS DE REFERENCIA DE START/STOP										CONTACTO REF AUTO										CONTACTO DE DISPARO										M										
L	125 Vdc (+)																																																												125Vdc (-)																														L
K																																																																																											K
J																																																																																											J
I																																																																																											I
H																																																																																											H
G																																																																																											G
F																																																																																											F
E																																																																																											E
D																																																																																											D
C																																																																																											C
B																																																																																											B
A																																																																																											A
3																																DESCRIPCIÓN:		CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA																																																									
2																																CIRCUITO DE EXCITACIÓN		PLANO N°																																																									
1		21/04/2019				Maria Soledad Illescas		Ing. Santiago Vilalba																								BASLER ELECTRIC DECS 250		OCAA VR001																																																									
EDICIÓN		FECHA		V° B°		DISEÑADO POR:		APROBADO POR:																								FORMATO:		A4																																																									
																																ESCALA:		S / E																																																									

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16			
M																															M		
		REGULADOR DIGITAL DE TENSIÓN DECS 250												INDUCTOR DE EXCITATRIZ		INDUCIDO DE EXCITATRIZ		PUENTE RECTIFICADOR		INDUCTOR PRINCIPAL		INDUCIDO PRINCIPAL											
L																																	L
K																																	K
J																																	J
I																																	I
H																																	H
G																																	G
F																																	F
E																																	E
D																																	D
C																																	C
B																																	B
A																																	A
3						REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250														DESCRIPCIÓN: CIRCUITO DE EXCITACIÓN BASLER ELECTRIC DECS 250		CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA											
2																						PLANO N°		OCAA VR001		LAMINA :		08					
1		21/04/2019		Maria Soledad Iltasca	Ing. Santiago Villalba																	FORMATO:		A4		ESCALA:		S / E					
EDICIÓN		FECHA		Vº. Bº		DISEÑADO POR:		APROBADO POR:																									

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																												
M																	M																																																																											
L																	L																																																																											
K																	K																																																																											
J																	J																																																																											
I																	I																																																																											
H																	H																																																																											
G																	G																																																																											
F																	F																																																																											
E																	E																																																																											
D																	D																																																																											
C																	C																																																																											
B																	B																																																																											
A																	A																																																																											
<table><tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="10">REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250</td><td colspan="2">DESCRIPCIÓN: CABLEADO BORNERAS DE INTERCONEXIÓN X10 </td><td colspan="2">CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA</td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="10"></td><td colspan="2">PLANO Nº OCAAVR001</td><td colspan="2">LAMINA : 09</td></tr><tr><td>1</td><td>21/04/2019</td><td></td><td>Maria Soledad Illescas</td><td>Ing. Santiago Vilalba</td><td colspan="10"></td><td colspan="2">FORMATO: A4</td><td colspan="2">ESCALA: S / E</td></tr><tr><td>EDICIÓN</td><td>FECHA</td><td>Vº Bº</td><td>DISEÑADO POR:</td><td>APROBADO POR:</td><td colspan="10"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr></table>																	3					REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250										DESCRIPCIÓN: CABLEADO BORNERAS DE INTERCONEXIÓN X10		CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA		2															PLANO Nº OCAAVR001		LAMINA : 09		1	21/04/2019		Maria Soledad Illescas	Ing. Santiago Vilalba											FORMATO: A4		ESCALA: S / E		EDICIÓN	FECHA	Vº Bº	DISEÑADO POR:	APROBADO POR:														
3					REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250										DESCRIPCIÓN: CABLEADO BORNERAS DE INTERCONEXIÓN X10		CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA																																																																											
2															PLANO Nº OCAAVR001		LAMINA : 09																																																																											
1	21/04/2019		Maria Soledad Illescas	Ing. Santiago Vilalba											FORMATO: A4		ESCALA: S / E																																																																											
EDICIÓN	FECHA	Vº Bº	DISEÑADO POR:	APROBADO POR:																																																																																								

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
M																	M
L																	L
K																	K
J																	J
I																	I
H																	H
G																	G
F																	F
E																	E
D																	D
C																	C
B																	B
A																	A
	3				REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250						DESCRIPCIÓN: CABLEADO DE ITM UBICADOS EN EL PANEL FRONTAL DEL TABLERO		CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA PLANO N° OCAAVR001 LAMINA : 10 FORMATO: A4 ESCALA: S / E				
	2																
	1	21/04/2019		Maria Soledad Flores													
	EDICIÓN	FECHA	V°: IF	DISEÑADO POR:													



1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16			
M																																	M
L																																	L
K																																	K
J																																	J
I																																	I
H																																	H
G																																	G
F																																	F
E																																	E
D																																	D
C																																	C
B																																	B
A																																	A
3 2 1 EDICIÓN FECHA V°: BF° DISEÑADO POR: APROBADO POR: REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250 DESCRIPCIÓN: CABLEADO DE RELES AUXILIARES UBICADOS EN EL PANEL FRONTAL CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA PLANO N° OCAA VR001 LAMINA : 11 FORMATO: A4 ESCALA: S / E																																	

ESCALA:	S
---------	---

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
M		LISTADO DE COMPONENTES														M		
		IDENTIFICACION	DESCRIPCION					REFERENCIA			MARCA		OBSERVACION					
L																	L	
		U10	Digital Controller System Excitation					110Vac / 125 Vdc			BASLER ELECTRIC		MODELO DECS_250					
K		Ka10	Ampliación de contactos Interruptor de GENERADOR					bobina 125 Vdc 14 pines 4NO / 4NC									K	
		K40PB	Falla Watch Dog (AVR Inoperativo)					bobina 125 Vdc 11 pines 3NO / 3NC										
		Ka12	Referencia Arranque/Detener DECS-250					bobina 125 Vdc 11 pines 3NO / 3NC										
J		K40MB	Referencia DECS-250 modo de operación AUTO					bobina 125 Vdc 11 pines 3NO / 3NC									J	
		K40RA	Relé de Disparo 86					bobina 125 Vdc 11 pines 3NO / 3NC										
		Q10	ITM Power input DECS 250 con contacto auxiliar					110 Vac 10A-2 fases contactos 1NO/1NC										
I		Q11	ITM Sensing Generación					110 Vac 4A - 3 fases									I	
		Q12	ITM Power supply AC					110 Vac 4A - 2 fases										
		Q13	ITM Power supply DC					125 Vdc 4A - 2 fases										
H		Q14	ITM Power control DC					125 Vdc 4A - 2 fases									H	
		X10	Bornera de interconexión					4 mm2										
		S10	Selector modo AUTOMÁTICO, MANUAL					Selector 2 posiciones sin retorno										
G		S11	Selector SUBIR, BAJAR					Selector 3 posiciones con retorno									G	
		S12	Selector modo DROOP/VAR/PF					Selector 2 posiciones sin retorno										
F																	F	
E																	E	
D																	D	
C																	C	
B																	B	
A																	A	
	3					REGULADOR AUTOMÁTICO DE VOLTAJE DECS-250						DESCRIPCIÓN: LISTADO DE COMPONENTES INSTALADOS EN EL TABLERO		CENTRAL HIDROELÉCTRICA OCAÑA				
	2													PLANO N°	OCAAVR001		LAMINA :	14
	1	21/04/2019		Maria Soledad Illescas	Ing. Santiago Vilalba									FORMATO:			A4	
	EDICIÓN	FECHA	Vº. Bº	DISEÑADO POR:	APROBADO POR:													