



**Actualización del sistema de control automático de la Central Hidroeléctrica Nayón de la
Empresa Eléctrica Quito S.A**

Guato Núñez, Pablo Esteban

Departamento de Eléctrica y Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electrónica Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica

Automatización y Control

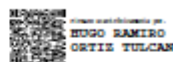
Ing. Ortiz Tulcan, Hugo Ramiro, M.Sc.

18 de marzo del 2021



Document Information

Analyzed document	TESIS_ESTEBAN_GUATO.pdf (D98654307)
Submitted	3/17/2021 3:16:00 PM
Submitted by	Ortiz Tulcán Hugo Ramiro
Submitter email	hrtiz@espe.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	hrtiz.espe@analysis.arkund.com



HUGO RAMIRO
ORTIZ TULCAN

Sources included in the report

SA	<p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TrabajoTitulacionCalderonV4.docx Document TrabajoTitulacionCalderonV4.docx (D77294910) Submitted by: hrtiz@espe.edu.ec Receiver: hrtiz.espe@analysis.arkund.com</p>		2
W	<p>URL: https://docplayer.es/123141125-Diseno-para-la-interoperabilidad-entre-una-central- ... Fetched: 12/21/2019 6:22:14 PM</p>		1
W	<p>URL: https://library.co/document/yj79o75y-integracion-control-inteligente-deterministi ... Fetched: 12/6/2020 10:01:42 PM</p>		1
W	<p>URL: https://www.eeymuc.co/31-protocolo-modbus/ Fetched: 3/17/2021 4:30:00 PM</p>		1
SA	<p>1581388432_489__TESIS_ALDAZ_MAGALLANES_V19_FINAL.docx Document 1581388432_489__TESIS_ALDAZ_MAGALLANES_V19_FINAL.docx (D63730143)</p>		1
W	<p>URL: https://www.se.com/ww/en/product/140CRA93100/rio-drop-adaptor-module-modicon-quant ... Fetched: 3/17/2021 4:30:00 PM</p>		1
W	<p>URL: https://www.se.com/us/en/product/140CPU11303/concept-processor-80186-modicon-quant ... Fetched: 3/17/2021 4:30:00 PM</p>		1



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Actualización del sistema de control automático de la Central Hidroeléctrica Nayón de la Empresa Eléctrica Quito S.A**” fue realizado por el señor **Guato Núñez, Pablo Esteban** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de marzo de 2021

Firma:



.....
Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro, M.Sc.

C. C.: 1707721291



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Guato Núñez, Pablo Esteban**, con cédula de ciudadanía n° 1724978513, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Actualización del sistema de control automático de la Central Hidroeléctrica Nayón de la Empresa Eléctrica Quito S.A** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 17 de marzo de 2021

Firma

Guato Núñez, Pablo Esteban

C.C.: 1724978513



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Guato Núñez, Pablo Esteban**, con cédula de ciudadanía n° 1724978513, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Actualización del sistema de control automático de la Central Hidroeléctrica Nayón de la Empresa Eléctrica Quito S.A** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 17 de marzo de 2021

Firma

Guato Núñez, Pablo Esteban

C.C.: 1724978513

Dedicatoria

Muchas veces desolado y sin saber a dónde ir, tu voz me llama hacia ti y aunque mi mente está en otro mundo, entre el ruido de la calle y mis lágrimas encontré tu voz tan fuerte.. Y es que solo de ti Dios viene todo lo Bueno...

Dedico este trabajo a...

¡CONSUELO y PEDRO mis padres, a DENISSE y MATEO mis hermanos, a WILO y LUCKY... quienes con amor, enojo y paciencia me regalan tanto en mi vida, son lo mejor que tengo y siempre viviré y luchare por ustedes!

Un profesional no se debe a un título o a un cartón,

No se trata de si tienes carros., no se trata de si tienes casas, no se trata de tener los vicios y mujeres, no se trata de si eres jefe o subordinado, no se trata de tener dinero, no se trata de vivir solo metido en el trabajo y estudio, ni los grabados que mandes a bordar en tu ropa, ni a la ropa cara que usas.....

¡Sino, el éxito se debe a cuanta gente logras sacar una sonrisa y a que alguien lleva una vida mejor por mi causa! A cuantos gracias he recibido durante toda mi vida, a cuanto amor y solidaridad tengo para dar a las personas que amo...

Y es que la única manera de acabar con el dolor del ser humano es no nada más pensando en el dolor propio sino en el de los demás..

¡ No tener miedo a la vida, sino que la vida te tenga miedo a ti !

Agradecimiento

¿Todos los días uno se pregunta a que he venido a la vida?, cual es mi destino y aunque muchas veces uno se siente perdido siempre el aliento de mi MADRE Y HERMANOS me dan la virtud de seguir adelante.

Gracias Mamita por regalarme tanta fuerza cuando más la he necesitado, siempre serás el AMOR DE MI VIDA, PADRE donde sea que te encuentres GRACIAS! por demostrarme que luchando y trabajando puedo conseguir mis sueños, sé que no soy el mejor hijo, pero LES AMO y gracias por darme antes que lo económico, la fé en mí.

A mi hermana DENISSE por apoyarme en todo, siempre eres mi modelo a seguir, y siempre viviré agradecido por tener una mujer en mi vida tan fuerte como tú, a mi hermano MATEO lo único que puedo decirle es que todo se puede lograr si uno se lo plantea, SUEÑA Y SIEMPRE SE LIBRE EN TI Y EN DIOS.

A mi hermano Jose David, quizá no seas de sangre, pero eres mi apoyo cuando ya no me aguanto ni yo.

A la EEQ – Departamento de Mantenimiento de Centrales de Generación, a los Ingenieros Juan Pablo Idrobo – Mauro Sacancela – Andre Trujillo, que dios le pague por darme la oportunidad de ser un profesional y dar todo de mi para un proyecto tan lindo...

¡Al Ingeniero Ricardo Salcedo, antes que mi co-director, me ha sabido transmitir sus conocimientos y experiencias que jamás las olvidaré, gracias por tu paciencia y entrega!

A ti girasol....

Índice de contenidos

Urkund.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas	12
Índice de figuras	14
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I Introducción.....	21
Antecedentes	21
Planteamiento del problema.....	23
Justificación e importancia	26
Alcance del proyecto.....	27
Objetivos.....	28
Objetivo general.....	28
Objetivos específicos.....	28
Capítulo II Marco referencial.....	30
Centrales hidroeléctricas.....	30
Tanque de cabeza	31
Tuberías de presión.....	32

Chimeneas de equilibrio	32
Turbina	33
Subestación.....	34
Sistemas SCADA	35
Funciones principales	35
Niveles.....	36
Tendencias	36
Alarmas y fallas	37
Sistemas de comunicación.....	37
Clasificación de topologías de red	37
Arquitectura de comunicación.....	39
Redes industriales	39
Interconexión de redes	40
Capítulo III Descripción del sistema de control actual.....	41
Infraestructura actual de la Central Hidroeléctrica Nayón.....	41
Tanque de cabeza	41
Tuberías de acero de presión y excesos.....	43
Casa de máquinas.....	45
Subestación.....	54
Fases de generación	55
Descripción del sistema	56
Sistema de control generador 1 y 2	56
Sistema de control servicios generales.....	57
Capítulo IV Diseño del hardware	60
Requisitos del sistema de control.....	60
Selección del sistema de control.....	62

	10
Hardware de control y comunicación.....	67
Selección del controlador lógico programable.....	67
Selección del módulo de comunicación serial.....	69
Selección del módulo de comunicación Ethernet.....	71
Selección del módulo de comunicación DNP3.0.....	72
Arquitectura de control.....	74
Planos y diagramas de conexión.....	78
Requisitos de los planos eléctricos.....	78
Elaboración de planos eléctricos.....	78
Diseño del nuevo tablero de control.....	96
Requisitos del tablero de control.....	96
Elaboración de planos eléctricos.....	97
Capítulo V Desarrollo del software.....	108
Lógica de control.....	108
Requisitos de la nueva lógica de control.....	108
Elaboración de la nueva lógica de control.....	109
Interfaces HMI.....	127
Requisitos del diseño de interfaces.....	127
Elaboración de HMI's.....	129
Simulación.....	142
Simulación de la conexión del módulo BMXNOM0200.....	145
Simulación de la conexión del módulo BMENOC0301.....	152
Simulación de la lógica de control desarrollada.....	155
Capítulo VI.....	162
Pruebas y resultados.....	162
Pruebas.....	162

Resultados	165
Capítulo VII	167
Conclusiones y recomendaciones	167
Conclusiones	167
Recomendaciones	168
Referencias bibliográficas.....	170
Anexos	174

Índice de tablas

Tabla 1 Sistemas de control de la Central Hidroeléctrica Nayón.....	22
Tabla 2 Dispositivos discontinuados.....	25
Tabla 3 Niveles de Pantallas según la norma ANSI/ISA-101.01-2015	36
Tabla 4 Características técnicas de la compuerta de entrada a la tubería de presión....	42
Tabla 5 Características principales de las Tuberías de Presión y Excesos.....	44
Tabla 6 Datos técnicos de las turbinas Central Hidroeléctrica Nayón	47
Tabla 7 Datos Técnicos AVR Unitrol 1000-15.....	50
Tabla 8 Características Técnicas de los compresores normal y de reserva.....	51
Tabla 9 Datos técnicos del tanque de aceite de presión generadores 1 y 2	53
Tabla 10 Lista de equipos implementados en la central	61
Tabla 11 Características técnicas BMEP584040	67
Tabla 12 Características técnicas BMXCPS3522	68
Tabla 13 Características técnicas BMXNOM0200	70
Tabla 14 Características técnicas BMENOC0301	72
Tabla 15 Características técnicas BMXNOR0200H.....	73
Tabla 16 Dispositivos seleccionados en la nueva arquitectura de control.....	74
Tabla 17 Listado de planos realizados en Autocad Electrical 2020.....	79
Tabla 18 Distribución de módulos tablero de control generador 1	81
Tabla 19 Distribución de módulos Tablero RIO.	85
Tabla 20 Distribución de módulos de entrada tablero RIO.....	87
Tabla 21 Distribución de Módulos de salida tablero RIO	87
Tabla 22 Distribución de módulos tablero unidad común.....	90
Tabla 23 Distribución de módulos tablero de drenaje	95
Tabla 24 Condiciones previas a la activación de la fase de preparación	111

Tabla 25 Condiciones previas a la activación de la fase de válvula mariposa	113
Tabla 26 Condiciones previas a la activación de la fase de arranque	115
Tabla 27 Condiciones previas a la activación de la fase de excitación	117
Tabla 28 Condiciones previas a la activación de la fase de paralelo	119
Tabla 29 Condiciones previas a la activación de la fase de carga	121
Tabla 30 Causas para la activación del relé de bloqueo 86_1	123
Tabla 31 Causas para la activación del relé de bloqueo 86_2	124
Tabla 32 Causas para la activación del relé de bloqueo 86_3	125
Tabla 33 Listado de HMI's requeridas	127
Tabla 34 Jerarquización de HMI's	129
Tabla 35 Registros asignados por el AVR para su lectura o escritura	148
Tabla 36 Registros asignados por el GOV para su lectura o escritura	150

Índice de figuras

Figura 1 Windows server descontinuado	24
Figura 2 Concept software descontinuado.....	25
Figura 3 Módulos 140CRA93100 y 140CPU11303 descontinuados	26
Figura 4 Funcionamiento de centrales hidroeléctricas	30
Figura 5 Tanque de Cabeza Central Hidroeléctrica Nayón	31
Figura 6 Tuberías de presión de la Central Hidroeléctrica Nayón.....	32
Figura 7 Chimenea de Equilibrio Central Hidroeléctrica Nayón	33
Figura 8 Turbina de acción y reacción.....	34
Figura 9 Subestación Central Hidroeléctrica Nayón.....	34
Figura 10 Topologías de red.....	38
Figura 11 Diagrama de generación Central Hidroeléctrica Nayón	41
Figura 12 Tanque de cabeza Central Hidroeléctrica Nayón.....	42
Figura 13 Tuberías de presión Central Hidroeléctrica Nayón.....	43
Figura 14 Tubería de presión y válvula mariposa	44
Figura 15 Acceso a la casa de máquinas Central Hidroeléctrica Nayón	46
Figura 16 Rodete de la turbina Central Hidroeléctrica Nayón	47
Figura 17 Sala de control Central Hidroeléctrica Nayón	48
Figura 18 Sala de baterías y tablero del convertidor	49
Figura 19 Regulador Automático de Voltaje	50
Figura 20 Sala de compresores.....	51
Figura 21 Bodega de aceites Central Hidroeléctrica Nayón.....	52
Figura 22 Tableros GOV unidad 1 y 2.	52
Figura 23 Tanques pulmón 1 y 2	53
Figura 24 Sistema CO2 contra incendios Central Hidroeléctrica Nayón	54

Figura 25 Subestación Central Hidroeléctrica Nayón.....	55
Figura 26 Secuencia de generación Central Hidroeléctrica Nayón	55
Figura 27 Lazo de control de velocidad	57
Figura 28 Lazo de control de voltaje.....	57
Figura 29 Arquitectura de control existente	59
Figura 30 Comparación en tiempo de procesamiento de datos Quantum vs M580	64
Figura 31 Performance Quantum vs M580	65
Figura 32 Arquitectura autónoma	66
Figura 33 Arquitectura de Alta Disponibilidad	66
Figura 34 Módulo central de procesos BMEP584040	67
Figura 35 Módulo de alimentación BMXCPS3522	68
Figura 36 Bastidor de 12 slots BMEXBP1200.....	69
Figura 37 Módulo de comunicación serial BMXNOM0200	70
Figura 38 Módulo de comunicación serial BMENOC0301	71
Figura 39 Módulo de comunicación DNP3.0 BMXNOR0200H.....	73
Figura 40 Esquema gráfico de la nueva arquitectura de control	75
Figura 41 Nueva arquitectura de control detallada por nuevos dispositivos.....	76
Figura 42 Arquitectura de control antigua detallada por el equipamiento a cambiar	77
Figura 43 Diagrama layout tablero de control generador 1	80
Figura 44 Diagrama layout tablero regulador automático de voltaje	82
Figura 45 Diagrama layout tablero de entradas y salidas remotas RIO	83
Figura 46 Diagrama layout tablero regulador de velocidad.....	86
Figura 47 Diagrama layout tablero de distribución.....	88
Figura 48 Diagrama layout tablero de servicios generales.....	89
Figura 49 Diagrama layout tablero bombas de aceite.....	91
Figura 50 Diagrama layout tablero de engrase	92

Figura 51 Diagrama layout tablero de compresores	93
Figura 52 Diagrama layout tablero de drenaje	94
Figura 53 Elementos que conforman el Nuevo tablero de control M580	98
Figura 54 Listado de materiales del Nuevo tablero	99
Figura 55 Vista frontal lateral y de planta del nuevo tablero.....	100
Figura 56 Diagrama layout del nuevo tablero de control.....	101
Figura 57 Plano eléctrico alimentación principal	102
Figura 58 Plano eléctrico alimentación 125 VDC	103
Figura 59 Plano eléctrico alimentación 120 VAC	104
Figura 60 Distribución de módulos generador 1	105
Figura 61 Distribución de módulos generador	106
Figura 62 Distribución de módulos servicios generales	107
Figura 63 Grafcet de secuencia maestra	110
Figura 64 Diagrama FBD secuencia de preparación	112
Figura 65 Diagrama FBD secuencia válvula mariposa	114
Figura 66 Diagrama FBD secuencia de arranque.....	116
Figura 67 Diagrama FBD secuencia de excitación	118
Figura 68 Diagrama FBD secuencia paralelo	120
Figura 69 Diagrama FBD secuencia de carga	122
Figura 70 Diagrama FBD secuencia de disparos.....	126
Figura 71 Diagrama de un indicador analógico.....	130
Figura 72 Diagrama de un indicador en tendencia	131
Figura 73 HMI resumen general	133
Figura 74 HMI Control generador 1	134
Figura 75 HMI Arquitectura de control	135
Figura 76 HMI GOV.....	136

Figura 77 HMI HPU	137
Figura 78 HMI AVR	138
Figura 79 HMI Estados de secuencias	139
Figura 80 HMI Resumen de fallas y disparos	140
Figura 81 HMI Conjunto turbina - generador	141
Figura 82 HMI Traslase CH Nayón	142
Figura 83 Selección del CPU en Unity PRO XL.....	143
Figura 84 Configuración del bastidor	143
Figura 85 Configuración del bastidor RIO	144
Figura 86 Configuración final Unity PRO XL.....	144
Figura 87 Configuración del módulo de comunicación serial y AVR	145
Figura 88 Bloque de función Read Var	146
Figura 89 Bloque de función Write Var	147
Figura 90 Configuración de bloque read var para leer datos desde el avr	148
Figura 91 Simulación de la comunicación serial con el AVR.....	149
Figura 92 Configuración del módulo de comunicación serial y el GOV	149
Figura 93 Configuración de los bloques de lectura y escritura desde el GOV	152
Figura 94 Configuración del módulo Ethernet generador 1	153
Figura 95 Configuración del módulo Ethernet generador 2.....	154
Figura 96 Configuración de los canales Ethernet del generador 1 y 2	154
Figura 97 Programación en FBD de la comunicación ethernet.....	155
Figura 98 Simulación de la secuencia de preparación	156
Figura 99 Simulación de la secuencia válvula mariposa	157
Figura 100 Simulación de la secuencia de arranque	158
Figura 101 Simulación de la secuencia de excitación	159
Figura 102 Simulación de la secuencia paralelo	159

Figura 103 Simulación de la secuencia de carga.....	160
Figura 104 Simulación de activación parada eléctrica 86_1	161
Figura 105 Pantalla de resumen de secuencias, prueba de preparación.....	162
Figura 106 Pantalla de resumen de secuencias, prueba de arranque	163
Figura 107 Pantalla de resumen de fallas, prueba de disparo eléctrico	164
Figura 108 Resumen de fallas en CITECT SCADA	165

Resumen

La Empresa Eléctrica Quito en su Plan Anual de Mantenimiento de Centrales Hidroeléctricas ejecuta acciones orientadas a la actualización de las plantas de generación pertenecientes a la misma. Proporcionando mejoras en infraestructura, así como en los sistemas que hacen posible el control del proceso de generación hidroeléctrica. La Central Hidroeléctrica Nayón no ha pasado desapercibida en este proceso, así como su sistema de control que ha venido funcionando desde el año 2007, fecha en la cual se transformó la lógica cableada a controladores lógicos programables, que han cumplido a cabalidad su objetivo y aplicación; pero de igual manera han devengado su vida útil durante la marcha.

Este proyecto evidencia el diseño de la nueva arquitectura de control basada en la selección de los nuevos dispositivos a ser implementados en un futuro, así como la programación de cada secuencia de generación: parada, válvula mariposa, arranque, excitación, paralelo y carga; que hacen posible el trabajo conjunto de los generadores, además del diseño del nuevo tablero en cual estarán distribuidos. Adicionalmente se han elaborado interfaces humano – máquina, bajo un diseño estandarizado, adaptadas a los requerimientos solicitados por la Empresa Eléctrica Quito, Finalmente se elaboraron los planos eléctricos de diferentes tableros de control que en su momento no mantenían una concordancia entre el esquema eléctrico y la instrumentación del campo.

- Palabras Clave:
- **ACTUALIZACIÓN**
- **SECUENCIAS DE GENERACIÓN**
- **CENTRAL NAYÓN**

Abstract

The Quito Electric Company in its Annual Maintenance Plan for Hydroelectric Plants executes actions aimed at updating the generation plants belonging to it. Providing improvements in infrastructure, as well as in the systems that make it possible to control the hydroelectric generation process. The Nayón Hydroelectric Power Plant has not gone unnoticed in this process, as well as its control system that has been operating since 2007, when the logic wired to programmable logic controllers was transformed, which have fully met their objective and application; but in the same way they have accrued their useful life during the march.

This project shows the design of the new control architecture based on the selection of new devices to be implemented in the future, as well as the programming of each generation sequence: stop, butterfly valve, start, excitation, parallel and load; that make possible the joint work of the generators, in addition to the design of the new board in which they will be distributed. Additionally, human-machine interfaces have been developed, under a standardized design, adapted to the requirements requested by the Quito Electric Company. Finally, the electrical plans of different control panels were prepared that at the time did not maintain a concordance between the electrical scheme and the field instrumentation.

- Keywords:

- **ACTUALIZATION**
- **GENERATION SECUENCES**
- **CENTRAL NAYÓN**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

La Central Hidroeléctrica Nayón se encuentra ubicada en la parroquia de Nayón al noroeste de Quito, su construcción comenzó en el año 1972 por la empresa Japonesa Mitsubishi Electric y culminó en 1974, fecha desde la cual ha venido funcionando.

El sistema de captación de agua de la Central Hidroeléctrica Nayón, está conformado por dos partes: la primera consiste en una adquisición directa de las aguas turbinadas provenientes de la Central Hidroeléctrica Cumbayá y la segunda está constituida por un trasvase, formado por el Río Machángara y dos canales de conducción que transportan el agua hacia el tanque de cabeza de la Central Nayón. La planta está compuesta por 2 turbinas verticales tipo Francis, que en adición generan 30 MW. No obstante, cada unidad síncrona es de 15 MW y un voltaje de generación de 6.9 KV, el mismo que es elevado mediante dos transformadores a 46 KV, a fin de evacuar la energía hacia el Sistema Eléctrico Quito.

En el año 2007 se llevó a cabo la automatización de la Central Hidroeléctrica Nayón, con el fin de cambiar la lógica de control electromecánico por otra basada en controladores lógicos programables. Así pues, se implementó el control e instrumentación necesaria para conocer el valor de variables físicas, que intervienen en todas las secuencias de arranque y parada de las unidades de generación y son visibles en el Sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos (SCADA).

Se hace necesario resaltar en la Tabla 1, los sistemas y sus funciones que en conjunto mantienen a la planta en funcionamiento normal:

Tabla 1*Sistemas de control de la Central Hidroeléctrica Nayón*

Sistema	Funciones
Control de Unidad 1 y 2	<p>Paro de la máquina, apertura de las válvulas bypass y de entrada.</p> <p>Arranque y control de las máquinas.</p> <p>Monitoreo y control del regulador automático de velocidad (GOV)</p> <p>Excitación y control del regulador automático de voltaje (AVR)</p> <p>Entrada en paralelo, control del sincronizador y cierre del interruptor 52.</p> <p>Monitoreo de las alarmas.</p> <p>Monitoreo de protecciones eléctricas y mecánicas.</p> <p>Control del HPU, y de las bombas de aceite.</p> <p>Monitoreo de variables como: vibraciones, temperaturas, presiones, niveles, caudales del proceso.</p>
Control de servicios auxiliares	<p>Monitoreo y control de los servicios de estación.</p> <p>Monitoreo y control de la línea de transmisión al Quinche y a Cumbayá.</p> <p>Monitoreo y control del sistema de aire y compresores.</p> <p>Direcciona los comandos de sincronización para cada generador.</p>
Sistema de Drenaje	<p>Monitoreo y control de las bombas de drenaje.</p> <p>Monitoreo del nivel del tanque de drenaje.</p>

Sistema	Funciones
Sistema de Refrigeración	<p>Monitoreo y control de las válvulas motorizadas 88MV1 y 88MV2.</p> <p>Monitoreo y control de los filtros 88S1T y 88ST2</p> <p>Monitoreo y control de las válvulas motorizadas de distribución.</p> <p>Monitoreo y control de las válvulas PENSTOCK</p> <p>Monitoreo del nivel de agua del tanque de refrigeración.</p>
Tanque de Cabeza	<p>Monitoreo y control de las válvulas de las compuertas.</p> <p>Monitoreo del nivel del tanque de cabeza.</p>
Trasvase	<p>Monitoreo de nivel cámara 1.</p> <p>Monitoreo de nivel cámara 2.</p> <p>Monitoreo de nivel Cumbayá.</p> <p>Monitoreo y control de compuertas des-arenadoras.</p> <p>Monitoreo y control de compuerta del túnel</p>

Nota. Tomado de *Guía de operación de la interface hombre máquina para la Central Hidroeléctrica "Nayón"*, (Empresa Eléctrica Quito, 2007).

Planteamiento del problema

Durante la automatización del año 2007 en la central hidroeléctrica Nayón, se instaló un Sistema de Supervisión Control y Adquisición de Datos (SCADA) que ha cumplido su vigencia tecnológica, con un historiador de muy poco espacio de almacenamiento, una interfaz gráfica que no considera las normas actuales y un indebido anexo de ciertas variables en las HMI's, generado una señalización incorrecta.

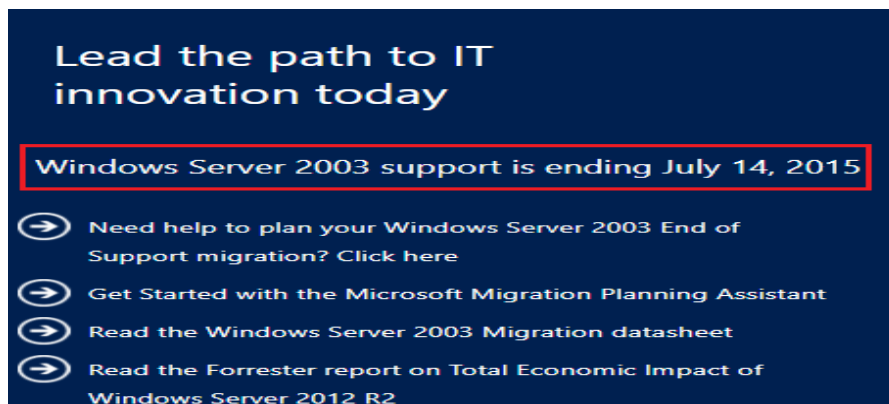
El motivo por el cual se ha generado este problema es el fin de la vigencia tecnológica en hardware y software tales como:

- Sistema operativo de los servidores del sistema SCADA.
- Aplicativo SCADA.
- Software y hardware de controladores lógicos programables.
- Hardware de los servidores del sistema SCADA existente.

En la Figura 1 se muestra una captura de pantalla en la que el fabricante notifica la finalización del soporte técnico del sistema operativo instalado en la Central Hidroeléctrica Nayón, por ende, ya no se cuenta con la actualización de seguridad periódica, lo cual implica una infraestructura desprotegida y una necesidad de migración urgente.

Figura 1

Windows server descontinuado



Nota. Tomado de *Windows Server*, (Microsoft, 2015).

Tal como indica la Tabla 2, los módulos de comunicación y CPU's de los controladores están descontinuados, es decir, el proveedor ha finalizado la producción tanto para su programación en software, como para el soporte de los mismos; hecho que se fundamenta en las Figuras 2 y 3 tomadas directamente de la página oficial del proveedor (Schneider Electric, 2019).

Tabla 2*Dispositivos descontinuados*

Tablero	Dispositivo descontinuado
Generador 1	140 CPU 113 03
Generador 2	140 CPU 113 03
Generador 2	140 NOE 711 00
Generador 2	140 NOE 711 00
Servicios generales	140 CRA 931 00

Nota. En la tabla se dan a conocer los dispositivos que han cumplido su vida útil, por ende su descontinuación y necesidad de actualización.

Figura 2*Concept software descontinuado*

Concept Software

IEC Programming Software for Quantum and Momentum

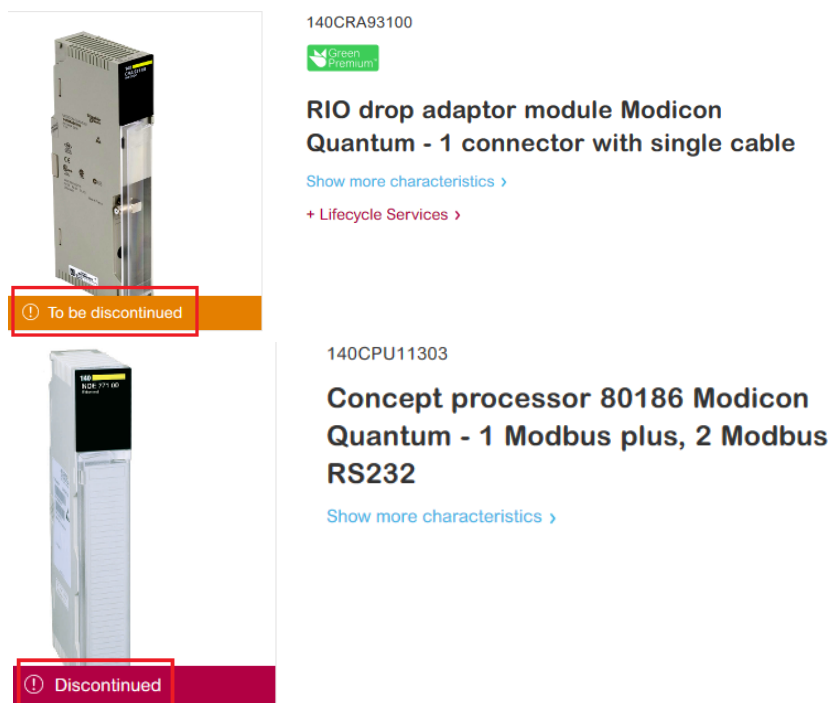
END-OF-SALE NOTICE

Programming software for Quantum, Momentum, and Atrium

Nota. Tomado de *Concept Software end of sale* (Schneider Electric, 2015).

Figura 3

Módulos 140CRA93100 y 140CPU11303 descontinuados



Nota. Tomado de: *Rio drop and concept processor end of sale*, (Schneider Electric, 2015).

Justificación e importancia

El Plan Estratégico EEQ 2014 – 2023 y el Plan de Mantenimiento Anual de Centrales Hidroeléctricas 2021 de la Empresa Eléctrica Quito, tienen como objetivo incrementar la eficiencia operacional de sus instalaciones a cargo.

Al observar el estado del sistema de control actual, los equipos instalados tienen 13 años trabajando las 24 horas del día, los 365 días del año, por ende el retorno de la inversión ya se ha devengado y la vida útil de los mismos están próximos a su fin. Es decir, la vigencia tecnológica de los dispositivos que conforman el sistema de control de la central Nayón está siendo afectada por el tiempo de trabajo proporcionado, causando lentitudes de software y desgastes en componentes.

En virtud de lo expuesto previamente, si no se cuenta con un plan de modernización, los presupuestos (OPEX) para repuestos, reparaciones, soporte técnico, horas extras, costos operativos, indisponibilidad de las unidades y multas de organismos de control podrían incrementar con el paso del tiempo. No obstante, cuando esto ocurre la prioridad máxima es buscar soluciones inmediatas, pero con costos de inversión (CAPEX) elevados.

Con una adecuada planificación que considere la vigencia tecnológica se podrá evitar daños mayores, daños al personal de operación, paradas de producción intempestivas, mediante la actualización del sistema de control, procedimiento conocido como modernización parcial o migración.

Finalmente, es importante señalar los beneficios generados por una migración planificada como son: disponibilidad, robustez, ciberseguridad, prestaciones, mantenibilidad y escalabilidad.

Alcance del proyecto

La actualización del sistema de control automático de la Central Hidroeléctrica Nayón de la Empresa Eléctrica Quito comprende:

- Se analizarán las condiciones actuales de operación de la Central Hidroeléctrica Nayón, por medio de la revisión, lectura de planos eléctricos, y la visita presencial a la Central, es decir, la observación detallada de conexiones en tableros existentes en la planta y su funcionamiento, cuidando las recomendaciones del COE cantonal respecto de la pandemia actual.
- Se elaborarán planos eléctricos mediante un software CAD, en base a la norma IEC 60617 – símbolos normalizados para esquemas eléctricos y el cumplimiento de la normativa IEEE 1010:2006 - IEEE guide for control of hydro electric power plants.

- Diseño de la nueva lógica de control bajo el lenguaje de programación FBD (Bloque Funcional) y diagramas funcionales (Grafcet) para el proceso de generación de energía hidroeléctrica de la Central Nayón, teniendo en cuenta las acciones a realizar y los procesos intermedios que provocan estas acciones; bajo la norma NFC-03-190.
- Se diseñará HMI's en base a la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y a la filosofía de referencia (Bill R. Hollifield, 2008), estructurada en un organigrama de pantallas por niveles.
- Simulación a realizarse en software adecuado, tanto para el sistema de control como para el SCADA de la central bajo la nueva arquitectura de control y el uso de librerías necesarias para el correcto funcionamiento de la misma. Cabe recalcar el hecho de que este proyecto esta direccionado al diseño más no a la implementación como tal. Sin embargo, una vez realizada la misma se deberá verificar la simulación con los resultados de la puesta en Marcha del sistema.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y simular la actualización del sistema de control automático de la central hidroeléctrica Nayón perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito S.A.

Objetivos específicos

- Levantar información sobre el funcionamiento y etapas del proceso de generación de energía eléctrica de la central Hidroeléctrica Nayón, en base a la recopilación de información, lectura de planos y verificación en campo del proceso.
- Verificar las conexiones en planos eléctricos y en campo, con el fin de evidenciar equipos que durante este tiempo han sido desconectados debido a diferentes causas.

- Modernizar el sistema de control de la central hidroeléctrica Nayón.
- Desarrollar una interfaz HMI interactiva y que permita a los operadores entender los modos de funcionamiento, disparos, alarmas y tendencias de cada sistema y subsistema de la planta, en base a la norma ANSI/ISA-101.01-2015.
- Documentar adecuadamente el proyecto.

Capítulo II

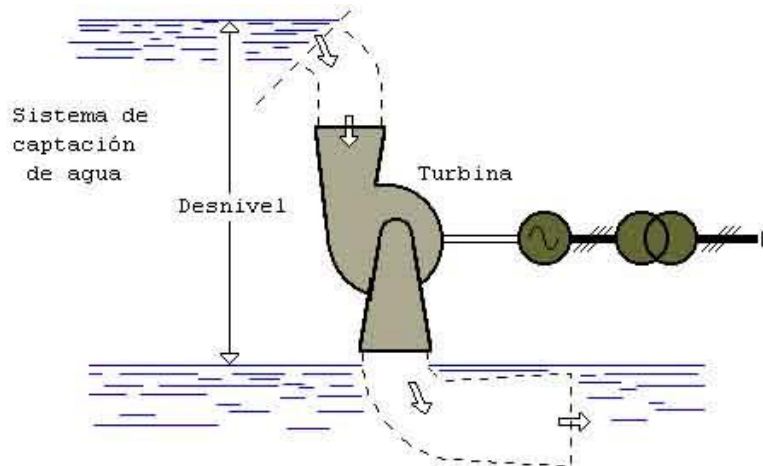
Marco referencial

Centrales hidroeléctricas

La interacción electromagnética entre el rotor y estator hacen posible la generación de electricidad en centrales hidroeléctricas. Evidentemente tal como se observa en la Figura 4, el proceso de transformación de energía mecánica a eléctrica proviene del movimiento de la turbina, accionada por álabes que regulan el ingreso del agua hacia el rodete (García-Mauricio, 2014).

Figura 4

Funcionamiento de centrales hidroeléctricas



Nota. Tomado de: *Centrales Hidroeléctricas* (García-Mauricio, 2014).

Los componentes principales que comprenden una central hidroeléctrica son:

- Tanque de cabeza
- Tuberías de presión
- Chimeneas de equilibrio

- Canal de desagüe
- Subestación o patio de elevación
- Turbina

Tanque de cabeza

Es el lugar en el cual se almacena el agua que mueve a las turbinas, generalmente su construcción se establece en lugares elevados a fin de aprovechar la gravedad. No obstante, depende en gran medida de la climatización y la orografía, sobre la cual se implementa el aprovechamiento. En particular, la instrumentación implementada monitoriza el nivel de agua existente, y da a conocer a la casa de máquinas su aumento o también denominada “creciente”. En la Figura 5 se presenta el tanque de cabeza de la Central Hidroeléctrica Nayón.

Figura 5

Tanque de Cabeza Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Tuberías de presión

Son el medio de conducción de agua entre el tanque de cabeza y las turbinas. Desde una perspectiva más general, se ayudan de la gravedad para completar su objetivo, transformando la energía potencial de posición, en energía potencial de presión. Cabe considerar, por otra parte que manejan un gran caudal de agua por ello, son realizadas con materiales como el acero inoxidable. En la Figura 6 se presentan las tuberías de presión de la Central Hidroeléctrica Nayón.

Figura 6

Tuberías de presión de la Central Hidroeléctrica Nayón.



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Chimeneas de equilibrio

Las chimeneas de equilibrio evitan las presiones elevadas, producidas debido a variaciones de carga en el generador, generalmente están instaladas en la tubería de excesos y su funcionalidad es vital cuando se requiere la evacuación de agua para

mantenimientos en las tuberías de presión. En la Figura 7 se aprecia las chimeneas de equilibrio existentes en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Figura 7

Chimenea de Equilibrio Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Turbina

Las turbinas cuentan con una estructura variada dependiendo de características como la altura y el caudal que se han de aprovechar, de esta manera se tienen:

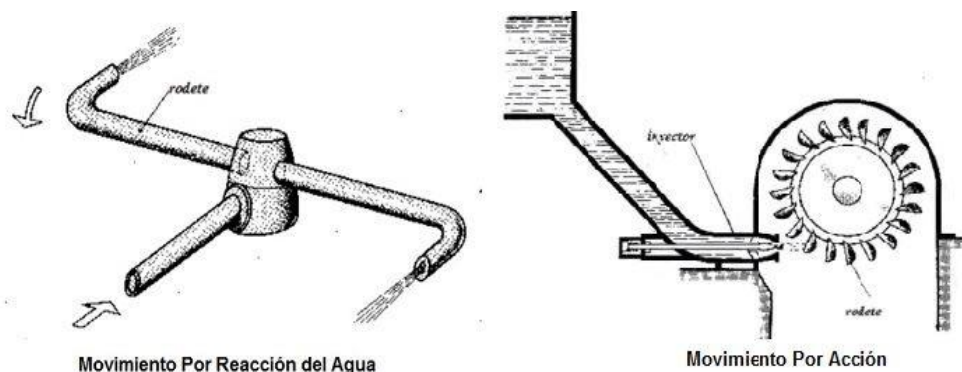
Turbinas de reacción: se accionan a través del caudal que el líquido ejerce sobre los álabes. Esto hace que el agua, al salir del rotor, tenga una presión por debajo de la atmosférica. Las turbinas más comunes que se suelen instalar en centrales hidroeléctricas son las Francis y las Kaplan (Blanco, 2014).

Turbinas de acción: diseñadas de tal manera que el chorro de agua impulsa las paletas o álabes y por tanto no existe una desviación líquida como tal (Blanco, 2014).

En la Figura 8 se puede apreciar la diferencia entre una turbina de acción y reacción.

Figura 8

Turbina de acción y reacción



Nota. Tomado de: *Turbinas Hidráulicas* (Areatecnología, 2008).

Subestación

Se trata del lugar en el cual los transformadores elevan el voltaje dotado por los generadores a niveles adecuados para su debido transporte y distribución a los destinos planificados (Trujillo, 2015). Generalmente, estos transformadores cuentan con sistema de refrigeración, protección y lubricación, debido a la gran cantidad de energía manejada. En la Figura 9 se puede apreciar la subestación existente en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Figura 9

Subestación Central Hidroeléctrica Nayón.



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Sistemas SCADA

El Sistema de Supervisión Adquisición y Control de Datos permite el acceso a información de un proceso mediante herramientas de comunicación necesarias, con el fin de recolectar y enviar instrucciones de control limitadas a las instalaciones de la planta. En este sentido, promueve la interacción constante entre los operadores y los sistemas automáticos mediante interfaces Humano – Máquina (HMI), fáciles de entender con opciones claras y respuestas inmediatas ante eventos críticos.

En consecuencia una HMI, es la colección de hardware y software que se emplea para monitorear e interactuar con el sistema de control y en última instancia con el proceso (Ayala & Hurtado, 2018).

Funciones principales

El Sistema de Supervisión Adquisición y Control de Datos tiene la capacidad de:

- Captar la información del proceso con el fin de generar un estudio estadístico que conlleve a conclusiones claras.
- Crear paneles de alarmas que anuncien el inicio de fallas, en respuesta a eventos críticos.
- Presentar gráficas de tendencias en tiempo real que infieren en el comportamiento de variables y situaciones.
- Controlar eventos de manera remota en otras palabras, gracias a las herramientas en software como son las interfaces HMI se puede activar o desactivar equipos sin estar de manera presencial en el evento necesario (Pérez, 2015).

Niveles

Entre las características más importantes establecidas en la filosofía y guía de diseño de la normativa ANSI/ISA-101.01-2015, se establece el uso de niveles o jerarquías de pantallas, tal como se aprecia en la Tabla 3; a fin de tener una organización más definida del proceso a automatizar. A continuación se describe cada nivel:

Tabla 3

Niveles de Pantallas según la norma ANSI/ISA-101.01-2015

Nivel	Descripción
1	Visión global del proceso del se es responsable.
2	Controladores, valores, tendencias, alarmas. Pantallas de monitoreo y control.
3	Grupos de equipos más pequeños. Detalles específicos acerca de partes del proceso, sistemas, subsistemas o equipos. Representación pictórica del proceso.
4	Diagnóstico, detalles, documentación, ayuda. Pantallas de información y soporte.

Nota. Tomado de: *Desarrollo de una interfaz humano máquina de alto desempeño* (Rivera, 2018).

Tendencias

Este recurso da a conocer las curvas y valores de tendencia en tiempo real los datos que están siendo procesados. No obstante, su interpretación gráfica es de vital importancia, ya que su lectura tiene consecuencias en la toma de decisiones, fallas y

mantenimientos en el proceso. Muchas veces esta característica maneja capacidades asociadas a histogramas y gráficos de información de estado, en otras palabras cálculos estadísticos (Siemens, S.A, 2017).

Alarmas y fallas

Se trata de los indicadores visuales y sonoros clave cuando el proceso normal de la planta sufre alguna adversidad durante su funcionamiento. Las alarmas se clasifican normalmente en varios niveles de prioridad siendo a menudo la prioridad más alta la reservada para una mayor seguridad. Evidentemente siempre existen causas de una falla o alarma por ende es común explicar en el interfaz humano - máquina la razón de la misma. No obstante, uno de los problemas que más afecta al SCADA es la inundación de alarmas que puede concluir en abrumar al personal de operaciones y ocultar la causa inicial del problema (Pérez, 2015).

Sistemas de comunicación

Los sistemas de comunicación brindan los medios para que la información, codificada en forma de señal, se transmita o intercambie. Un sistema de comunicación consta de tres componentes esenciales: transmisor, canal de transmisión y el receptor. El mensaje original producido por la fuente no es eléctrico, por ende su conversión a través de un transductor de entrada. En el destino, otro transductor de salida cumple la función de transformar nuevamente la señal para que llegue al receptor del modo en el que fue emitido el mensaje (Bosh, 2002).

Clasificación de topologías de red

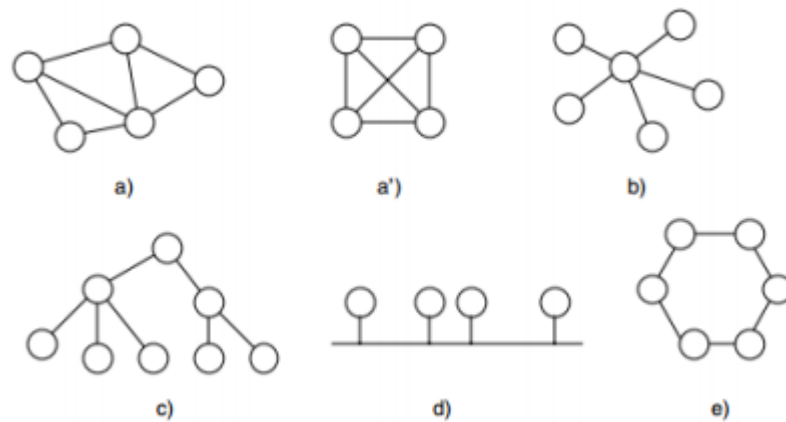
La topología de red depende de la disposición lógica de los enlaces, elementos y nodos de una red como tal. Es de esta manera que se pueden clasificar los modelos de

topologías básicas, en la Figura 10, se presenta gráficamente cada uno de los siguientes tipos de topologías de red:

- Malla: Cuando cualquier nodo está unido directamente a todos los demás mediante un enlace directo.
- Estrella: Los distintos nodos están unidos a un único nodo central.
- Árbol: Los distintos nodos están distribuidos en forma de ramificaciones sucesivas a partir de una única raíz.
- Bus: Todos los nodos unidos por un enlace común.
- Anillo: Los nodos están unidos en cadena, uno tras otro (Bosh, 2002).

Figura 10

Topologías de red



Nota. Tomado de *Análisis de redes y sistemas de comunicaciones* (Bosh, 2002)

Arquitectura de comunicación

Ordenan la estructura necesaria para la transmisión y recepción de información entre dispositivos mediante una red, de tal manera que son capaces de añadir servicios simples de transporte de información. Toda arquitectura de comunicación conlleva algunos aspectos esenciales (Bosh, 2002):

- Proceso de aplicación: cualquier proceso en un sistema informático que ofrezca alguna utilidad al usuario.
- Sistema final: sistema informático donde residen procesos de aplicación; en ciertos contextos se le llama acertadamente host (anfitrión).
- Sistema intermedio: son los repetidores, puentes (bridges) y routers, gateways, cada uno de ellos con funcionalidades específicas.
- Protocolo de comunicación: Conjunto de reglas para el intercambio de información y de definiciones de los formatos de los mensajes para la interacción fructífera entre dos o más entidades. Por ejemplo, el popular protocolo IP, base de Internet (Bosh, 2002).

Redes industriales

Son un medio para lograr que todo lo involucrado en un proceso industrial pueda comunicarse dentro de una misma plataforma. Los beneficios para la industria automatizada son grandes, y significan una inversión inteligente para los ambientes de producción. Las redes industriales representan por tanto, la reducción y simplificación de cableado, así como la optimización para procesos y flexibilidad (Rodríguez, 2010).

Tipos de redes industriales: A través del desarrollo de la industria, la demanda por mejores redes de comunicaciones industriales aumentó. Como por ejemplo:

- Profinet: Se trata de un estándar tipo ethernet para automatización que se enfoca en la integración de procesos e interfaces para establecer networking en todas las áreas de un proceso. Profinet destaca por su flexibilidad y la capacidad de personalizar máquinas y procesos en el sitio de producción (Ayllon, 2020).

- Modbus: Protocolo creado por Shcneider Electric, con el fin de comunicar los equipos Modicon. En Modbus existen dos tipos de perfiles que pueden tomar los equipos dependiendo la variación del protocolo: maestro o esclavo; cliente o servidor. Modbus tiene distintas variaciones tales como: Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus Plus, Modbus TCP. Siendo este último el más utilizado en la industria (Hurtado, 2020).

Interconexión de redes

La interconexión de redes establece cuales son los elementos que conforman una red. Existen una serie de equipos auxiliares para que la red pueda alcanzar esos objetivos de conexión, elementos como:

- Repetidor: El objetivo de este equipo es la regeneración de las señales eléctricas y garantizar las conexiones entre los elementos de una red.

- Puente: Es una máquina de red que posee alguna inteligencia, y realiza una serie de operaciones básicas en la red. Son capaces de almacenar y reenviar las tramas recibidas en función del contenido de las mismas (Yassine, 2019).

- Router: Son dispositivos software o hardware que se pueden configurar para encaminar o convertir paquetes entre sus distintos puertos utilizando la dirección lógica correspondiente.

- Gateway: Es una puerta de enlace con una red. Lo que hace es unir dos redes que puedan tener diferentes topologías (Camino, 2015).

Capítulo III

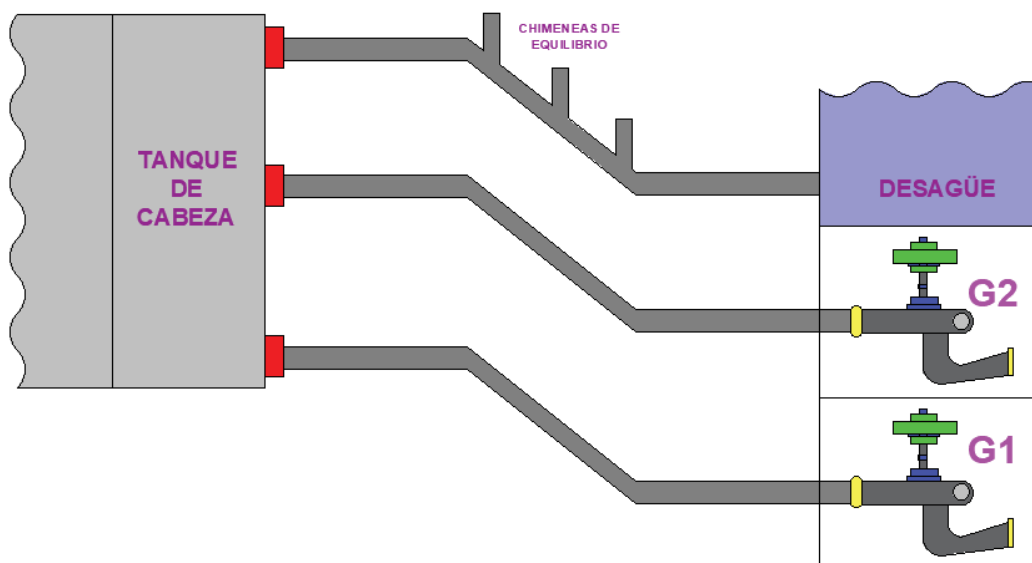
Descripción del sistema de control actual

Infraestructura actual de la Central Hidroeléctrica Nayón

Actualmente la Central Hidroeléctrica Nayón cuenta con dos unidades de generación (G1 y G2 en la Figura 11) que en adición, proporcionan una capacidad instalada de 30 MW. A continuación, se describe de una manera breve las principales partes que conforman la Central Hidroeléctrica Nayón:

Figura 11

Diagrama de generación Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. En esta figura se da a conocer la presencia de las tuberías de presión y excesos así como los generadores 1 y 2 de la Central Hidroeléctrica Nayón.

Tanque de cabeza

Lugar en el cual se almacena el agua proveniente del trasvase Cumbayá, cuenta con dos compuertas accionadas mediante válvulas motorizadas. En la Figura 12 se puede apreciar de una mejor manera el tanque de cabeza de la Central Hidroeléctrica Nayón y sus características técnicas se dan a conocer en la Tabla 4:

Tabla 4

Características técnicas de la compuerta de entrada a la tubería de presión

Variable	Valor
Dimensiones	2.80x3.42 m
Altura de diseño	12.25 m
Levantamiento	4.00 m
Velocidad	0.30 m/min
Peso de Compuerta	3.63 Ton

Nota. Tomado de Placa de datos técnicos, Mitshubishi Shoji Kaisha, LTD, 1972.

Figura 12

Tanque de cabeza Central Hidroeléctrica Nayón.



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Tuberías de acero de presión y excesos

Son el medio de conducción de agua entre el tanque de cabeza y la turbina. Como se puede apreciar en la Figura 13 la Central Hidroeléctrica Nayón cuenta con dos tuberías de presión y una de excesos, esta última con tres chimeneas de equilibrio con el fin de evitar elevadas presiones, existentes debido a la variación de cargas en el generador o por paradas no deseadas.

Figura 13

Tuberías de presión Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Las tres tuberías nombradas previamente son de acero inoxidable, cada una con distintas características técnicas que se describen en la Tabla 5.

Tabla 5

Características principales de las Tuberías de Presión y Excesos

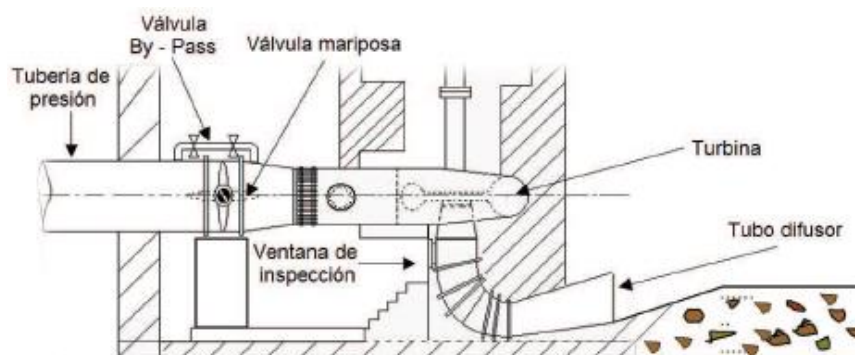
Variable	Tuberías de Presión		Excesos
	N°1	N°2	
Presión Máxima de Diseño	135 kg/cm ²	135 kg/cm ²	---
Caída Efectiva	102 m	102 m	---
Longitud	164,410 m	155,294 m	162,518 m
Diámetro Interior	2800-1900 mm	2800-1900 mm	2800 mm
Espesor	10-17 mm	10-17 mm	10.12 mm
Peso	147.507 kg	141.520 kg	139.030 kg

Nota. Tomado de Placa de datos técnicos, Toa Steel Structures CO, Ltd. Japon, 1972.

Una vez el agua es conducida por estos conductos, llega a la sala de válvulas en donde se limita la admisión de agua con la denominada válvula mariposa. En la Figura 14 se puede apreciar la conexión entre la tubería de presión y la sala de válvulas

Figura 14

Tubería de presión y válvula mariposa



Nota. Tomado de: Empresa Eléctrica Quito Central Hidroeléctrica Nayón – Datos Técnicos. (Empresa Eléctrica Quito, 2007).

Casa de máquinas

La casa de máquinas evidenciada en la Figura 15, es el lugar donde se almacenan los equipos eléctricos, electrónicos, hidráulicos y mecánicos para la debida generación de electricidad. Consta de cinco pisos, cada uno con distintos cuartos que se detallan a continuación:

- Piso 1: comprende la oficina del jefe de la central, un comedor para la alimentación del operador, ayudante de operador y personal de mantenimiento, cuarto de control donde se encuentran los servidores e interfaces humano – máquina (HMI), sala de PLC's y finalmente el cuarto de operadores.
- Piso 2: lugar en el que se encuentra la sala de baterías, de ventiladores y dispersión de cables.
- Piso 3: consta de la sala de cubículos (regulador de voltaje unidad 1 y 2), sala de maniobras, taller y los sincronizadores de los generadores 1 y 2.
- Piso 4: conformado por los tanques de presión de aceite, regulador de velocidad unidad 1 y 2, tableros RIO 1 y 2, sala de compresores, bodega de aceites, sistema de CO2.
- Piso 5: agrupa la sala de válvulas, tablero del sistema de refrigeración, tablero del sistema de drenaje, turbina 1 y 2, sala de bombas y trincheras para el ingreso a turbinas.

Figura 15

Acceso a la casa de máquinas Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón

A continuación, se describe e ilustra cada uno de los lugares nombrados previamente:

- **Turbinas:** Las turbinas de la Central Hidroeléctrica Nayón son los elementos que aprovechan la energía cinética y la transforman en movimiento, que a su vez es transmitido al rotor mediante un eje, dando lugar al conjunto turbina – generador, comprendido por tres estatores trifásicos (A, B, C) y cuatro cojinetes para el deslizamiento del eje principal, estos son: superior, de empuje, inferior y guía. El ingreso de agua a las turbinas se ejecuta mediante la activación de álabes hidráulicos en un porcentaje adecuado, con el objetivo de mover el rodete evidenciado en la Figura 16.

Figura 16*Rodete de la turbina Central Hidroeléctrica Nayón**Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón*

Las características técnicas de cada una de las turbinas se dan a conocer en la Tabla 6:

Tabla 6*Datos técnicos de las turbinas Central Hidroeléctrica Nayón*

Variable	Valor
Potencia	21300 Hp
Velocidad	400 rpm
Tiempo de cierre	3.2 seg
Efecto Volante requerido por la turbina	170 Ton-m ²
Longitud Penstock	722 m
Descarga	17.9 m ³ /seg
Velocidad de Embalamiento	730 rpm

Nota. Tomado de Placa de datos técnicos, Mitsubishi Heavy Industries, LTD, 1972.

- Sala de control: lugar en el cual se encuentran los elementos de control e información vitales para trabajar en unas condiciones óptimas, que son gestionados por lo operarios de la planta con el objetivo de comprobar el estado de los equipos más importantes. En la Figura 17 se puede apreciar la sala de control de la central.

Figura 17

Sala de control Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón

- Sala de baterías: cómo se puede apreciar en la Figura 18 es el lugar en el cual se almacenan las baterías utilizadas cuando existe una desconexión de la alimentación de la central, ya que además de producir energía eléctrica para el Aeropuerto Mariscal Sucre y Cumbayá, también se adquiere potencia de uso propio. Sin embargo, las baterías deben mantenerse cargadas para cualquier imprevisto, por tal razón existe un tablero conformado por el cargador de las mismas.

Figura 18

Sala de baterías y tablero del convertidor



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

- AVR: El regulador automático de voltaje (AVR) controla el voltaje y la potencia reactiva dependiendo de la secuencia de generación. Es decir, se trata de un regulador compacto de tensión para máquinas sincrónicas con corrientes de excitación elevadas cercanas a los 15 A (ABB, 2004).

Específicamente en el central se cuenta con un AVR de marca ABB UNITROL 1000-15, como se puede apreciar en la Figura 19. Las características principales del equipo se dan a conocer en la Tabla 7:

Figura 19

Regulador Automático de Voltaje



Nota. Tomado de Manual de Servicio UNITROL 1000 – 15, (ABB, 2004).

Tabla 7

Datos Técnicos AVR Unitrol 1000-15

Parámetro	Valor
Tensión de entrada (CA Trifásica)	250 Vca
Tensión de entrada (CC)	300 Vcc
Consumo máximo	25 W
Salida de Excitación	15 Acc
Exactitud	Regulación de tensión <0,1%
Protección	IP20

Nota. Tomado de Manual de Servicio UNITROL 1000 – 15, (ABB, 2004).

- Sala de compresores: tal como se aprecia en la Figura 20 se trata del lugar donde se encuentran los dos compresores de la central (normal y reserva) encargados de proporcionar el suministro de aire al tanque de aceite de presión (HPU unidad 1 y 2)

y a los frenos de cada generador. Funcionan de manera alternada en un intervalo de 4 horas. En la Tabla 8 se pueden apreciar las características técnicas de los mismos.

Tabla 8

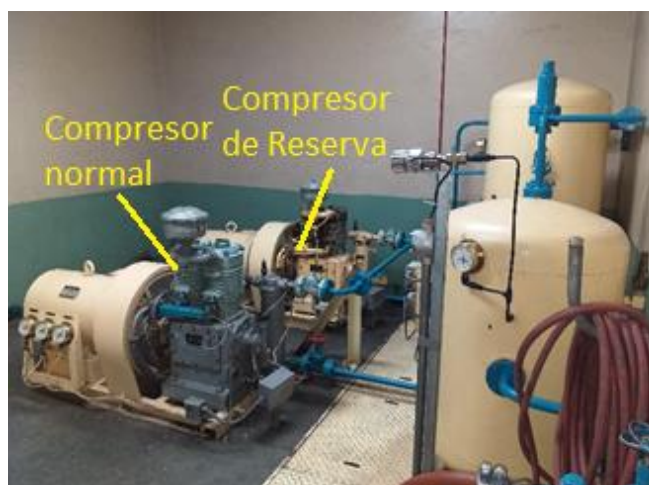
Características Técnicas de los compresores normal y de reserva.

Variable	Valor
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	440 v
Amperaje	42 A
Rpm	585

Nota. Tomado de *Placa de datos técnicos, WEG, 2007.*

Figura 20

Sala de compresores



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

- Bodega de aceites: El aceite es una de las principales fuentes de alimentación, puesto que la Central Nayón emplea mayormente energía hidráulica como por ejemplo las bombas del sistema de drenaje, sistema de refrigeración, frenos de la turbina 1 y 2, válvulas mariposa, by-pass, de suministro aceite y arranque y parada de turbina. En la Figura 21 se puede apreciar la bodega de aceites de la planta:

Figura 21

Bodega de aceites Central Hidroeléctrica Nayón.



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

- GOV: El regulador automático de velocidad cumple la función de igualar la velocidad que tiene el generador estando en reposo, a su valor nominal (400 rpm). Y a su vez a la consigna que fuese necesaria ya sea que se esté trabajando con el nivel establecido en el tanque de cabeza o por la potencia emitida desde despacho. En la Figura 22 se dan a conocer los tableros de regulador de velocidad de los generadores 1 y 2 de la Central Hidroeléctrica Nayón:

Figura 22

Tableros GOV unidad 1 y 2.



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

- HPU: La unidad de potencia hidráulica (HPU) tiene como función abastecer de aceite al tanque sumidero, tanque de aceite de fugas, válvulas by-pass, mariposa, frenos, suministros y distintos dispositivos, con una presión de aire y caudal adecuados. Las características técnicas del tanque pulmón y sus respectivas gráficas se aprecian en la Tabla 9 y la Figura 23, respectivamente.

Tabla 9

Datos técnicos del tanque de aceite de presión generadores 1 y 2

Variable/Parámetro	Valor
Tipo	TI-750
Capacidad	750 Litros
Volumen de Aceite	250 Litros
Volumen de Aire	500 Litros
Presión de Aceite	19-21 kg/cm ²
Presión de Prueba	34.7 kg/cm ²

Nota. Tomado de Placa de Datos Técnicos, Mitsubishi Heavy Industries, 1973.

Figura 23

Tanques pulmón 1 y 2



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

- Sistema de CO2: El CO2 o Dióxido de carbono es el sistema encargado de la extinción de incendios. Puesto que, la Central Nayón no está libre de ningún incendio debido a las grandes máquinas empleadas se tiene un sistema de este tipo, que trabaja en modo automático y manual dependiendo del evento generado. En la Figura 24 se puede apreciar su botón de emergencia y los tanques de CO2.

Figura 24

Sistema CO2 contra incendios Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Subestación

La subestación de la central Hidroeléctrica de Nayón es la encargada de realizar la elevación de tensión a 46kV, a fin de poder transportarla y distribuirla hacia el Cumbayá y el Quinche. En la Figura 25 se pueden apreciar imágenes del lugar explicado previamente.

Figura 25

Subestación Central Hidroeléctrica Nayón



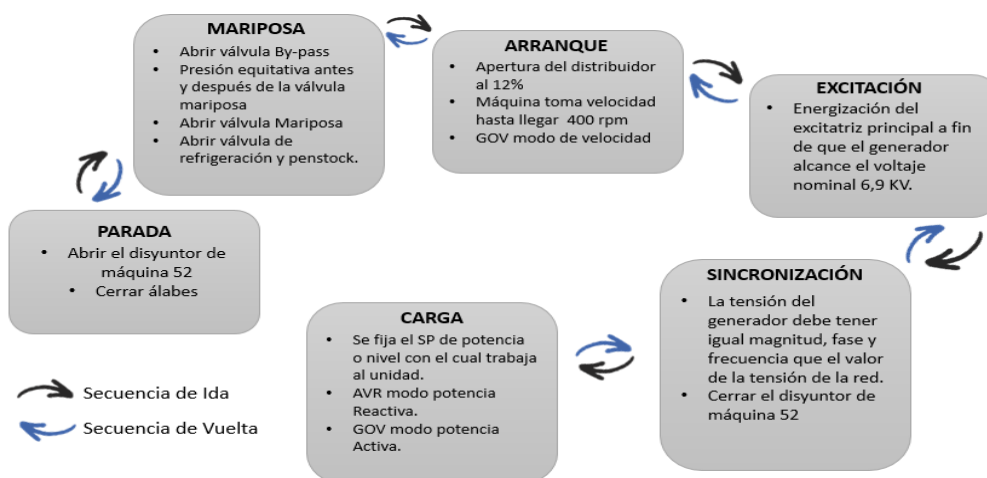
Nota. Imagen tomada en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Fases de generación

En general podemos identificar seis fases en la operación y funcionamiento del sistema de generación de energía hidroeléctrica: parada, mariposa, arranque, excitación, sincronización o paralelo y carga. En la Figura 26 se puede apreciar la secuencia de generación, con sus pasos respectivos.

Figura 26

Secuencia de generación Central Hidroeléctrica Nayón



Nota. Se verifica cada una estas instancias a través del sistema SCADA de la central.

Descripción del sistema

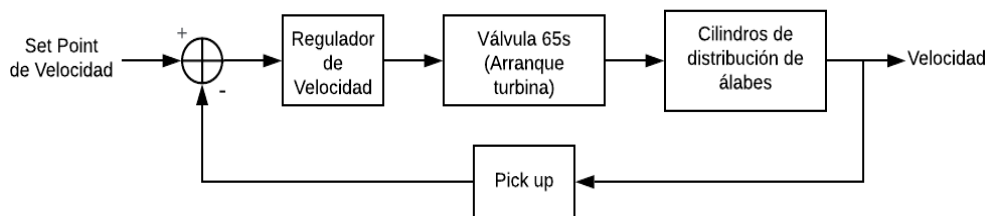
En base a la arquitectura de control evidenciada en la Figura 29, se tiene 2 sistemas de control principales que en conjunto hacen posible el correcto funcionamiento de la central hasta la actualidad. Los cuales son:

- Sistema de control generador 1 y 2.
- Sistema de control servicios generales.

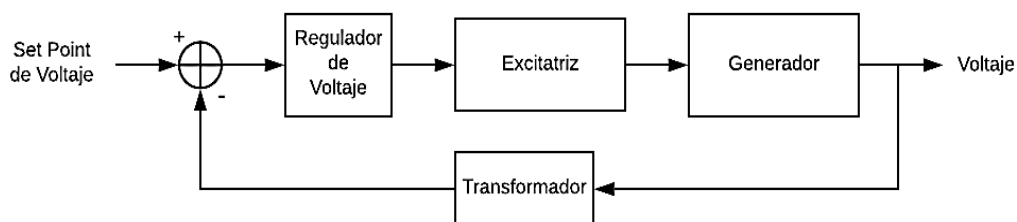
Sistema de control generador 1 y 2

La unidad central de procesos (140CPU11303 Quantum) de los generadores 1 y 2, tiene la capacidad de comunicarse con otros subsistemas que ejecutan la regulación de velocidad y voltaje. Variables esenciales para los lazos de control con objetivos distintos, pero con un fin determinado. Así pues, se dan a conocer en las Figuras 27 y 28, los lazos de control de velocidad y voltaje:

Lazo de control de velocidad: este subsistema de control es ejecutado por el regulador automático de velocidad (GOV) de la marca VATECH HYDRO, que en conjunto con el ingreso de aceite a los cilindros de distribución, mediante la válvula de arranque (65s), hacen posible la apertura de álabes y por ende el ingreso de agua hacia el rodete tipo Francis. Es decir, se trata de un control directo, ya que a mayor velocidad se requiera, mayor apertura de álabes existirá.

Figura 27*Lazo de control de velocidad*

Lazo de control de voltaje: el control en este punto es comandado por el regulador automático de voltaje (AVR) de la marca ABB. Su función principal es inyectar corriente al excitatriz y este a su vez al generador mediante el apoyo de un circuito elevador (derivación Boost) y semiconductores de tecnología IGBT, con el objetivo de variar el campo magnético inducido en el estator y por ende controlar el voltaje producido por el generador sincrónico.

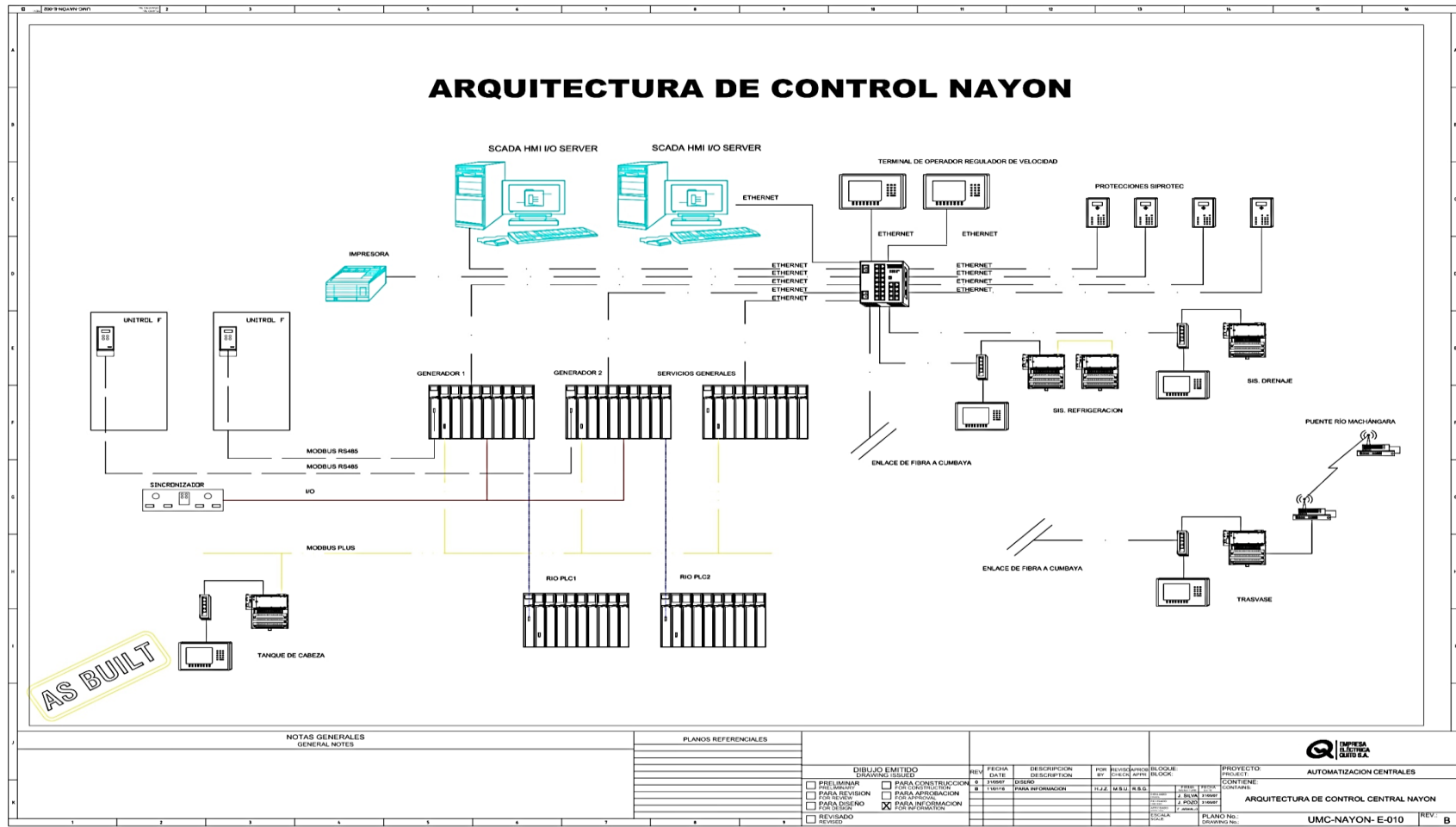
Figura 28*Lazo de control de voltaje****Sistema de control servicios generales***

De igual forma que el control de los generadores 1 y 2, este sistema cuenta con una CPU (140CPU11303 Quantum) de las mismas características. Su función principal es complementar los lazos de control previamente mencionados con la ayuda de subsistemas de refrigeración, drenaje, y medición comercial.

- Subsistema de refrigeración: ejecuta el ingreso de agua a los cojinetes de las turbinas, a fin de reducir la alta temperatura generada por la fricción con los ejes. Cabe recalcar que el líquido empleado es el mismo que ingresa a la turbina mediante la tubería de presión.
- Subsistema de drenaje: absorbe el agua desperdiciada en la sala de válvulas y la empuja a través de una bomba, a un tanque de descarga.
- Medición comercial: dado que el CENACE requiere el conocimiento de la potencia activa y reactiva que se está generando en la central, se necesita de un subsistema que se adapte a estos requerimientos. Por ello la medición comercial no debe pasar desapercibida, ya que proporciona los indicadores de rendimiento (KPI's) de cada generador.

Figura 29

Arquitectura de control existente



Nota. Tomado de Documentación entregada por parte de la Empresa Eléctrica Quito.

Capítulo IV

Diseño del hardware

Requisitos del sistema de control

Los requerimientos determinados por parte de la Empresa Eléctrica Quito, con respecto al sistema de control se establecen a continuación:

- Selección de nuevos equipos de control que reemplacen a los dispositivos que han cumplido su vida útil. Teniendo en cuenta las nuevas alternativas en hardware que ofrecen diferentes empresas relacionadas al campo.
- Los nuevos controladores que harán posible esta migración no deben superar el año de fabricación correspondiente al 2019, con un grado de protección IP20 y una temperatura de operación entre 0°C y 50°C.
- Se requiere un PLC con comunicación EIO para el bastidor Quantum y RIO para el bastidor de entradas y salidas remotas. Además de su respectiva fuente de alimentación, procedente del tablero de distribución de la Central Hidroeléctrica Nayón a 125 VDC y un bastidor de 12 slots, para la implementación futura de módulos de entradas y salidas.
- Se necesita de un controlador que cumpla con la certificación UNE-EN 61131-2:2007 (Autómatas Programables: requisitos y ensayos de los equipos).
- Selección de un módulo de comunicación DNP3.0, a fin de transmitir información de generación al ente regulador (CENACE).
- La selección de módulos de comunicación serial (Modbus RTU/ RS485), Ethernet (Modbus TCP/IP) y Modbus PLUS con el objetivo de establecer un

intercambio de datos con los dispositivos ya implementados en la actualidad y enlistados en la Tabla 10:

Tabla 10

Lista de equipos implementados en la central

Sistema	Modelo	Marca	Protocolo de comunicación
Regulación de voltaje	UNITROL 10000-15	ABB	Modbus RS485
Regulación de voltaje	TM 1703 ACP	Siemens	Modbus RS485
Drenaje	171 CBU 980 90	Schneider Electric	Ethernet TCP/IP
Trasvase	171 CBU 980 90	Schneider Electric	Ethernet TCP/IP
Refrigeración	171 CBU 980 90	Schneider Electric	Ethernet TCP/IP
HMI	HMIGTO6310	Schneider Electric	Ethernet TCP/IP
Tanque de cabeza	172 PNN 210 22	Schneider Electric	Modbus PLUS

- Mantener el rack de entradas y salidas remotas (RIO) de los generadores 1 y 2, a fin de no generar cambios en la instrumentación implementada en la Central Hidroeléctrica Nayón y mermar costos en la instalación.

Selección del sistema de control

Entre los principales oferentes de alternativas de migración en sistemas de control adyacentes a centrales hidroeléctricas se ha seleccionado Schneider Electric. Principalmente esta decisión esta argumentada en los siguientes aspectos:

- **Compatibilidad:** Dado que actualmente en la Central Hidroeléctrica Nayón se encuentran implementados controladores de la misma marca, específicamente los modelos Quantum, existe una compatibilidad con los controladores M580 a ser adquiridos y los modelos anteriormente mencionados. Lo que conlleva a la reutilización de módulos I/O remotos (RIO), cumpliendo con el requerimiento mencionado previamente y garantizando un correcto proceso de migración y un costo reducido en la adquisición de los equipos.
- **Escalabilidad:** La lógica de control programada en los PLC's instalados en la actualidad, fue realizada en la plataforma de configuración CONCEPT (versión 2.6), sin embargo existe un estrecha relación con Unity Pro XL, siendo esta plataforma compatible con los lenguajes de programación (FBD, ST, LD) y con un entorno tecnológico actual.
- **Economía:** La Central Hidroeléctrica Nayón cuenta con equipos de control de la marca Schneider Electric, por ende si se deseaba seleccionar dispositivos de otra marca existente en el mercado, su aumento económico era elevado, ya que se necesitaría reemplazar todo el equipamiento a un solo fabricante, es decir, no sería una migración parcial sino completa y por lo tanto cara.
- **Proceso de migración:** Fundamentalmente esta modernización se sustenta en la evolución de un sistema de control obsoleto, a otro más moderno y confiable. La realidad es que las migraciones deben tomarse con un alto grado de responsabilidad y

cuidado, debido a que en última instancia la continuidad de la generación de energía eléctrica depende de que estos cambios se efectúen correctamente.

A continuación se describe el proceso de migración:

En el año 2015 Schneider Electric anuncia la presentación del proceso de modernización de la plataforma Modicon Quantum, el mismo se lleva a cabo gracias a su nuevo controlador M580 y su capacidad de transición gradual de arquitecturas existentes a arquitecturas Ethernet con mínimo riesgo, costo e inversión.

Es importante considerar el hecho de que este proceso de transición reemplazará la unidad central de procesos (CPU) antes que los módulos de entrada y salida de la antigua arquitectura, mermando el costo en la adquisición de dispositivos nuevos y sobre todo en el procedimiento de cambio de hardware. Además de mejorar las funciones de comunicación Ethernet integradas con la dotación de una mejor visibilidad de las operaciones, la reducción del tiempo inactivo del controlador y la redundancia de energía.

- Beneficios de la Modernización

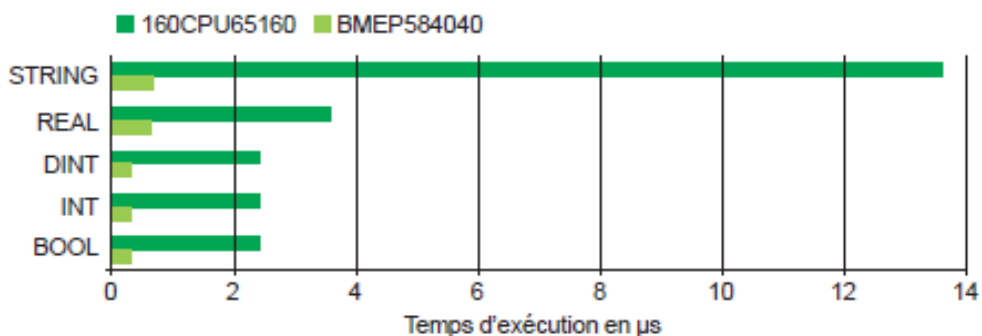
La modernización de arquitecturas pequeñas y compactas en arquitecturas escalables ofrece las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento.
- Control de costos.
- Control de riesgos y producción.
- Seguridad mejorada.

A manera de ejemplo en la Figura 30 se puede apreciar una comparativa de la unidad central de procesos (CPU) Quantum 160CPU65160 y el nuevo CPU BMEP584040, con respecto al tiempo de ejecución de tipo de datos en micro segundos (us). En efecto, M580 ofrece un rendimiento de 5 a 8 veces mayor dependiendo del tipo de tratamiento.

Figura 30

Comparación en tiempo de procesamiento de datos Quantum vs M580

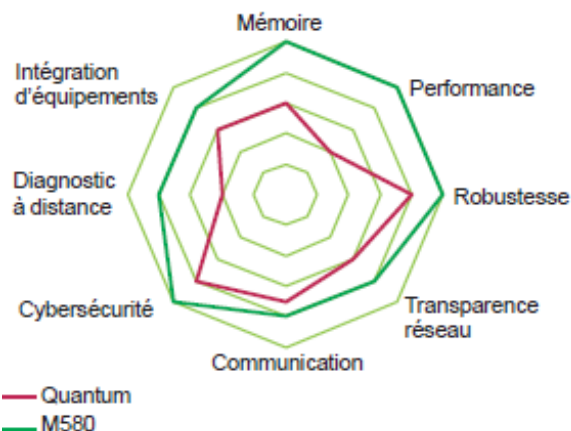


Nota. Tomado de Modernisation de la plate-forme Modicon Quantum, (Schneider Electric, 2017).

De igual manera en la Figura 31 se aprecia un gráfico radial que expresa el rendimiento comparativo entre Quantum y M580. Dicho de otro modo, nos muestra la oportunidad de visualizar datos en forma de un diagrama bidimensional con respecto a red, distancia e integración de equipos, memoria, performance, ciberseguridad y robustez. Siendo estos cuatro últimos la diferencias claves de un modelo actual, tecnológico y seguro frente a un modelo antiguo y obsoleto.

Figura 31

Performance Quantum vs M580

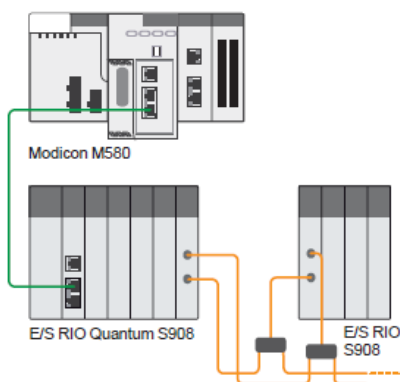


Nota. Tomado de *Modernisation de la plate-forme Modicon Quantum*, (Schneider Electric, 2017).

- Topologías

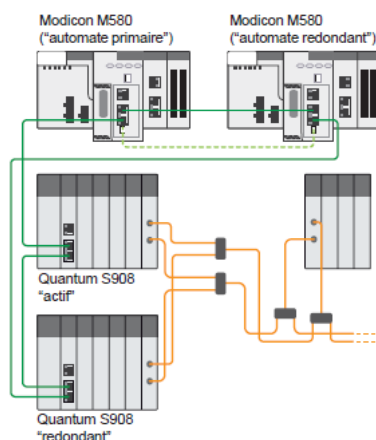
Según Schneider Electric la migración se puede ejecutar en dos tipos de topologías que se enlistan y describen a continuación:

- Arquitectura Autónoma: esta topología generalmente maneja un nivel de entradas y salidas remotas RIO Quantum S908, tal como se aprecia en la Figura 32. En consecuencia, la migración en este punto únicamente conlleva el cambio del CPU Quantum por el acoplador 140CRA31908 y en términos de conversión de software las herramientas avanzadas permiten una modernización efectiva y sencilla.

Figura 32**Arquitectura autónoma**

Nota. Tomado de *Modernisation de la plate-forme Modicon Quantum*, (Schneider Electric, 2017).

- Arquitectura de alta disponibilidad: este tipo de topología maneja una capacidad de redundancia en el sistema de control como medida de seguridad, por ello conlleva diferentes niveles de jerarquía. Usualmente existen el activo y el redundante, como se aprecia en la Figura 33. Sin embargo el proceso de migración es el mismo.

Figura 33**Arquitectura de Alta Disponibilidad**

Nota. Tomado de *Modernisation de la plate-forme Modicon Quantum*, (Schneider Electric, 2017).

Hardware de control y comunicación

Selección del controlador lógico programable

La Unidad Central de Procesos (CPU) mostrada en la Figura 34, que sobresale de entre la familia Modicon M580 y cumple a cabalidad las solicitudes expresadas previamente, es el BMEP584040. Con las características técnicas detalladas en la Tabla 11:

Figura 34

Módulo central de procesos BMEP584040



Nota. Tomado de Modicon M580 Catalog January 2020, (Schneider Electric, 2020).

Tabla 11

Características técnicas BMEP584040

Característica técnica	Descripción
Familia	Modicon M580
Tipo de componente	Módulo CPU
Conexión integrada	3 canales Ethernet TCP/IP (puerto de servicio, red DIO y RIO)
Tipo de conexión	USB tipo mini B
Servicios de comunicación	Scanner RIO y DIO

Característica técnica	Descripción
Grado de protección	IP20
Año de fabricación	2020
Estándares que cumple	EN 61131-2 EN/IEC 61010-2-201

Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Adicionalmente a esta selección se necesita de una alimentación del bastidor, Schneider Electric sugiere que el módulo central de procesos detallado previamente sea configurado con el módulo de alimentación BMXCPS3522 una fuente redundante X80 a 125 VDC. Su respectiva grafica se expresa en la Figura 35, y sus características técnicas en la Tabla 12:

Figura 35

Módulo de alimentación BMXCPS3522



Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Tabla 12

Características técnicas BMXCPS3522

Característica técnica	Descripción
Familia	Modicon M580
Tipo de componente	Módulo de alimentación

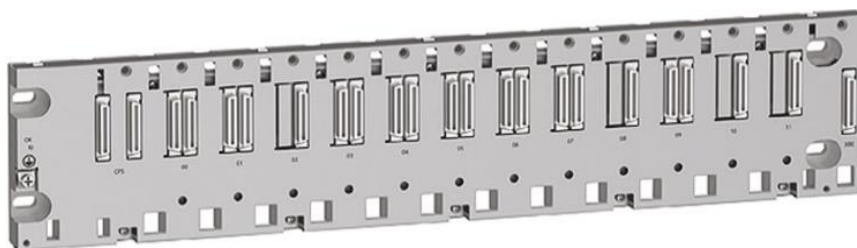
Característica técnica	Descripción
Voltaje primario	125 VDC
Grado de protección	IP20
Corriente de entrada	600 mA a 125 VDC
Estándares que cumple	EN 61131-2 EN/IEC 61010-2-201
Año de fabricación	2020

Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Seguidamente el bastidor BMEXBP1200 de 12 slots se presenta en la Figura 36. Con la singularidad de ser además de un backplane, un rack Ethernet, es decir en su núcleo puede configurarse como una red entre los módulos que lo conformen.

Figura 36

Bastidor de 12 slots BMEXBP1200



Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Selección del módulo de comunicación serial

Según la tabla 10, se necesita un módulo de comunicación serial para los sistemas de regulación de velocidad y voltaje. Los mismos requieren un protocolo MODBUS RTU/RS485, con el objetivo de leer o escribir en registros de memoria. El módulo BMXNOM0200 presentado en la figura 37, adopta las necesidades anteriores. Siendo una solución accesible y garantizada, ya que cuenta con 2 puertos de

comunicación serial en el protocolo requerido tanto para el AVR como para el GOV y un puerto de servicio. Sus características técnicas se dan a conocer en la Tabla 13:

Figura 37

Módulo de comunicación serial BMXNOM0200



Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Tabla 13

Características técnicas BMXNOM0200

Característica técnica	Descripción
Familia	Modicon M580
Tipo de componente	Módulo de comunicación serial
Conexión integrada	2 canales RS485 RJ45 1 canal de servicio RJ45
Grado de protección	IP20
Estándares que cumple	EN 61131-2 EN/IEC 61010-2-201

Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Selección del módulo de comunicación Ethernet

La comunicación Ethernet es vital dentro de la Central Hidroeléctrica Nayón, ya que a futuro se espera migrar todas las comunicaciones a este protocolo por sus grandes beneficios, sobre todo la distancia a la cual se encuentra sujeto. Evidentemente según la Tabla 10, la mayoría de sistemas trabajarán bajo esta plataforma, por ende la necesidad de un switch que conmute las comunicaciones entre solicitudes de equipos, ya sea de lectura o escritura como tal.

El módulo Ethernet BMENOC0301 expresado en la Figura 38, sobresale de entre los principales de la familia Modicon M580, debido a sus características técnicas, que se evidencia en la Tabla 14. Cumpliendo con las necesidades requeridas por la Empresa Eléctrica Quito.

Figura 38

Módulo de comunicación serial BMENOC0301



Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Tabla 14*Características técnicas BMENOC0301*

Característica técnica	Descripción
Familia	Modicon M580
Tipo de componente	Módulo de comunicación ethernet
Conexión integrada	3 canales Ethernet, conector tipo RJ45
Servicios de comunicación	Modbus TCP/IP Ethernet TCP/IP
Grado de protección	IP20
Año de fabricación	2020
Estándares que cumple	EN 61131-2 EN/IEC 61010-2-201

Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Selección del módulo de comunicación DNP3.0

El módulo de comunicación DNP3.0 cumple la función de emitir los indicadores clave de rendimiento (KPI) al ente regulador CENACE. Por ello su importancia en este proceso. El módulo de la familia Modicon M580 de la Figura 39 que cumple con esta necesidad es el BMXNOR0200H. Sus características técnicas se presentan en la Tabla 15.

Figura 39

Módulo de comunicación DNP3.0 BMXNOR0200H



Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Tabla 15

Características técnicas BMXNOR0200H

Característica técnica	Descripción
Familia	Modicon M580
Tipo de componente	Módulo de comunicación DNP3.0
Conexión integrada	1 canal tipo RJ45
Servicios de comunicación	Modbus TCP/IP DNP3.0 DNP3.0 IP
Grado de protección	IP20
Año de fabricación	2020
Estándares que cumple	EN 61131-2 EN/IEC 61010-2-201

Nota. Tomado de *Modicon M580 Catalog January 2020*, (Schneider Electric, 2020).

Arquitectura de control

El diseño de la nueva arquitectura de control contempla nuevos protocolos de comunicación solicitados por parte de la empresa, así como la presencia de los controladores M580 seleccionados y sus respectivos módulos de comunicación, descritos en la Tabla 16.

A su vez en la Figura 40 se presenta de manera general el diseño de la nueva arquitectura de control, con los protocolos de comunicación requeridos por parte de la Empresa Eléctrica Quito. A manera de realizar una comparativa, respecto de la migración en las Figuras 41 y 42, se detallan de una manera explícita el equipamiento nuevo y el equipamiento antiguo, implementado en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Tabla 16

Dispositivos seleccionados en la nueva arquitectura de control

Cantidad	Ítem	Descripción
3	BMEXBP1200	Bastidor de 12 slots.
3	BMXCPS3522	Módulo de alimentación 125 VDC.
3	BMEP582040	Módulo de central de proceso M580.
3	BMENOC0301	Módulo de red Modbus TCP M580.
2	BMXNOM0200	Módulo serial Modbus ethernet
3	140CRA31908	Módulo adaptador RIO ETH/S908
1	BMXNOR0200H	Módulo DNP3 M580
1	NSYSF2012602DP	Tablero de control 2000x1200x600 mm

Figura 40

Esquema gráfico de la nueva arquitectura de control

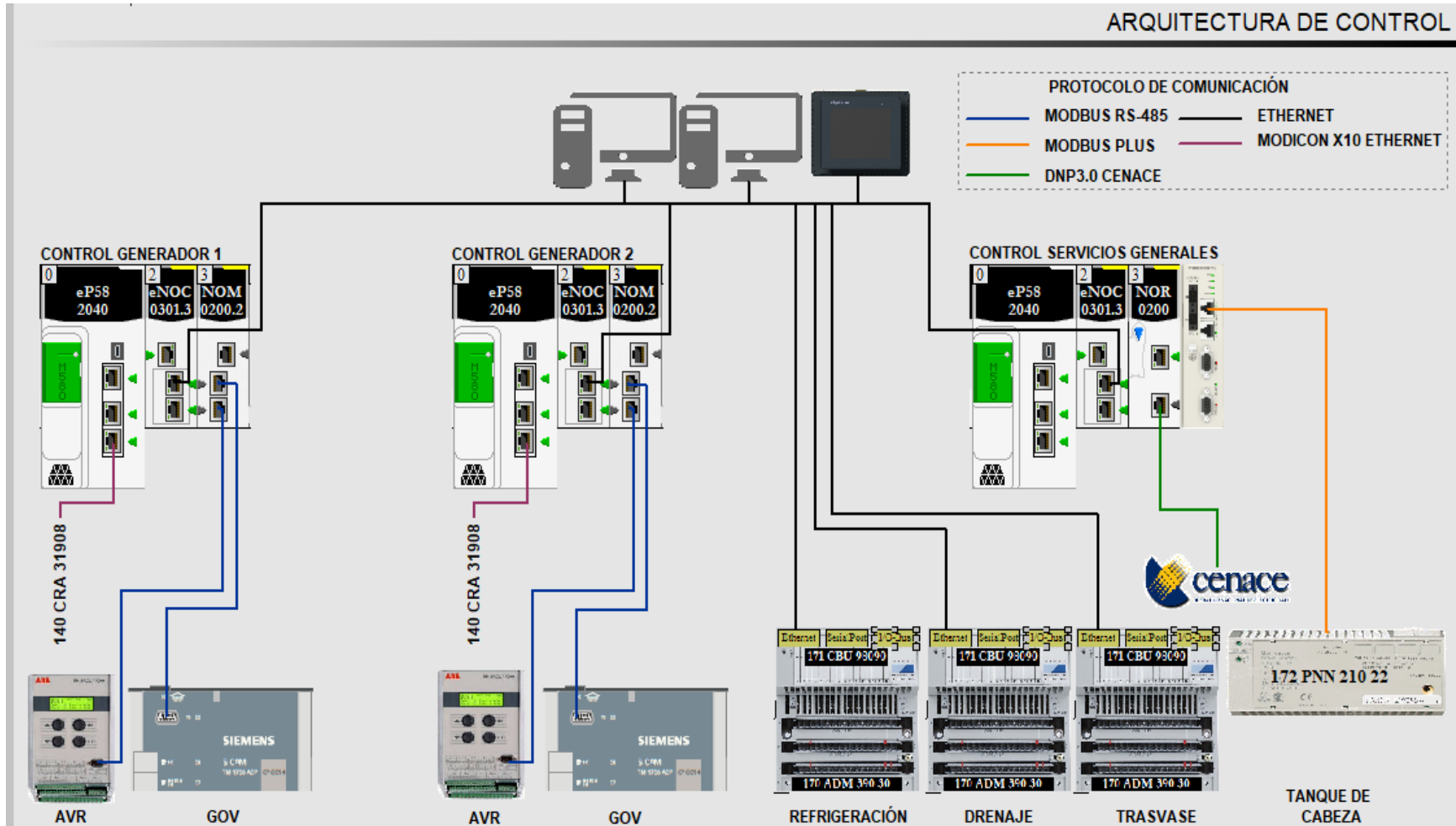


Figura 41

Nueva arquitectura de control detallada por nuevos dispositivos

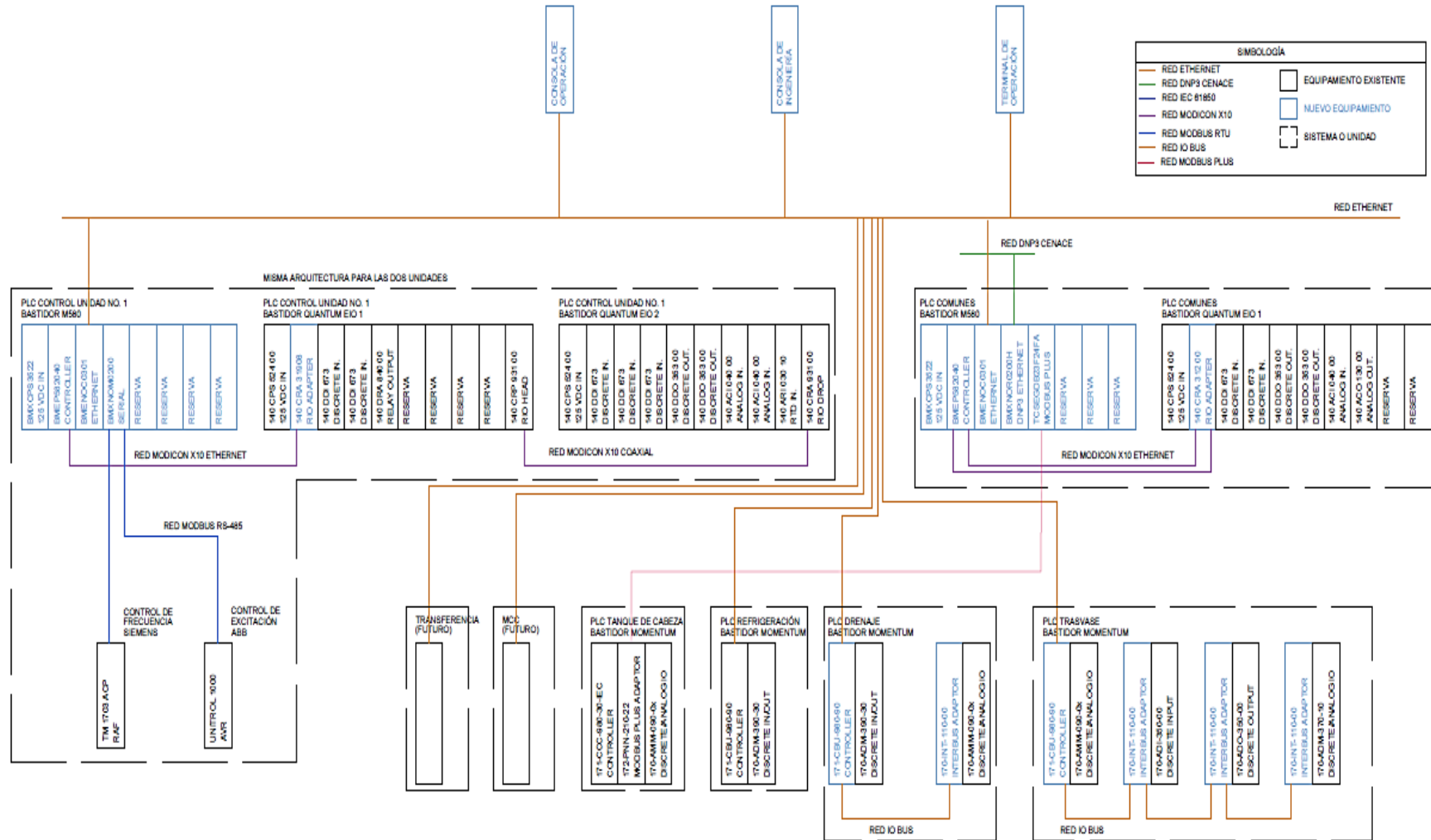
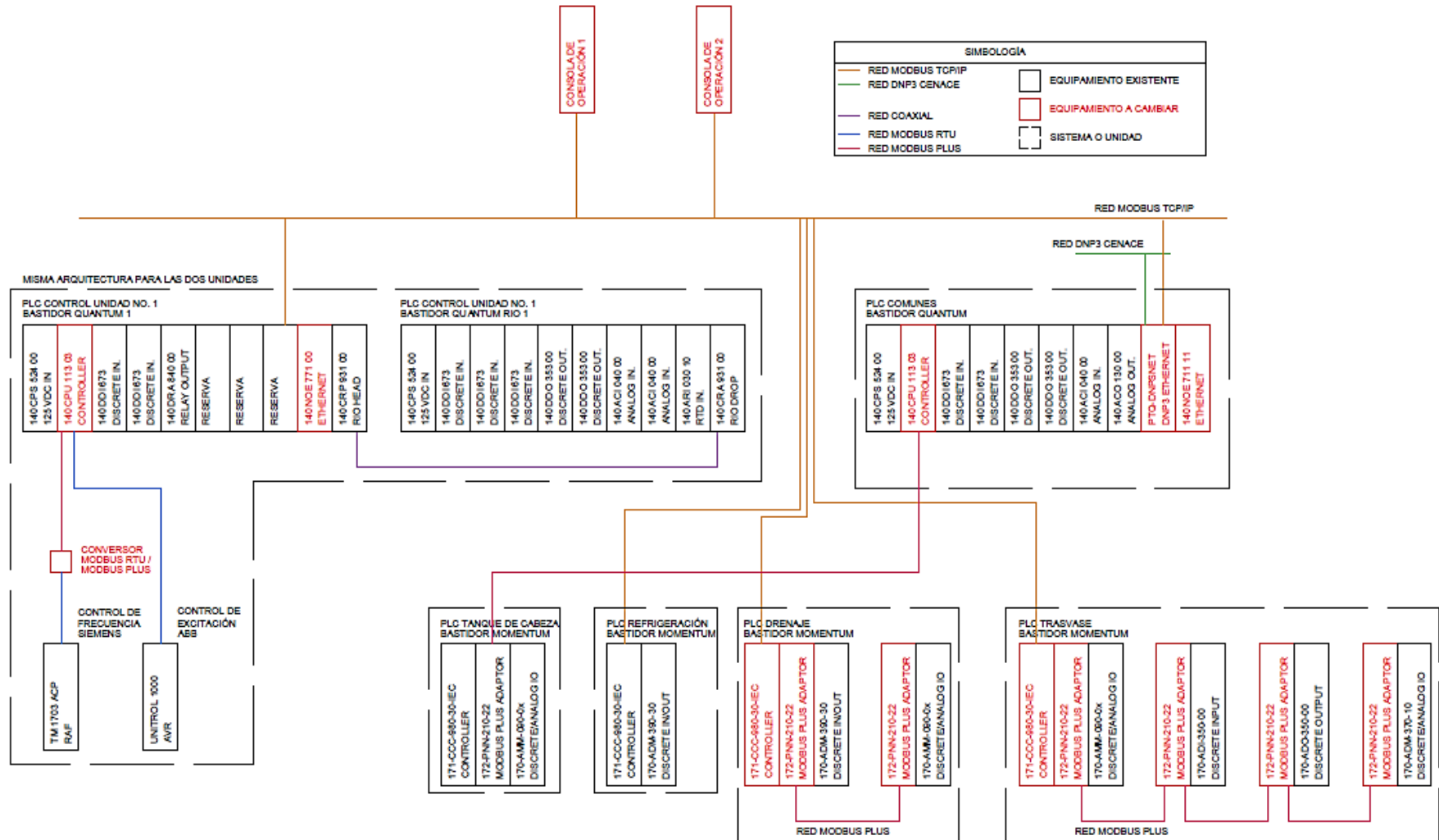


Figura 42

Arquitectura de control antigua detallada por el equipamiento a cambiar



Planos y diagramas de conexión

Requisitos de los planos eléctricos

La actualización de planos eléctricos se realizó en base a los requerimientos determinados por parte de la Empresa Eléctrica Quito. Los cuales son:

- Verificación en punto de las conexiones ilustradas en los planos eléctricos dotados por la Empresa Eléctrica Quito.
- Empleo de la norma IEEC 60617.
- El tamaño del papel será A3 (420x297mm).
- Creación de librerías de los nuevos dispositivos Modicon M580.
- Digitalización en el software Autocad Electrical 2020, del conexionado de los tableros nombrados en la Tabla 17.

Elaboración de planos eléctricos

En las Figuras 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 se dan a conocer los diagramas layout que determinan la distribución de los componentes correspondientes a los tableros de control del generador 1, el regulador automático de voltaje, el tablero de entradas y salidas remotas (RIO), regulador automático de velocidad, distribución, servicios generales, bombas de aceite, engrase, compresores y drenaje, respectivamente.

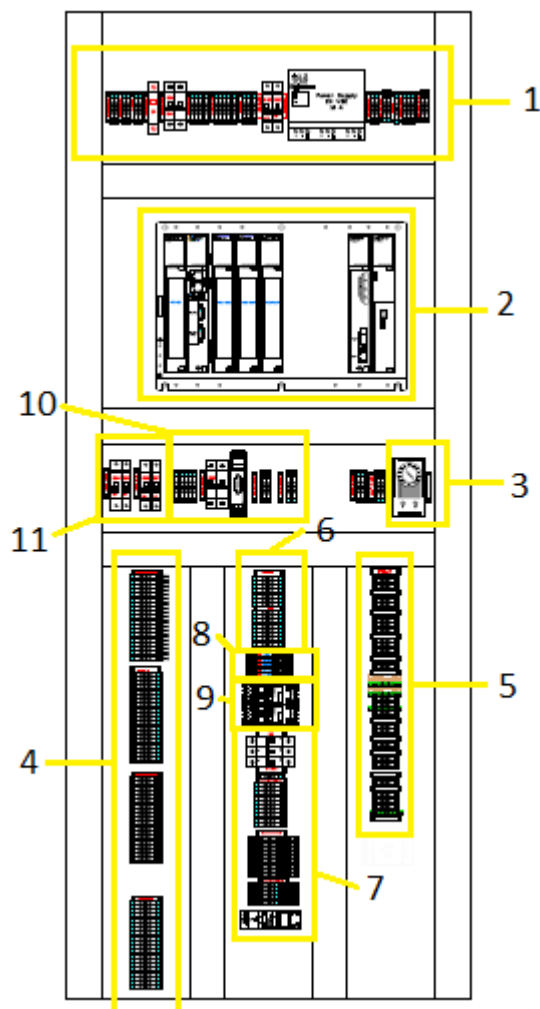
No obstante, los demás esquemas eléctricos se los presenta en los Anexos de este escrito, debido a la extensión del número de planos.

Tabla 17*Listado de planos realizados en Autocad Electrical 2020*

No	Tablero	No. Planos
1	Generador 1	30
2	Avr generador 1	19
3	RIO generador 1	41
4	Bombas de aceite generador 1	9
5	Gov generador 1	41
6	Bomba fuga de aceite generador 1	8
7	Engrase generador 1	8
8	Generador 2	30
9	Avr generador 2	19
10	RIO generador 2	41
11	Bombas de aceite generador 2	9
12	Gov generador 2	41
13	Bomba fuga de aceite generador 2	8
14	Engrase generador 2	8
15	Distribución	8
16	Drenaje	19
17	Servicios generales	36
18	Compresores	8

Figura 43

Diagrama layout tablero de control generador 1



1. Alimentación proveniente del tablero de distribución, tanto 125 VDC como 120 VAC. Además de la fuente (PS) encargada de convertir 125 VDC a 24 VDC y disyuntores (Q01, Q02, Q03) de protección para cada voltaje.

2. El rack cuenta con 7 módulos enlistados en la Tabla 18:

Tabla 18*Distribución de módulos tablero de control generador 1*

Slot	Serie	Descripción
1	140CPS52400	Fuente de Poder Quantum 125 VDC, 8 A.
2	140CRA31908	Adaptador de RIO ETH / S908
3	140DDI67300	Módulo de entradas digitales de 24 puntos 3 grupos de 8 (sink).
4	140DDI67300	Módulo de entradas digitales de 24 puntos 3 grupos de 8 (sink).
5	140DRA84000	Módulo de salidas digitales a relé 2 A de 16 puntos.
9	140NOE77100	Módulo de comunicación Ethernet TCP/IP, Modbus.
10	140CPU11303	CPU Quantum 512K Modbus

3. Interruptor de temporización encargado de accionar el Sistema de ventilación del tablero, ante temperaturas elevadas.

4. Borneras de conexión utilizadas por los módulos de entradas digitales 140DDI67300.

5. Borneras de conexión con el regulador automático de voltaje (AVR).

6. Borneras de conexión utilizadas por los módulos de salidas digitales 140DRA84000.

7. Disyuntores y borneras de conexión del disyuntor 86E físico.

8. Relés de protección para salidas digitales.

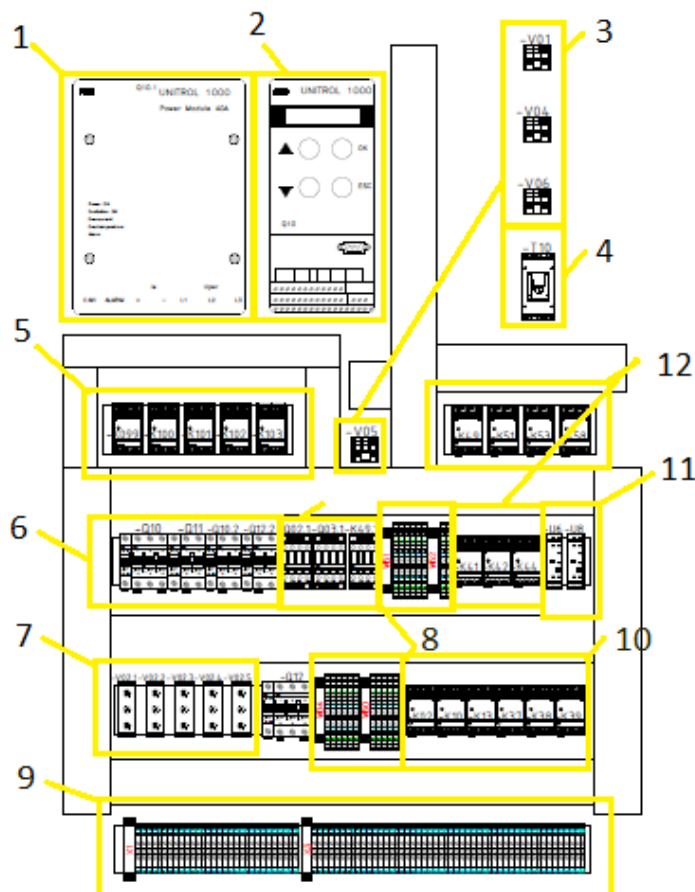
9. Relés electromecánicos de las cubas del transformador (abrir y cerrar).

10. Convertidor de RS232 a RS485.

11. Disyuntores de alimentación de 125 y 24 VDC.

Figura 44

Diagrama layout tablero regulador automático de voltaje



1. Módulo de poder ABB 40 A Unitrol 1000, contiene indicadores luminosos de encendido, excitación, sobrecorriente, sobretensión y alarma.

2. ABB UNITROL 1000, unidad central de procesos encargada del control total.

3. Puentes de diodos de 35 A 1200 V.

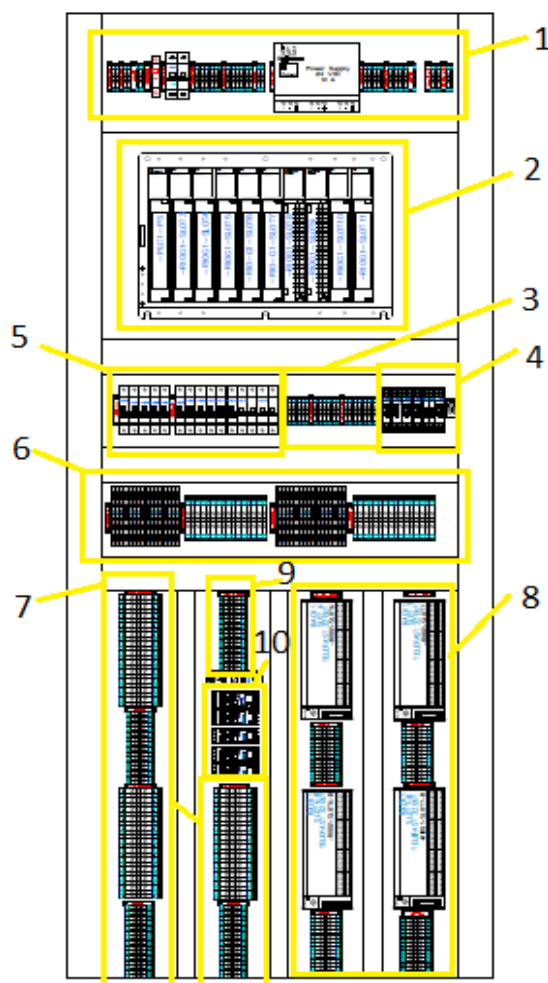
4. Transformador de corriente 5/1A 50 Hz.

5. Relés de señales externas.

6. Disyuntores de protección 10A.
7. Módulo de diodos 1800 V de 64 A.
8. Borneras de conexión de 3 niveles.
9. Borneras de conexión simple para salidas y entradas externas.
10. Relés de 125 VDC.
11. Transmisores universales SINEAX V604 230 VAC/VDC.
12. Relés de 24 VDC.

Figura 45

Diagrama layout tablero de entradas y salidas remotas RIO



1. Alimentación proveniente del tablero de distribución, tanto 125 VDC como 120 VAC. Además de la fuente (PS) encargada de convertir 125 VDC a 24 VDC y disyuntores de protección para cada voltaje.

2. El rack cuenta con 10 módulos enlistados en la Tabla 19:

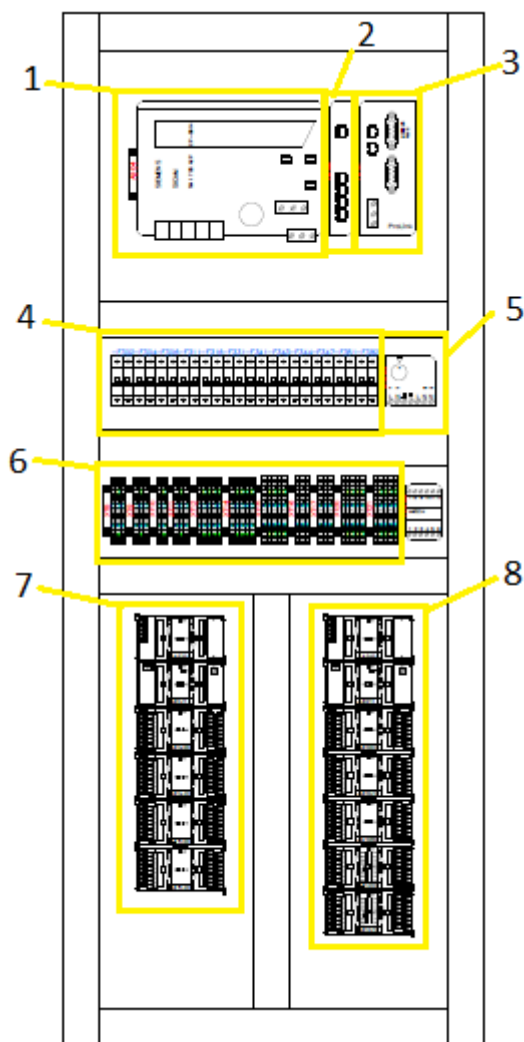
Slot	Serie	Descripción
2	140CPS52400	Fuente de Poder Quantum 125 VDC, 8 A.
3	140DDI67300	Módulo de entradas digitales de 24 puntos 3 grupos de 8 (sink).
4	140DDI67300	Módulo de entradas digitales de 24 puntos 3 grupos de 8 (sink).
5	140DDI67300	Módulo de entradas digitales de 24 puntos 3 grupos de 8 (sink).
6	140DDO35300	Módulo de salidas digitales de 32 puntos 4 grupos de 4, conectados a telefast (source).
7	140DDO35300	Módulo de salidas digitales de 32 puntos 4 grupos de 4, conectados a telefast (source).
8	140ACI04000	Módulo de entradas analógicas de 16 puntos a 4-20, 0-20, 0-25 mA
9	140ACI04000	Módulo de entradas analógicas de 16 puntos a 4-20, 0-20, 0-25 mA
10	140ARI003010	Módulo de entradas analógicas de 8 puntos RTD a 100, 200, 500, 1000 ohms.
11	140CRA93100	Módulo de comunicación por S908, cable coaxial.

Tabla 19*Distribución de módulos Tablero RIO.*

3. Borneras de conexión 125 VDC y 24 VDC.
4. Transformadores de aislamiento RTD (Input: Temperatura/ Output: V, I).
5. Disyuntores de control 125 VDC y 24 VDC.
6. Fusibles y borneras de conexión (transientes) para entradas analógicas provenientes del módulo 140ACI04000.
7. Borneras de conexión utilizadas por los módulos de entradas digitales 140DDI67300.
8. Módulos Telefast ABE-7R16T210 de 32 puntos para salidas digitales.
9. Borneras de conexión para RTD's.
10. Relés de flujo de cojinetes superior, inferior, de empuje y guía

Figura 46

Diagrama layout tablero regulador de velocidad



1. Sistema automatización y telecontrol Siemens SICAM TM 1703.
2. Switch de comunicación con el tablero de unidad común y módulos de entrada y salida digitales y analógicas.
3. Convertidor de Modbus a Modbus Plus.

4. Disyuntores de protección.
5. Control de temperatura del tablero.
6. Borneras de conexión de 3 niveles.
7. El rack cuenta con 7 módulos de entrada enlistados en la Tabla 20:

Tabla 20

Distribución de módulos de entrada tablero RIO

Slot	Serie	Descripción
1	PS 6620	Fuente de Poder Quantum 24 – 60 VDC.
2	PE 6400	Módulo de interfaz periférica 3 x 1703
3	AI 6300	Módulo de entradas analógicas 2x2, 20, 10 mA, 10 V
4	AI 6300	Módulo de entradas analógicas 2x2, 20, 10 mA, 10 V
5	TE 6420	Módulo de medición de velocidad 2x2.
6	DI 6102	Módulo de entradas digitales 2x8, 24 – 60 VDC.
7	DI 6102	Módulo de entradas digitales 2x8, 24 – 60 VDC.

8. El rack cuenta con 6 módulos de salida enlistados en la Tabla 21:

Tabla 21

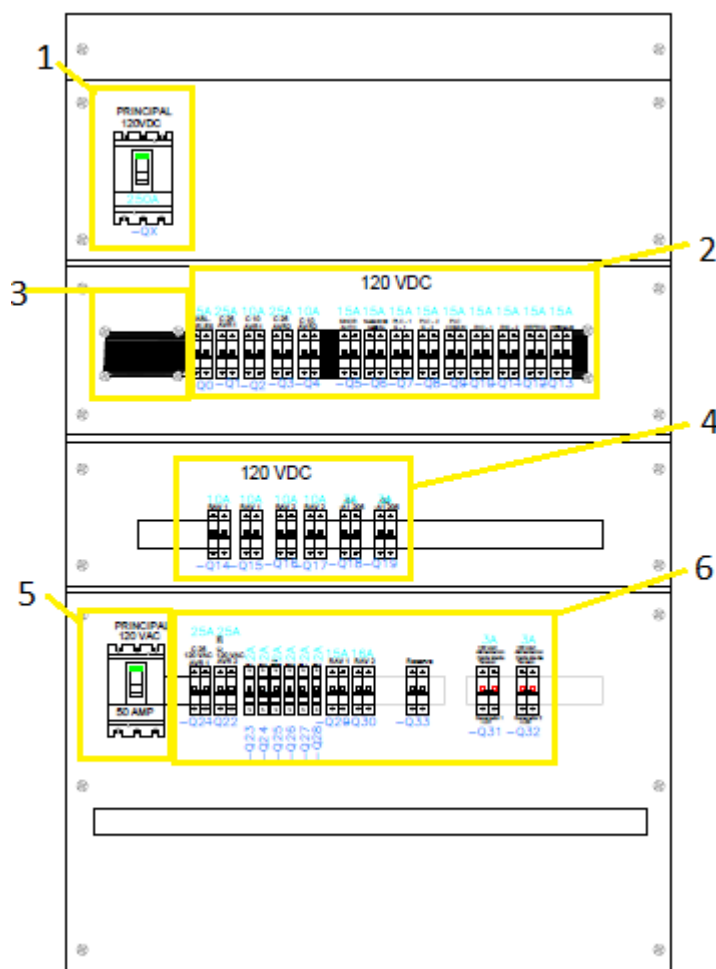
Distribución de Módulos de salida tablero RIO

Slot	Serie	Descripción
1	PS 6620	Fuente de Poder Quantum 24 – 60 VDC.
2	PE 6400	Módulo de interfaz periférica 3 x 1703
3	AO 6380	Módulo de salidas analógicas 4 x 20,10 mA, 10 V
4	AO 6380	Módulo de salidas analógicas 4 x 20,10 mA, 10 V

Slot	Serie	Descripción
5	AO 6380	Módulo de salidas analógicas 4 x 20,10 mA, 10 V
6	AO 6380	Módulo de salidas analógicas 4 x 20,10 mA, 10 V

Figura 47

Diagrama layout tablero de distribución



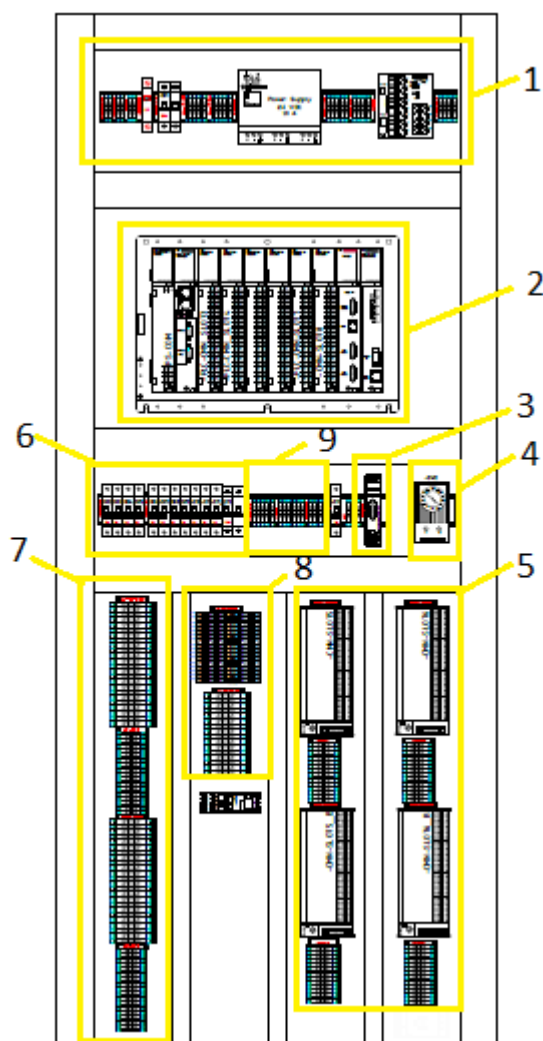
1. Disyuntor principal 120 VDC, 250 A.

2. Disyuntores de alimentación 120 VDC, 15 – 25 A.

3. Reserva.
4. Disyuntores de alimentación 120 VDC, 3 – 10 A.
5. Disyuntor principal 120 VAC, 50 A.
6. Disyuntores de alimentación 120 VAC, 2 – 25 A.

Figura 48

Diagrama layout tablero de servicios generales



1. Alimentación proveniente del tablero de distribución, tanto 125 VDC como 120 VAC. Además de la fuente (PS) encargada de convertir 125 VDC a 24 VDC y disyuntores de protección para cada voltaje.

2. El rack cuenta con 10 módulos de entrada enlistados en la Tabla 22:

Tabla 22

Distribución de módulos tablero unidad común

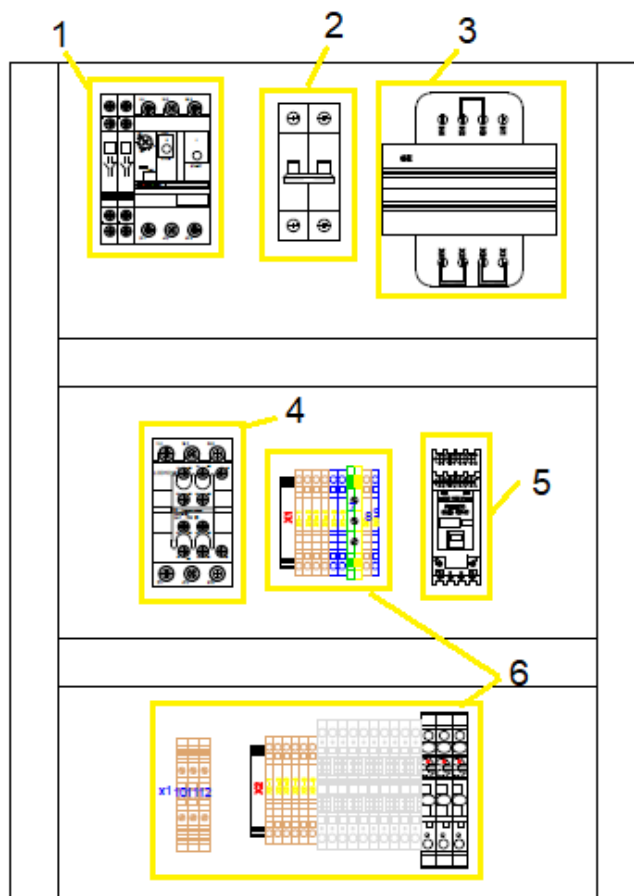
Slot	Serie	Descripción
1	140CPS52400	Fuente de Poder Quantum 125 VDC, 8 A.
2	140CPU11303	CPU Quantum 512K Modbus
3	140DDI67300	Módulo de entradas digitales de 24 puntos 3 grupos de 8 (sink).
4	140DDI67300	Módulo de entradas digitales de 24 puntos 3 grupos de 8 (sink).
5	140DDO35300	Módulo de salidas digitales de 32 puntos 4 grupos de 4, conectados a telefast (source).
6	140DDO35300	Módulo de salidas digitales de 32 puntos 4 grupos de 4, conectados a telefast (source).
7	140ACI04000	Módulo de entradas analógicas de 16 puntos a 4-20, 0-20, 0-25 mA
8	140ACO13000	Módulo de salidas analógicas corriente de 8 puntos a 4-20, 0-20, 0-25 mA
9	140 Pro talk	Profibus DP módulo de Interface para Quantum
10	140NOE77100	Módulo de comunicación Ethernet TCP/IP.

3. Convertidor de RS232 a RS485.

4. Control de temperatura del tablero.
5. Módulos Telefast ABE-7R16T210 de 32 puntos para salidas digitales.
6. Disyuntores de control 125 VDC y 24 VDC.
7. Borneras de conexión utilizadas por los módulos de entradas digitales 140DDI67300.
8. Fusibles y borneras de conexión (transientes) para entradas analógicas provenientes del módulo 140ACI04000.
9. Borneras de conexión para transmisores de flujo en tuberías de presión.

Figura 49

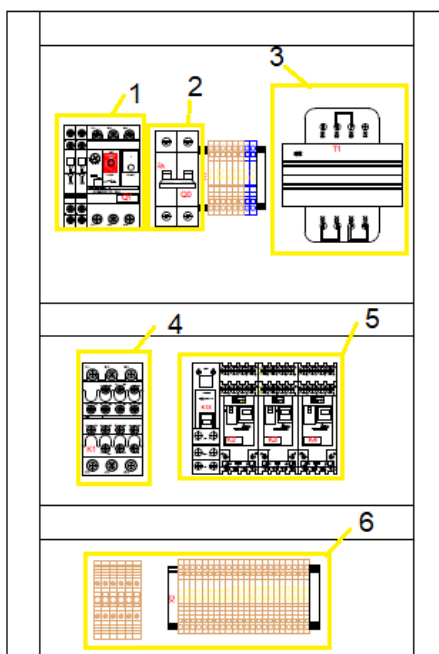
Diagrama layout tablero bombas de aceite



1. Guardamotores (Q1, Q2) de protección electromecánico para el circuito principal.
Se lo utiliza principalmente para arrancar las bombas de suministro de aceite y proporcionar a los fusibles menos protección contra cortocircuitos, sobrecargas y fallos de la fase.
2. Transformadores reductores de 480 a 110 VAC.
3. Contactores (88QA, 88QB) LC1-DO9F7, para arrancar las bomba de aceite A y B.
4. Disyuntores de 2 polos capaces de soportar hasta 3 amperios, empleados como medios de protección entre la red trifásica y el transformador (480/110) VAC.
5. Relés auxiliares, encargados de emitir o transmitir las señales de activación de las bombas hacia el tablero de servicios generales.
6. Borneras de conexionado.

Figura 50

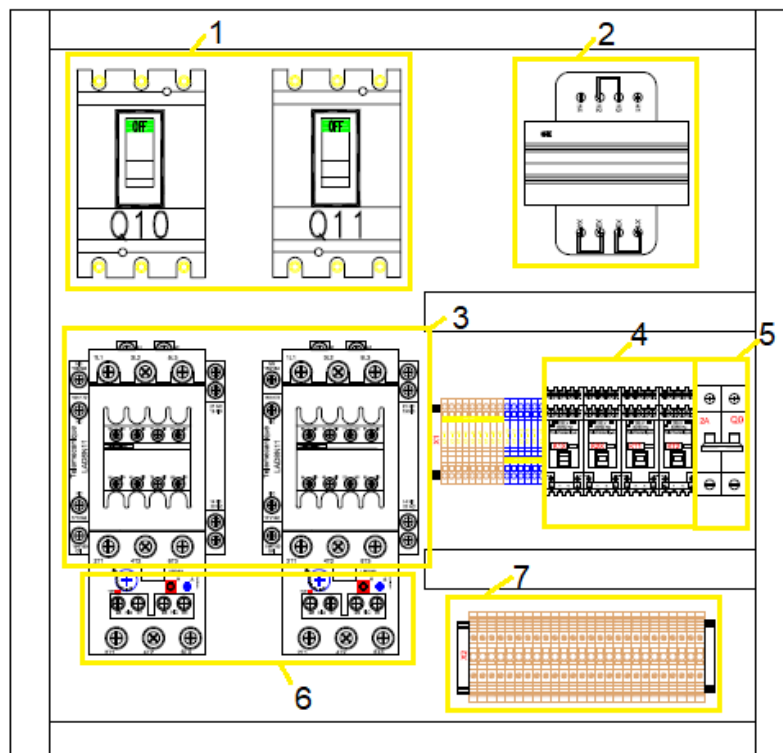
Diagrama layout tablero de engrase



1. Guardamotor (Q1) de 4KW, de protección electromecánica para el circuito principal. Se lo utiliza principalmente para arrancar y proporcionar a los fusibles menos protección contra cortocircuitos, sobrecargas y fallos de la fase.
2. Disyuntor de 2 polos capaz de soportar hasta 3 amperios, empleados como medios de protección entre la red trifásica y el transformador (480/110) VAC.
3. Transformador reductor de 480 a 110 VAC.
4. Contactor (88GL) LC1-DO9F7, para arrancar la bomba de engrase.
5. Relés auxiliares, encargados de emitir o transmitir las señales de activación de las bombas hacia el tablero de servicios generales.
6. Borneras de conexión.

Figura 51

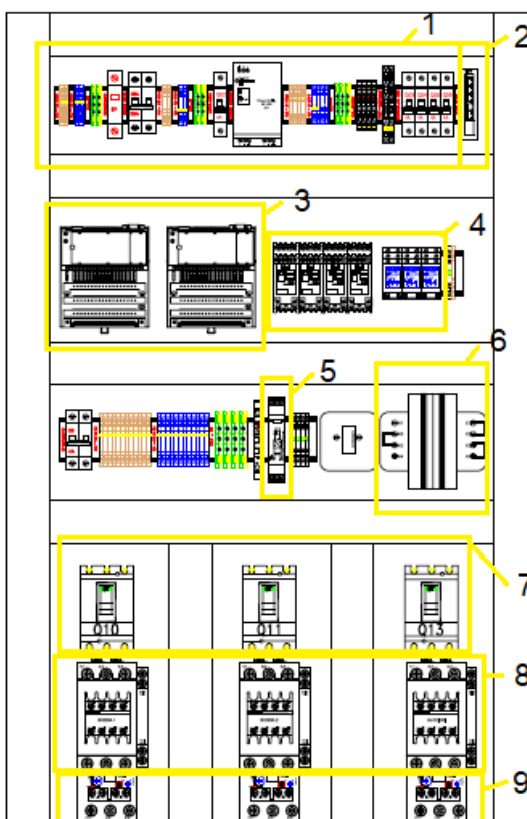
Diagrama layout tablero de compresores



1. Guardamotores (Q10, Q11) de protección electromecánica para el circuito principal. Se lo utiliza principalmente para arrancar y proporcionar a los fusibles menos protección contra cortocircuitos, sobrecargas y fallos de la fase.
2. Transformador reductor de 220 a 110 VAC.
3. Contactores (88Q1, 88Q2) LC1-DO9F7, para arrancar los compresores normal y de reserva.
4. Relés auxiliares, encargados de emitir o transmitir las señales de activación de las bombas hacia el tablero de servicios generales.
5. Disyuntor de 2 polos (Q0) capaz de soportar hasta 3 amperios, empleados como medios de protección entre la red trifásica y el transformador (480/110) VAC.

Figura 52

Diagrama layout tablero de drenaje



1. Alimentación proveniente del tablero de distribución, tanto 125 VDC como 120 VAC. Además de la fuente (PS) encargada de convertir 125 VDC a 24 VDC y disyuntores de protección para cada voltaje.
2. Switch ethernet como medio de comunicación entre los plcs.
3. El rack cuenta con 4 módulos enlistados en la Tabla 23:

Tabla 23

Distribución de módulos tablero de drenaje

Serie	Descripción
171CCC98030	Adaptador de procesador, 1 puerto Ethernet, 1 puerto Modbus – 50Mhz.
172PNN21022	Modicon Momentum adaptador de opción Modbus Plus
170ADM39030	Módulo de entradas (10) y salidas (8) discretas a relé Modicon Momentum
170AMM09000	Módulo de entradas (8) y salidas (6) distribuidas

4. Relés auxiliares, encargados de emitir o transmitir las señales de activación de las bombas hacia el tablero de servicios generales.
5. Módulo de control de corriente alterna, alimentado por bucle de corriente de 4 - 20 mA del lado de la salida. Utiliza en medir el nivel existente en el canal de descarga de agua de la central.
6. Transformador reductor de 220 a 110 VAC.

7. Guardamotores (Q10, Q11, Q13) de protección electromecánico para el circuito principal. Se lo utiliza principalmente para arrancar y proporcionar a los fusibles menos protección contra cortocircuitos, sobrecargas y fallos de la fase.

8. Contactores (K1, K2, K3) LC1-DO9F7, para arrancar las bombas de drenaje de agua.

9. Relés térmicos LRD33 empleados para como medio de protección contra las sobrecargas y calentamientos, se activa al existir una sobrecorriente en los compresores o en un estado anormal.

Diseño del nuevo tablero de control

Requisitos del tablero de control

El tablero de control diseñado se realizó en base a los requerimientos por parte de la Empresa Eléctrica Quito. Los cuales son:

- La alimentación eléctrica será adquirida desde el tablero de distribución ubicado en la sala de control de la Central Hidroeléctrica Nayón.
- Disyuntores de protección de 110 VAC, 10 A; 125 VDC 10 A, 24 VDC, 20 A.
- Supresores de transientes destinados a la protección contra sobrecorrientes (elevaciones de voltaje instantáneas) y picos de voltaje generados en la red.
- Convertidores eléctricos rackeables de 110 VAC a 24 VDC, conectados mediante un quint diode, a fin de acoplar en paralelo fuentes de alimentación, con miras a un sistema redundante.
- Inversor rackeable de 125 VDC a 120 VAC, para la alimentación del servidor.
- Servidor rackeable.

- Sistema de ventilación conjuntamente con su control de temperatura (termóstato).
- Iluminación dentro del tablero.
- Tomacorriente 110 VAC.
- Conexión de borneras de un nivel con fusibles.
- Dimensionado de los dispositivos establecidos en la nueva arquitectura de control.

Elaboración de planos eléctricos

La distribución de los elementos en el nuevo tablero se da conocer continuación en la Figura 53. Seguidamente, en la Figura 54 se presenta la lista final de materiales entregada a la Empresa Eléctrica Quito.

Figura 53

Elementos que conforman el Nuevo tablero de control M580

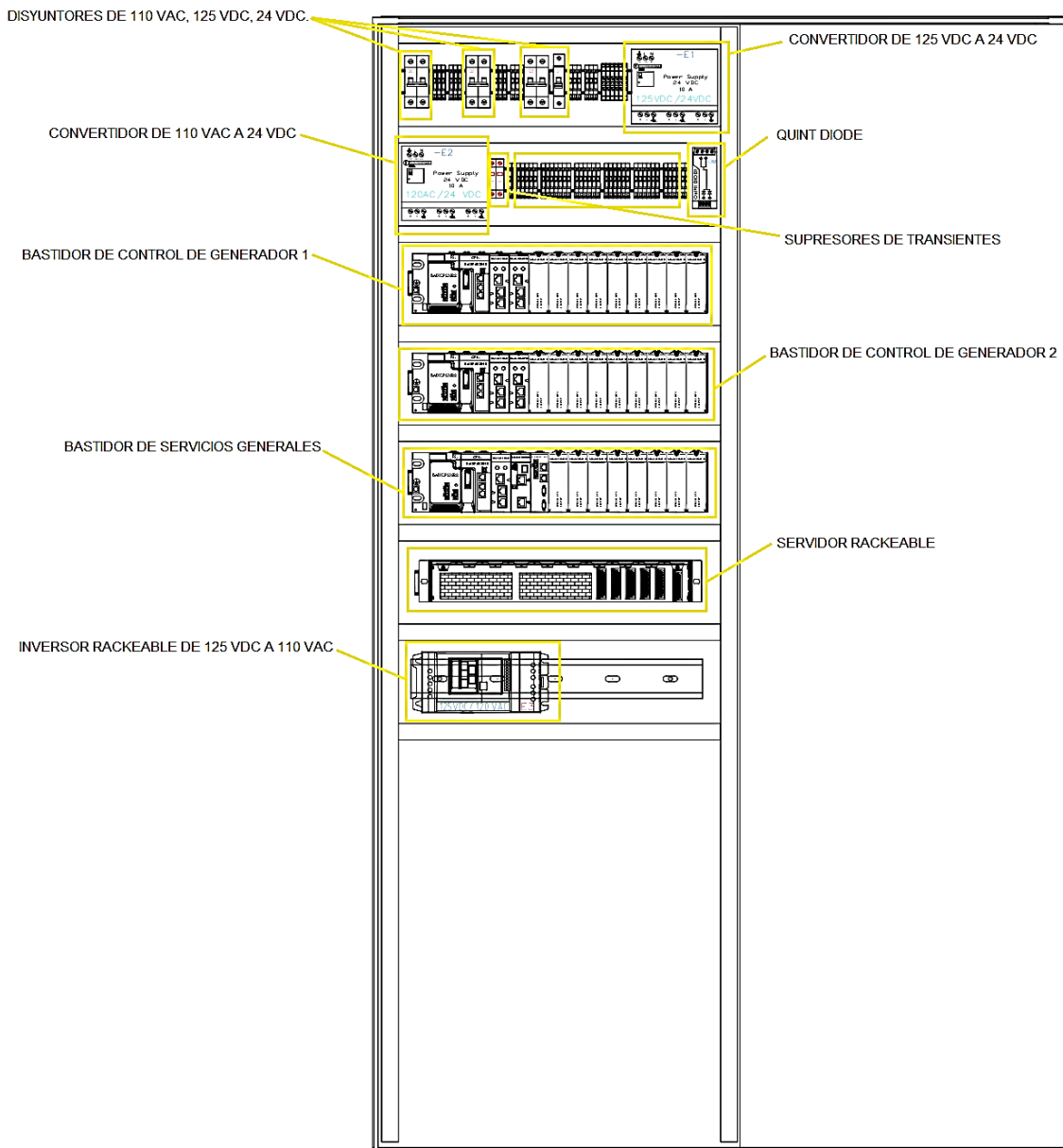


Figura 54

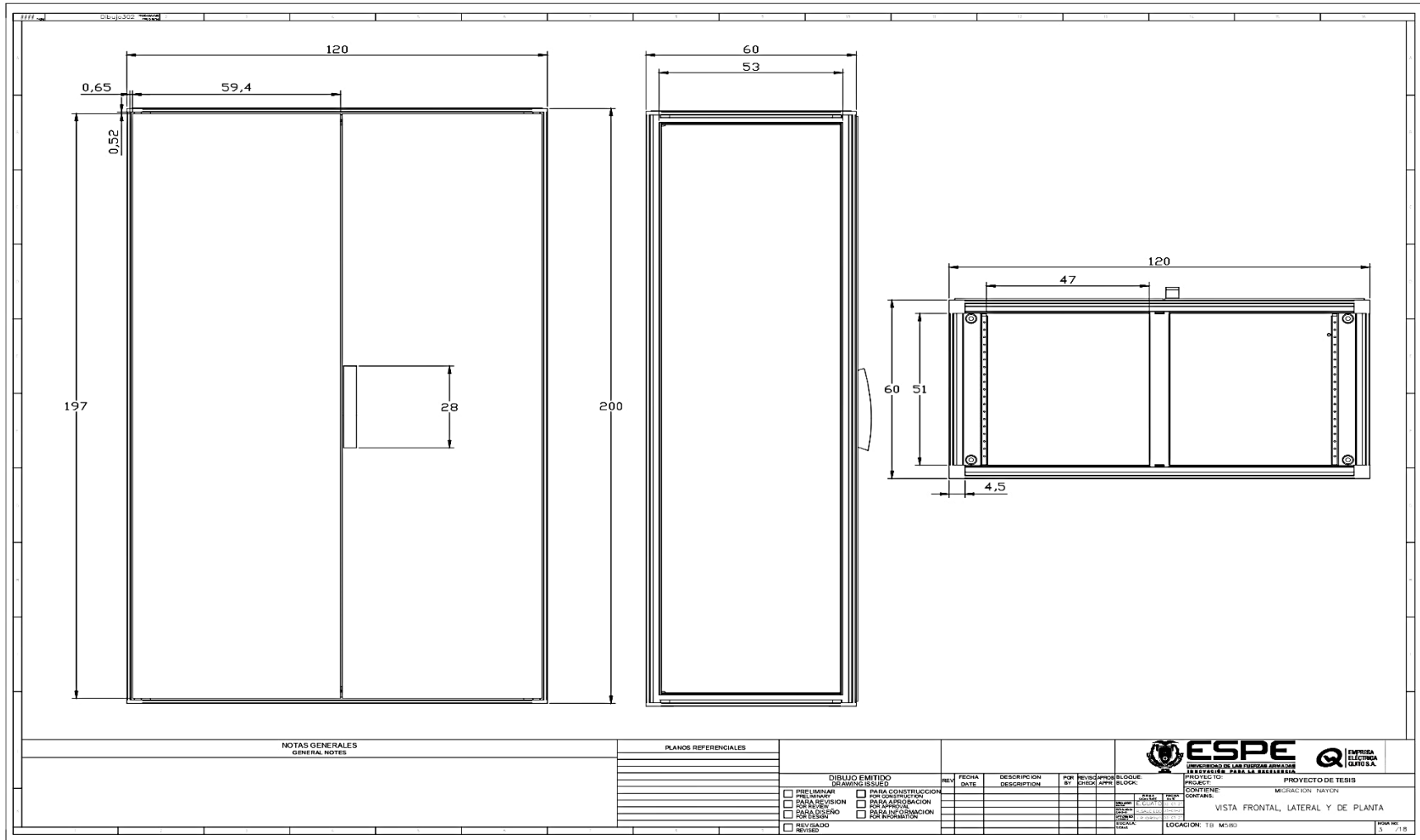
Listado de materiales del Nuevo tablero

LISTADO DE COMPONENTES									
TAGS	CANTIDA	CATALOGO	DESCRIPCION	HQJA	TAGS	CANTIDA	CATALOGO	DESCRIPCION	HQJA
Q1	1	EGS1030FFG	CIRCUIT BREAKER - E125 FRAME EATON 1-POLE CIRCUIT BREAKER 30AMPS TYPE E125S, FIXED THERMAL & MAGNETIC TRIP 347VAC, 125VDC, 30AMPS	6	SF1	1	XCKJ1167H29	LIMIT SWITCH XCKJ - steel roller plunger reinforced - 1C/O - snap action - M20 SCHNEIDER ELECTRIC 305mm EXTENDED BLUE 1 NO 110 VAC	8
Q0	2	11589	MINIATURE CIRCUIT BREAKER MULTI 9 - C45N - 2 POLES - 10A C MERLIN GERIN 2-POLE MINIATURE CIRCUIT BREAKER 10AMPS	6		3	BNE NDC 0301	MS80 COMMUNICATION ETHERNET MODULE MDDICDN MS80 COMMUNICATION 3 ETHERNET, CONNECTOR TYPE RJ45, TRANSMISSION RATE: 10/100 Mbit/s	12
Q3	1	11592	MINIATURE CIRCUIT BREAKER MULTI 9 - C45N - 2 POLES - 20A C MERLIN GERIN 2-POLE MINIATURE CIRCUIT BREAKER 20AMPS	6		3	BNE XBP 1200	MS80 RACK MDDICDN MS80 RACK 12 MODULE SLOTS	12
ST2	1	VSPC 1C 24VDC	Surge protection for instrumentation and control, 24 V, 450 mA, IEC 61643-21, HART-compatible WEIDMULLER VSPC ICL 24VDC 24 V, 450 mA	6		3	BNEP502040	MS80 PROCESSOR MODULE - REMOTE MDDICDN MS80 PROCESSOR BLOCK, 2 ETHERNET TCP/IP, RIO/DIO	14
LF1	1	EM-110-C34	Lámpara LED tubular de 4ft (120 cm) ENERMOTECH LAMPARA 110 V CA 95-265 V CA	8		3	BMX EPS 3522	MS80 POWER SUPPLY MODULE - MDDICDN MS80 POWER SUPPLY	12
SRV1	1	ProLiant DL180	Servidor para rack HPE ProLiant DL180 Gen10 con un procesador Intel® Xeon® 3204 HPE SERVER 110 VAC	8		2	BMX NDM 0200	SERIAL LINK MODULE WITH 2 RS-485/232 PORTS IN MODBUS AND CHARACTER MODE MDDICDN MS80 SERIAL RS232 RJ45 115.2 kbit/s 8 WIRES, RS485 RJ45 57.6 kbit/s 1 TWISTED PAIR	13
E3	1	ND125-1101	Current inverter, 1KVA, output 125VDC Input 110VAC JETPOWER INVERTER OUTPUT 110VAC INPUT 100-150VDC	6		1	BMX NDR 0200H	MS80 ETHERNET/SERIAL RTU MODULE - 2 x RJ45 MDDICDN MS80 COMMUNICATION PROTOCOL IP BNP3/BNP3, ETHERNET RJ45 10/100 Mbit/s, RS232/485 SERIE RJ45 300/30400 bit/s	12
V1	1	RSKV08115	VENTILADOR CON FILTRO RSKV08115 115V 12/15M3/H 106.5X106.5MM LAUMAYER VENTILADOR 115 VAC FLUIDO DE AIRE 12-15m3/h	8		26	BMX XEM 010	PROTECTIVE COVER MS80 MDDICDN MS80 PROTECTIVE COVER - FOR UNOCCUPIED SLOTS ON MS80 RACK	11
DM	1	2907719	QUINT4-DIODE/12-24DC/2X20/1X40 PHENIX CONTACT QUINT DIODE IN 12 VDC .. 24 V DC, OUT 12 VDC .. 24 V DC 20A	6		1	TCSEGD823F24FA	MODBUS PLUS PRDXY MODULE MDDICDN MS80 MODBUS PLUS ETHERNET MODBUS TCP TO MODBUS PLUS	16
E1	2	ABLS1A24100	Regulated Power Supply, 100-240V AC, 24V 10 A, single phase, Optimized SCHNEIDER ELECTRIC POWER SUPPLY IN 95-264 V AC, 120-375 V DC OUT 24 V DC 10 A	6		1	140CRA31200	ETHERNET DROP ADAPTOR MDDICDN QUANTUM SPECIAL	15
TC1	1	PRE16047	TENACORRIENTE DOBLE 15 A VETD SWITCH 110V AC 110V AC	8		2	140CRA31908	RIO DROP ADAPTER MDDICDN QUANTUM SPECIAL	14
ST1	1	1351630000	Surge Protection VPU III R 120V/6KV AC/DC WEIDMULLER SURGE PROTECTION 120V/6KV AC/DC 16A	6		5	1SNA 146 05R1400	TERMINAL TERMINAL BLOCK - EXPLOSIVE ATMOSPHERE - HA 2.5/5NEx FEED-THROUGH 24AMPS BLUE BODY, 22-16AWG COMPRESSION CLAMP	6
						X0	0199 19023	TERMINAL BLOCK INSULATION DISPLACEMENT WITH FUSE - D4/B.SF.ADD	6
						X1		ENTRELEC FEED-THROUGH 10AMPS GREY BODY, 22-16AWG (ADD) A.D.O. - COMPRESSION CLAMP	6
						X2			6
						X3			6
						X4			6
						X5			6

NOTAS GENERALES GENERAL NOTES		PLANOS REFERENCIALES		DISIÑO EMITIDO DRAWING ISSUED		PROYECTO: PROYECTO DE TESIS	
				<input type="checkbox"/> PRELIMINAR <input type="checkbox"/> PARA REVISIÓN <input type="checkbox"/> PARA EMISIÓN <input type="checkbox"/> REVISADO <input type="checkbox"/> REVISADO <input type="checkbox"/> PARA REVISIÓN <input type="checkbox"/> PARA EMISIÓN <input type="checkbox"/> PARA EMISIÓN <input type="checkbox"/> PARA EMISIÓN		MIGRACION TABLERO LISTADO DE ELEMENTOS DEL TABLERO LOCALACION: TB MS80	

Figura 55

Vista frontal lateral y de planta del nuevo tablero



NOTAS GENERALES
GENERAL NOTES

PLANOS REFERENCIALES

- DIBUJO EMITIDO
DRAWING ISSUED
- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> PRELIMINAR
PRELIMINARY | <input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION
FOR CONSTRUCTION |
| <input type="checkbox"/> PARA DEFINICION
FOR DEFINITION | <input type="checkbox"/> PARA APROBACION
FOR APPROVAL |
| <input type="checkbox"/> PARA DISEÑO
FOR DESIGN | <input type="checkbox"/> PARA INFORMACION
FOR INFORMATION |
| <input type="checkbox"/> REVISADO
REVISED | |

REV	FECHA DATE	DESCRIPCION DESCRIPTION	POR BY	REVISADO CHECK	APROBADO APPR	BLOQUEO BLOCK

ESPE EMPRESA ELECTROTECNICA QUITO S.A.

PROYECTO DE TESIS
MIGRACION TAYON

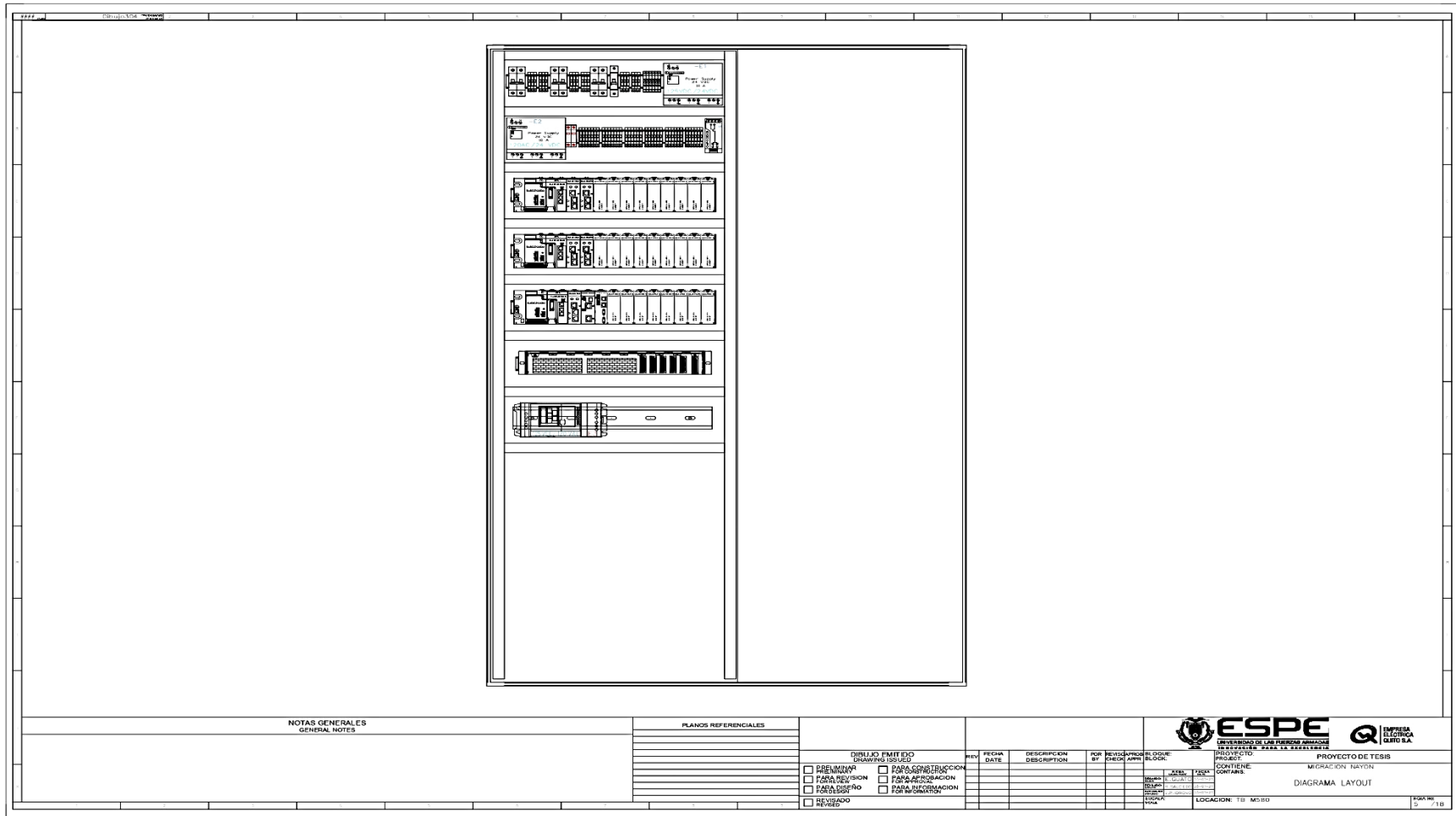
VISTA FRONTAL, LATERAL Y DE PLANTA

LOGICACION: 10 M380

BOA No: 5 / 18

Figura 56

Diagrama layout del nuevo tablero de control



NOTAS GENERALES
GENERAL NOTES

PLANOS REFERENCIALES

- DIBUJO EMITIDO
DRAWINGS ISSUED
- PRELIMINAR
 - PARA REVISION
 - PARA DISEÑO
 - REVISADO
 - PARA CONSTRUCCION
 - PARA REPOSICION
 - PARA INFORMACION

REV.	FECHA DATE	DESCRIPCION DESCRIPTION	FOR BY	REVISADO CHECK	APROBADO APPR	BLOQUE BLOCK



ESPE
SERVICIOS DE ENERGIA ELECTRICA
REDES Y SISTEMAS DE TRASMISION

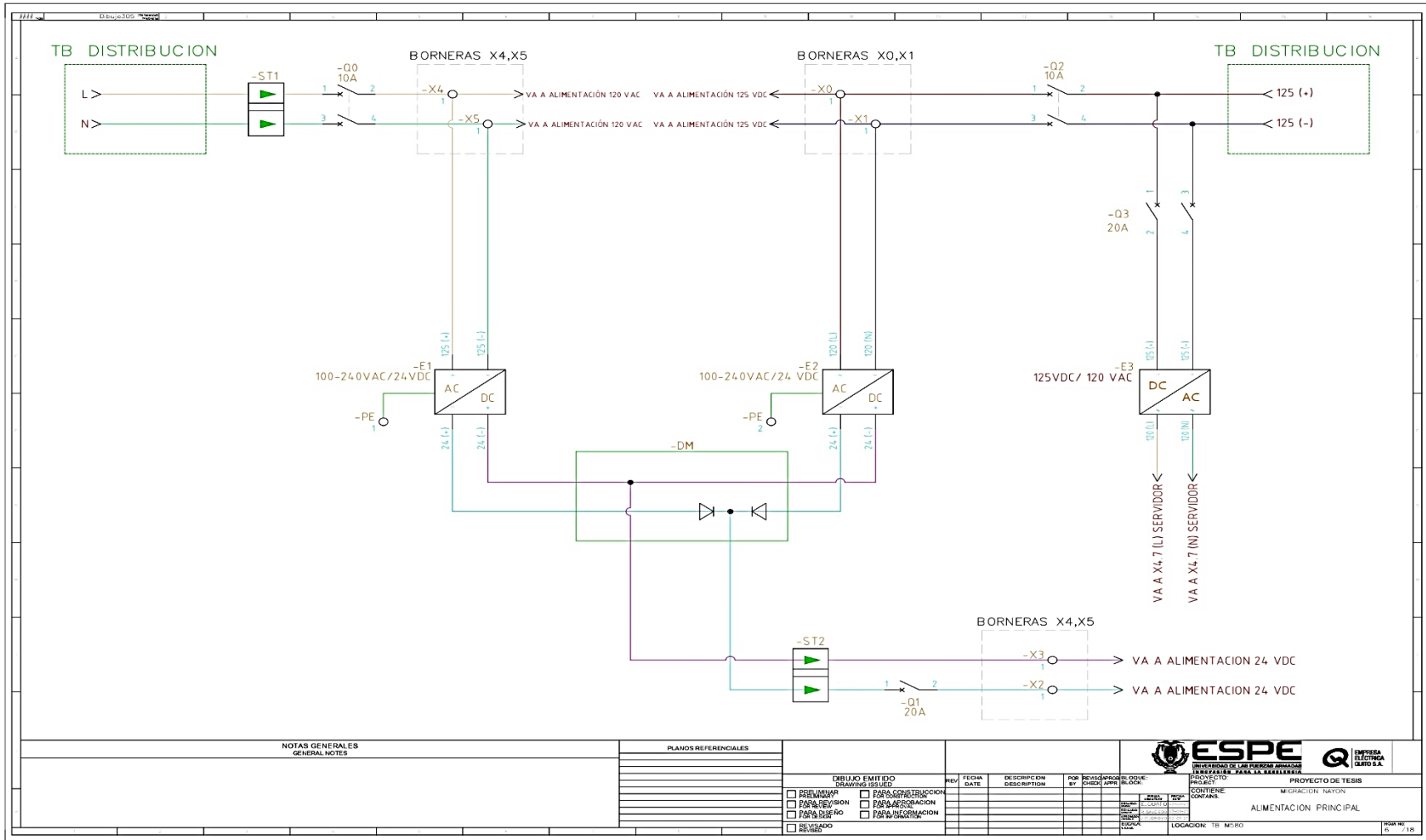


LUZ DE GAS
SERVICIOS DE ENERGIA ELECTRICA

PROYECTO DE TESIS
CONTIENE: MIGRACION TABLERO
DIAGRAMA LAYOUT
LOCALIZACION: T-0 M-000

Figura 57

Plano eléctrico alimentación principal



NOTAS GENERALES
GENERAL NOTES

PLANOS REFERENCIALES

DIBUJO EMITIDO DRAWINGS ISSUED		FECHA DATE	DESCRIPCION DESCRIPTION	POR BY	REVISADO CHECKED	APROBADO APPROVED
<input type="checkbox"/>	PRELIMINAR					
<input type="checkbox"/>	PARA DISTRIBUCION					
<input type="checkbox"/>	PARA REVISION					
<input type="checkbox"/>	PARA EJECUCION					
<input type="checkbox"/>	REVISADO					
<input type="checkbox"/>	REVISADO					

FECHA DATE	DESCRIPCION DESCRIPTION	POR BY	REVISADO CHECKED	APROBADO APPROVED



PROYECTO DE TESIS MIGRACION NATON	CONTIENE CONTAINS
ALIMENTACION PRINCIPAL	
LOGICACION: TB M380	FORMA NO: 5 / 18

Figura 58

Plano eléctrico alimentación 125 VDC

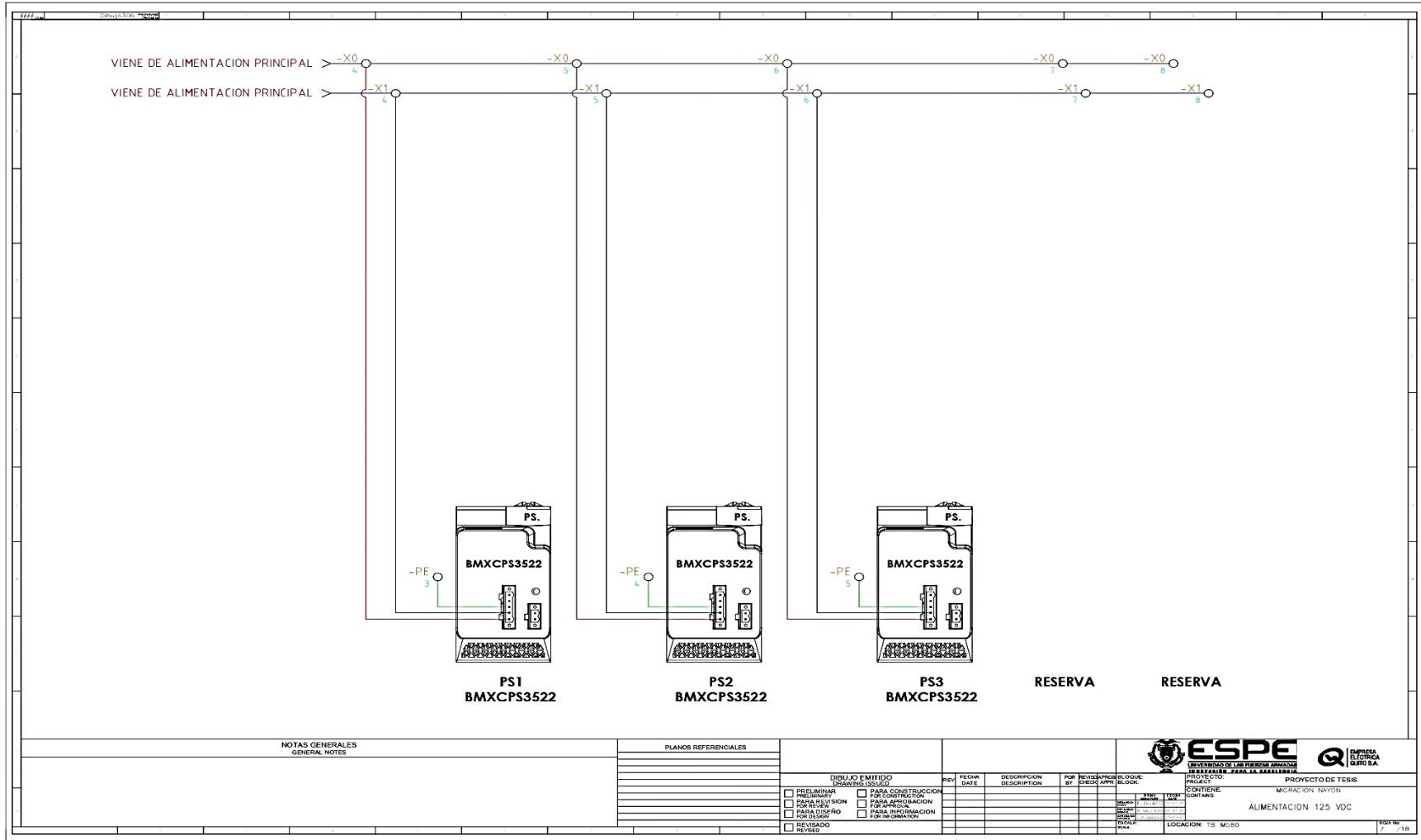


Figura 59

Plano eléctrico alimentación 120 VAC

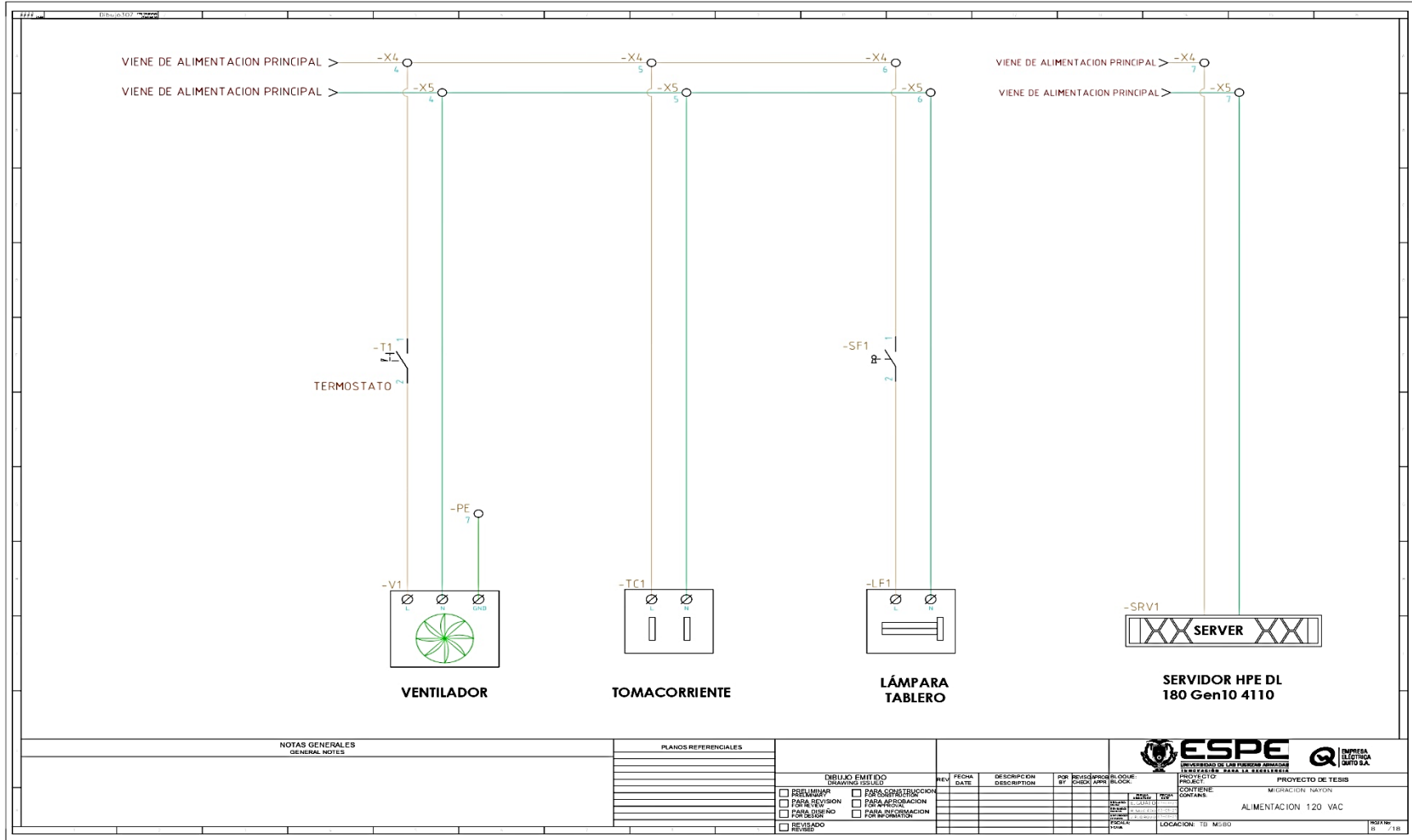


Figura 60

Distribución de módulos generador 1

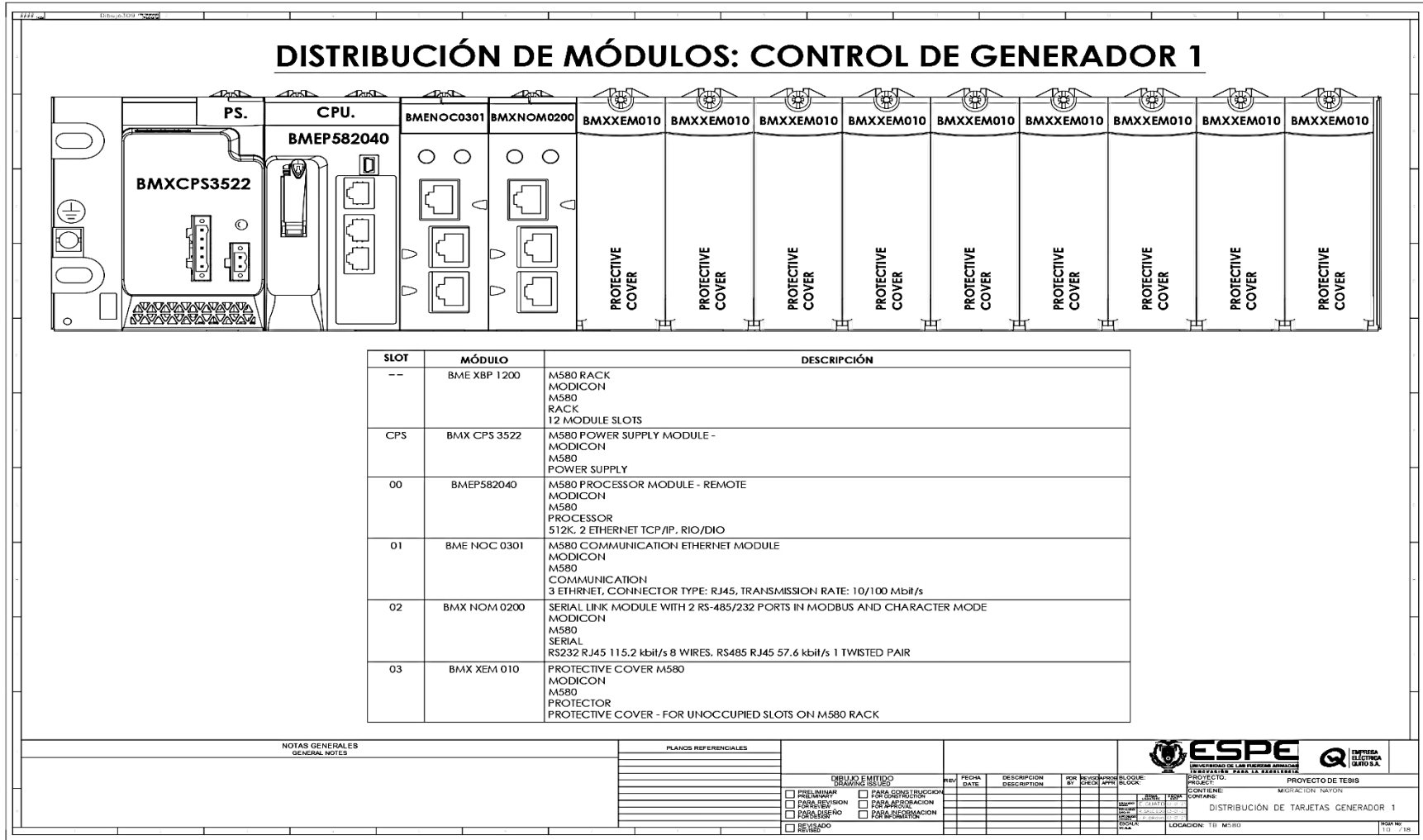


Figura 61

Distribución de módulos generador

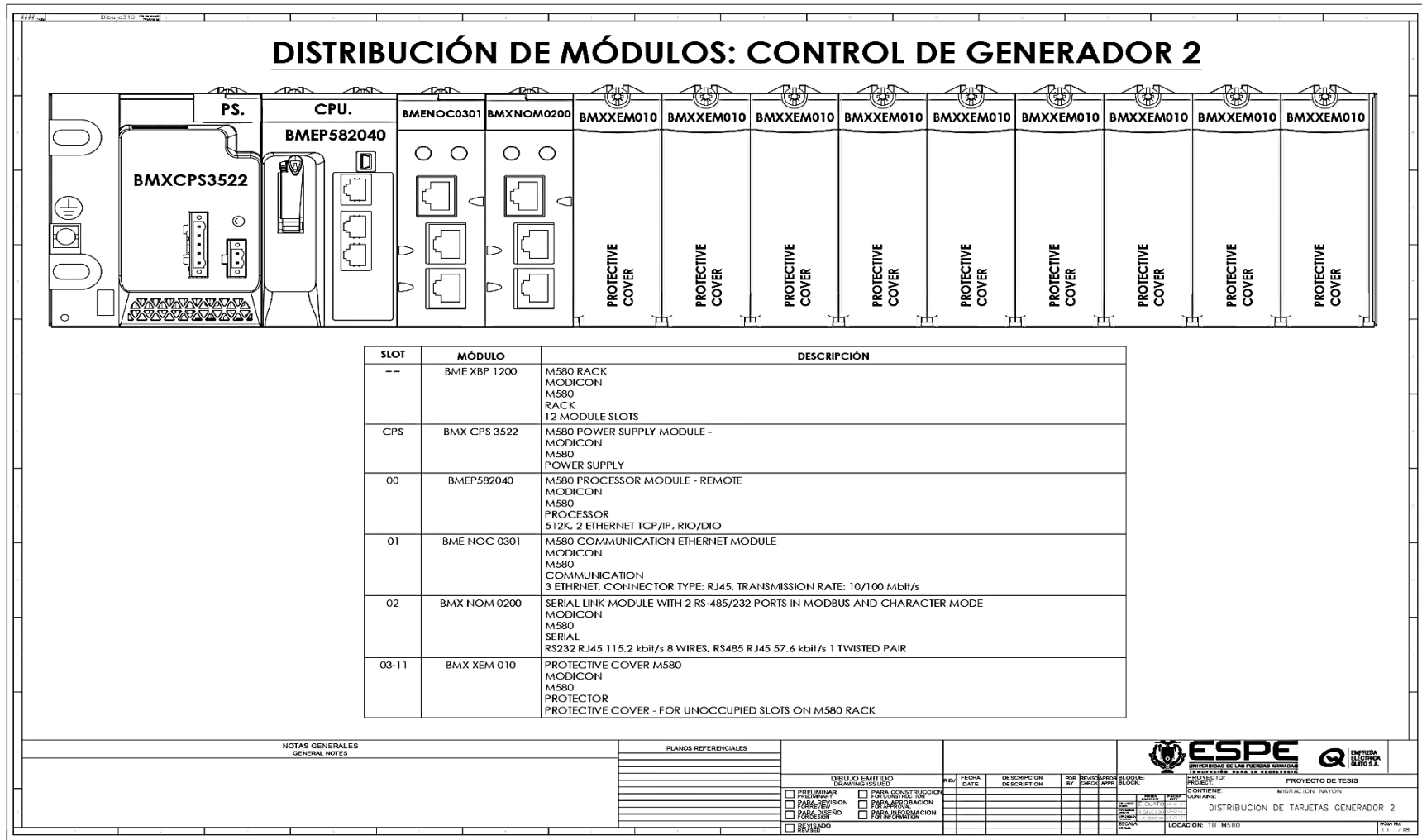
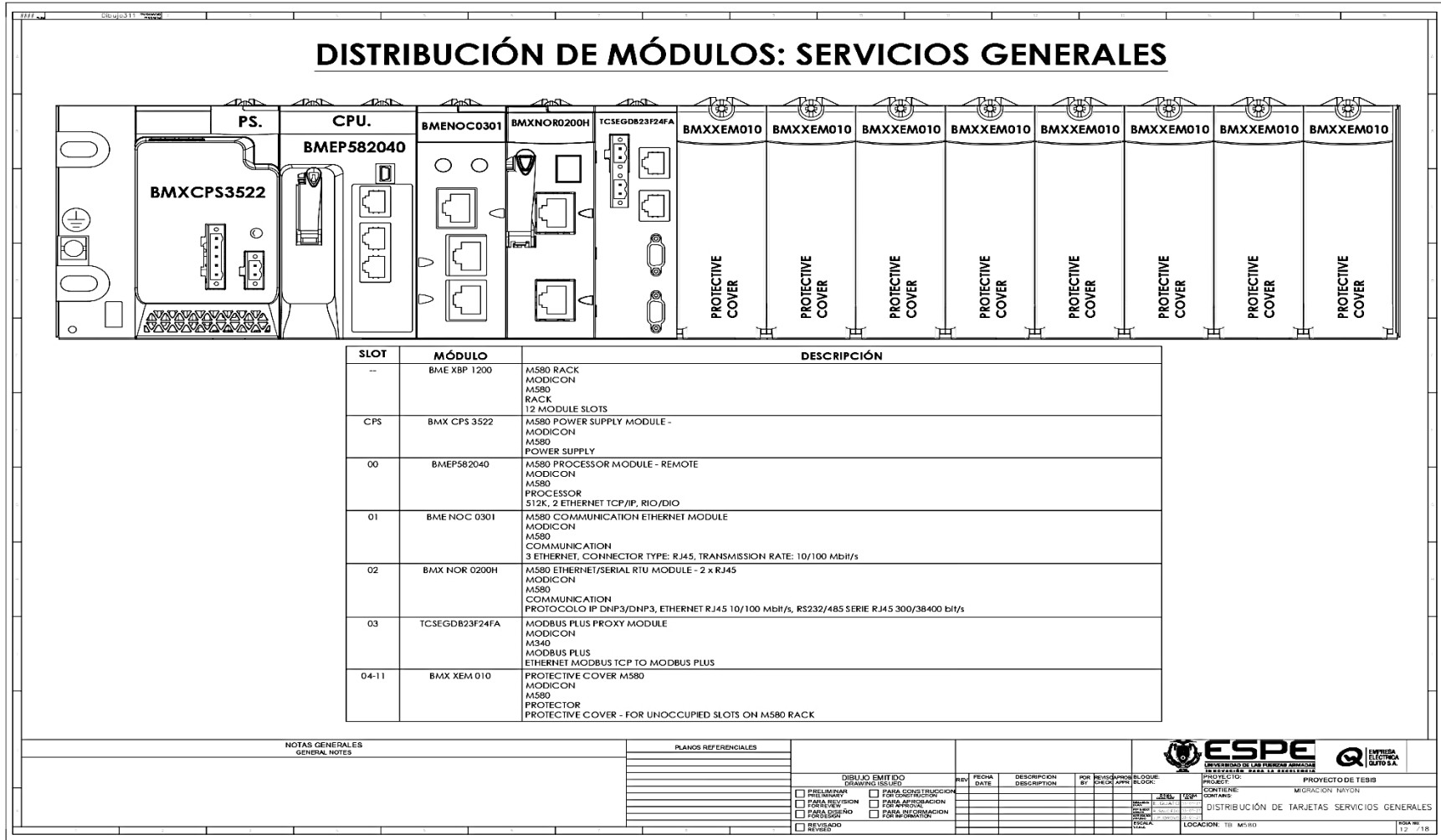


Figura 62

Distribución de módulos servicios generales



Capítulo V

Desarrollo del software

Lógica de control

Requisitos de la nueva lógica de control

El diseño de la nueva lógica de control, se encuentra establecido en base a los requerimientos dictados por parte de la Empresa Eléctrica Quito. Los cuales son:

- La puesta en marcha de la unidad será a través de pasos o secuencias.
- El operador podrá poner en marcha la unidad ejecutando todas las secuencias paso a paso o en automático.
- Los disparos son interrupciones por lo que cuando aparezcan el PLC dejará de ejecutar la secuencia normal para atender las interrupciones, por lo tanto son de prioridad No. 1.
- El operador siempre debe saber en qué paso y qué secuencia está ejecutando el PLC.
- El operador siempre debe saber la causa de una parada no programada de la unidad.
- El operador siempre debe saber las condiciones requeridas para poner en marcha la unidad.
- Cualquier disparo, evento, condición inicial o permanente se pueden forzar desde el SCADA.

Elaboración de la nueva lógica de control

Las fases de generación en la central hidroeléctrica Nayón son:

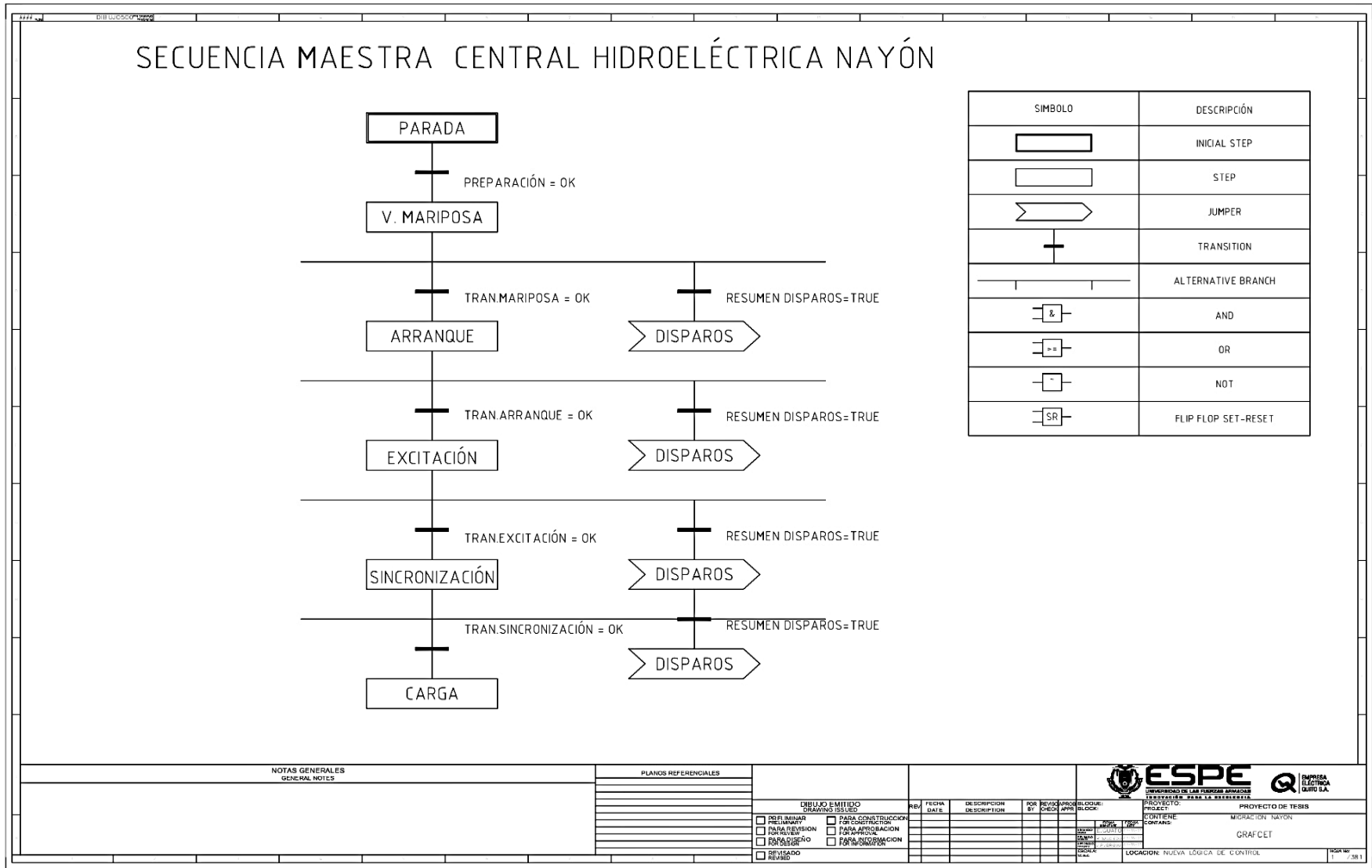
- Parada
- Válvula mariposa
- Arranque
- Excitación
- Sincronización
- Carga

No obstante, para que exista un paso a otra fase se debe verificar la transición que precede a la misma. Evidentemente cada transición se activará únicamente si las condiciones inmersas son correctas y por supuesto si no existiesen fallas o disparos.

En la Figura 63, se aprecia la secuencia maestra que relaciona las fases de generación mencionadas previamente. Cabe recalcar, la importancia de los disparos dentro de dicho proceso, ya que expresan fallas que conllevan a un paro del generador.

Figura 63

Grafcet de secuencia maestra



- Preparación

Seguidamente en la Figura 64, se puede apreciar la fase preparación antes de entrar a la fase de válvula mariposa. Es decir, se evidencia la existencia de condiciones iniciales, las mismas se han enlistado en la Tabla 24. Además de cumplirse estas condiciones no deben existir fallas eléctricas (86_1), mecánicas (86_2) o rápidas (86_3).

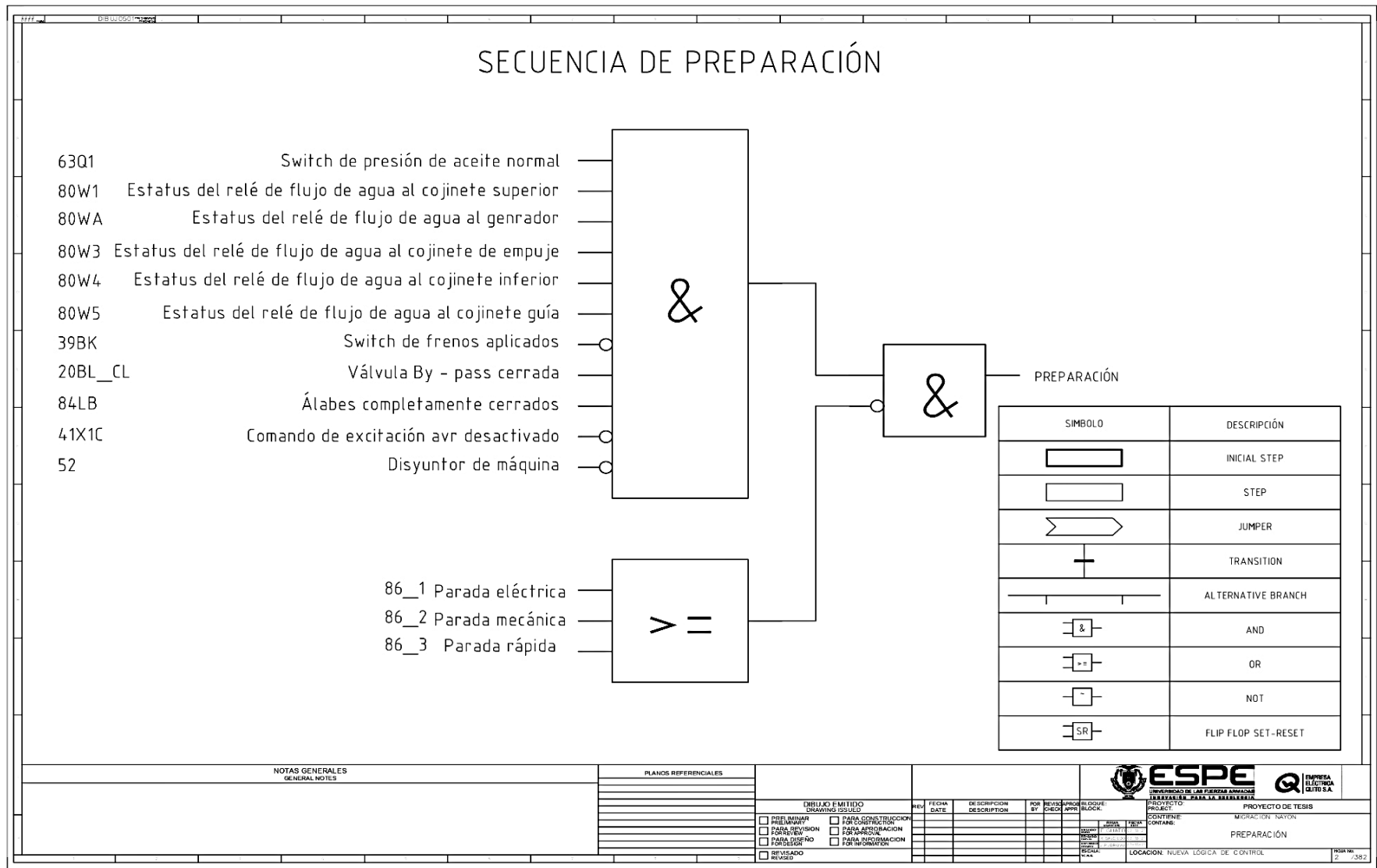
Tabla 24

Condiciones previas a la activación de la fase de preparación

Numeración ANSI	Descripción	Estado
63Q1	Switch de presión de aceite normal	On
80W1	Estatus del relé de flujo de agua al cojinete superior	On
80WA	Estatus del relé de flujo de agua al generador	On
80W3	Estatus del relé de flujo de agua al cojinete de empuje	On
80W4	Estatus del relé de flujo de agua al cojinete inferior	On
80W5	Estatus del relé de flujo de agua al cojinete guía de turbina	On
39BK	Switch de frenos aplicados	Off
20BLS_CL	Válvula by-pass cerrada	On
84LB	Álabes completamente cerrados	On
41X1C	Comando de excitación desde AVR desactivado	Off
52	Disyuntor de máquina	Off

Figura 64

Diagrama FBD secuencia de preparación



- Válvula Mariposa

En la Figura 65, se puede apreciar la fase válvula mariposa, en la cual se establecen condiciones previas para su activación, las mismas se dan a conocer en la Tabla 25: Cabe recalcar que no debe estar activado ningún relé de bloqueo (86_1, 86_2, 86_3):

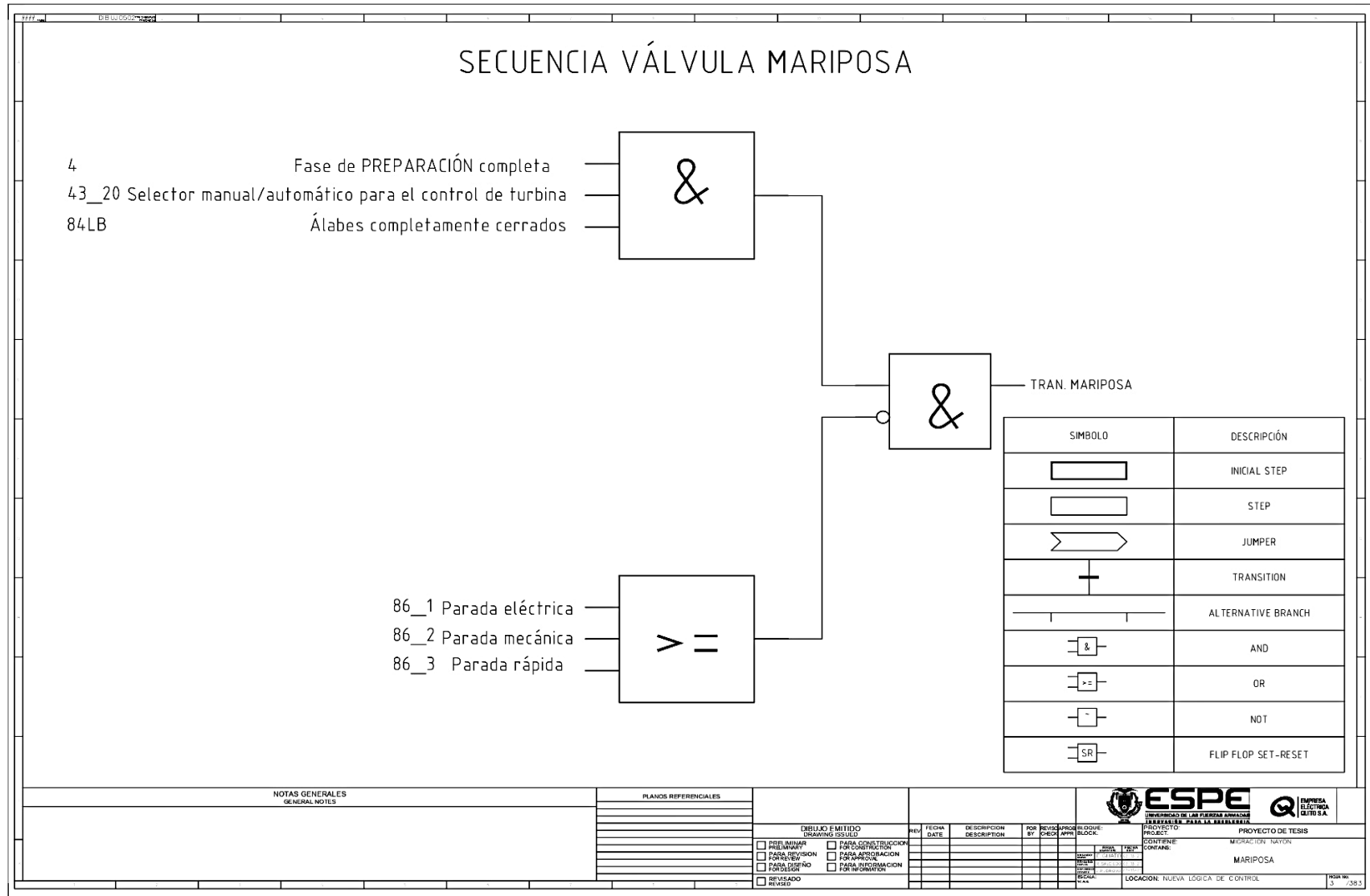
Tabla 25

Condiciones previas a la activación de la fase de válvula mariposa

Numeración ANSI	Descripción	Estado
4	Fase de preparación completa	On
43_20	Selector manual / automático para el control de la turbina	On
84LB	Álabes completamente cerrados	On

Figura 65

Diagrama FBD secuencia válvula mariposa



- Arranque

En la Figura 66, se puede apreciar la fase de arranque, en la cual se establecen condiciones previas para su activación, las mismas se dan a conocer en la Tabla 26.

Cabe recalcar que no debe estar activado ningún relé de bloqueo (86_1, 86_2, 86_3):

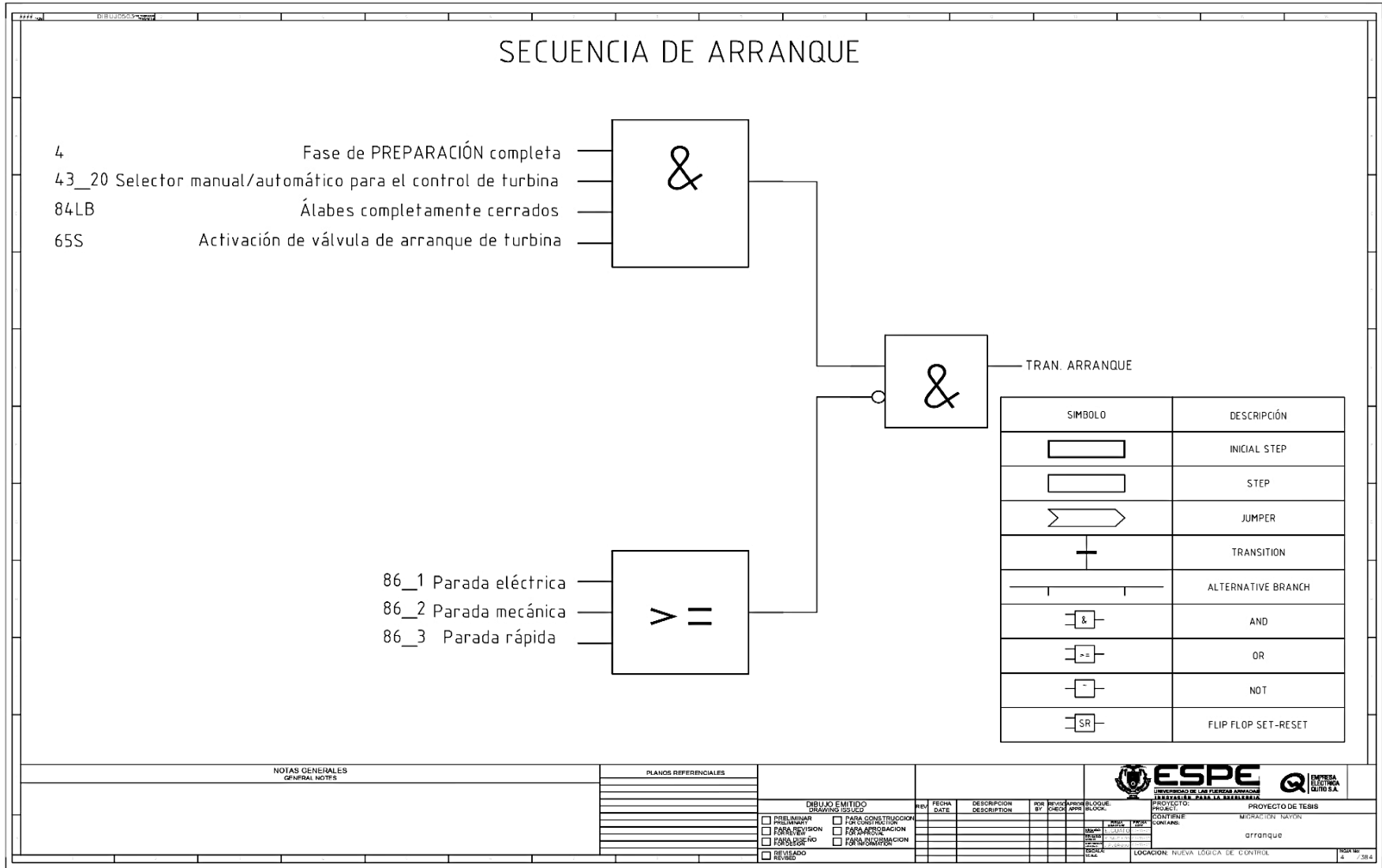
Tabla 26

Condiciones previas a la activación de la fase de arranque

Numeración ANSI	Descripción	Estado
4	Fase de preparación completa	On
43_20	Selector manual / automático para el control de la turbina	On
84LB	Álabes completamente cerrados	On
65S	Activación de la válvula de arranque de turbina	On

Figura 66

Diagrama FBD secuencia de arranque



- Excitación

En la Figura 67, se puede apreciar la fase de excitación, en la cual se establecen condiciones previas para su activación, las mismas se dan a conocer en la Tabla 27.

Cabe recalcar que no debe estar activado ningún relé de bloqueo (86_1, 86_2, 86_3):

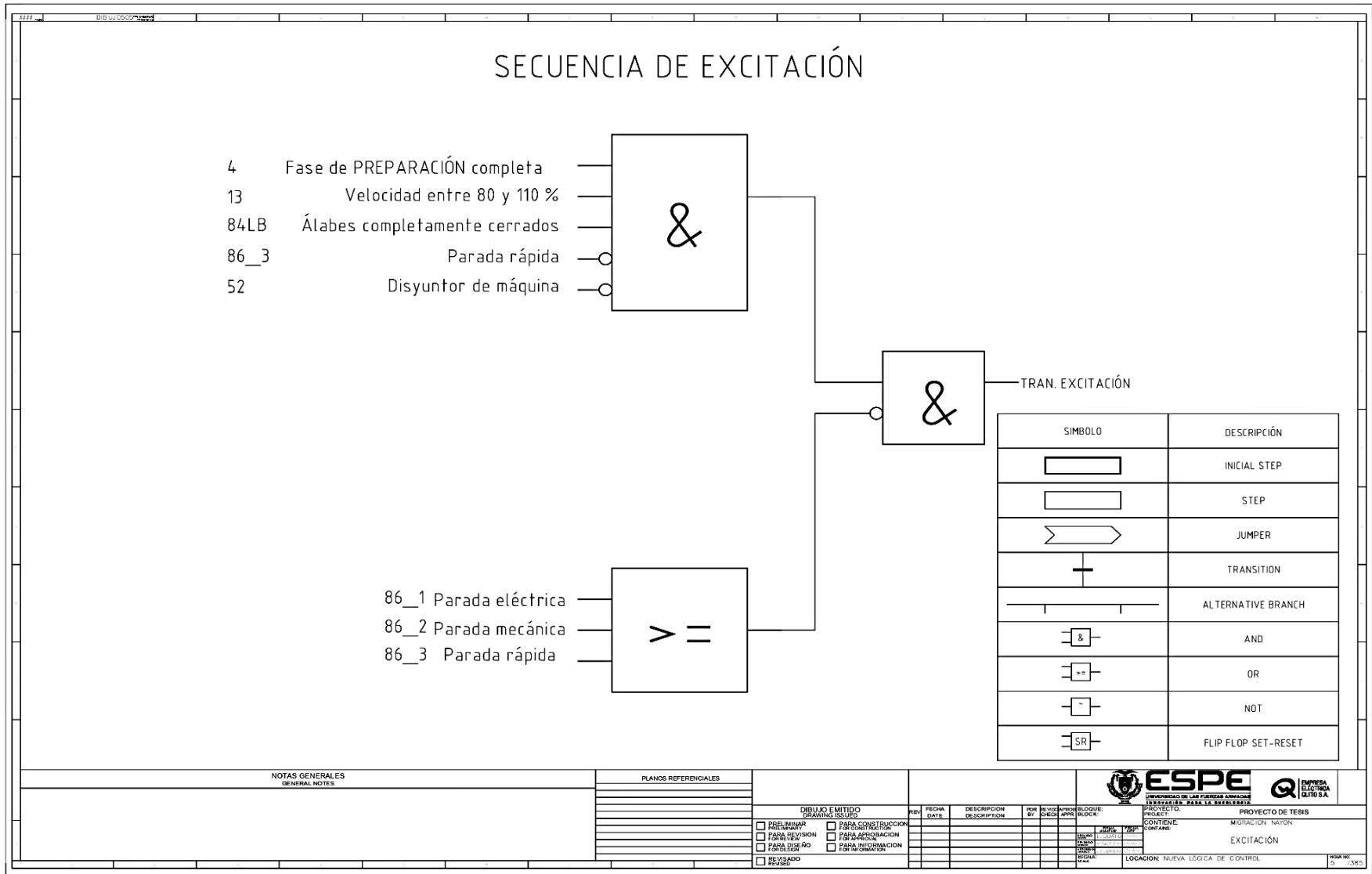
Tabla 27

Condiciones previas a la activación de la fase de excitación

Numeración ANSI	Descripción	Estado
4	Fase de preparación completa	On
13	Velocidad entre 80 y 110 %	On
84LB	Álabes completamente cerrados	On
86_3	Parada rápida	Off
52	Disyuntor de máquina	Off

Figura 67

Diagrama FBD secuencia de excitación



- Paralelo

En la Figura 68, se puede apreciar la fase de paralelo, en la cual se establecen condiciones previas para su activación, las mismas se dan a conocer en la Tabla 28.

Cabe recalcar que no debe estar activado ningún relé de bloqueo (86_1, 86_2, 86_3):

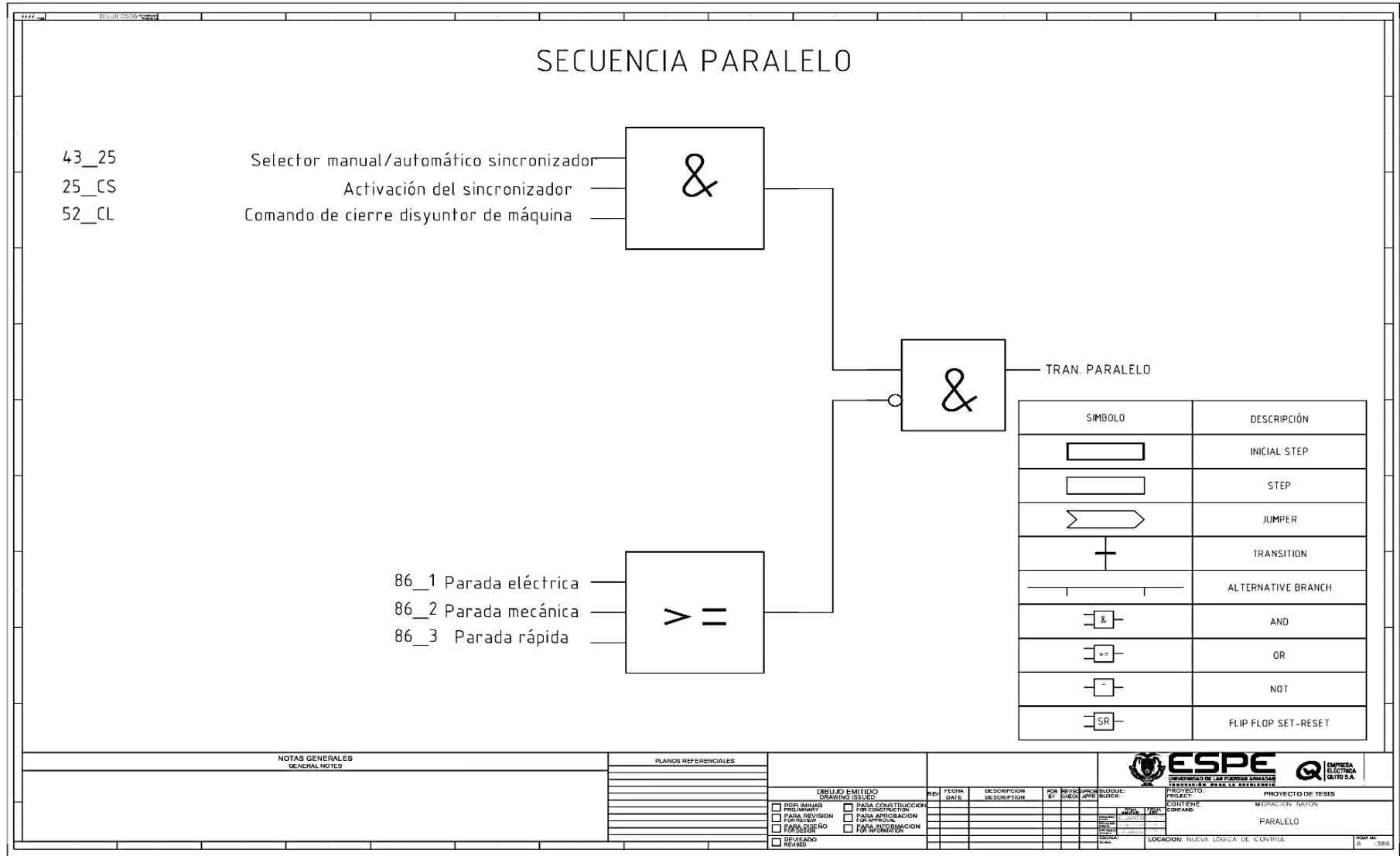
Tabla 28

Condiciones previas a la activación de la fase de paralelo

Numeración ANSI	Descripción	Estado
43_25	Selector auto/manual del sincronizador	On
25_CS	Activación del sincronizador	On
52_CS	Comando de cierre disyuntor de máquina	On

Figura 68

Diagrama FBD secuencia paralelo



- Carga

En la Figura 69, se puede apreciar la fase de carga, en la cual se establecen condiciones previas para su activación, las mismas se dan a conocer en la Tabla 29. Cabe recalcar que no debe estar activado ningún relé de bloqueo (86_1, 86_2, 86_3):

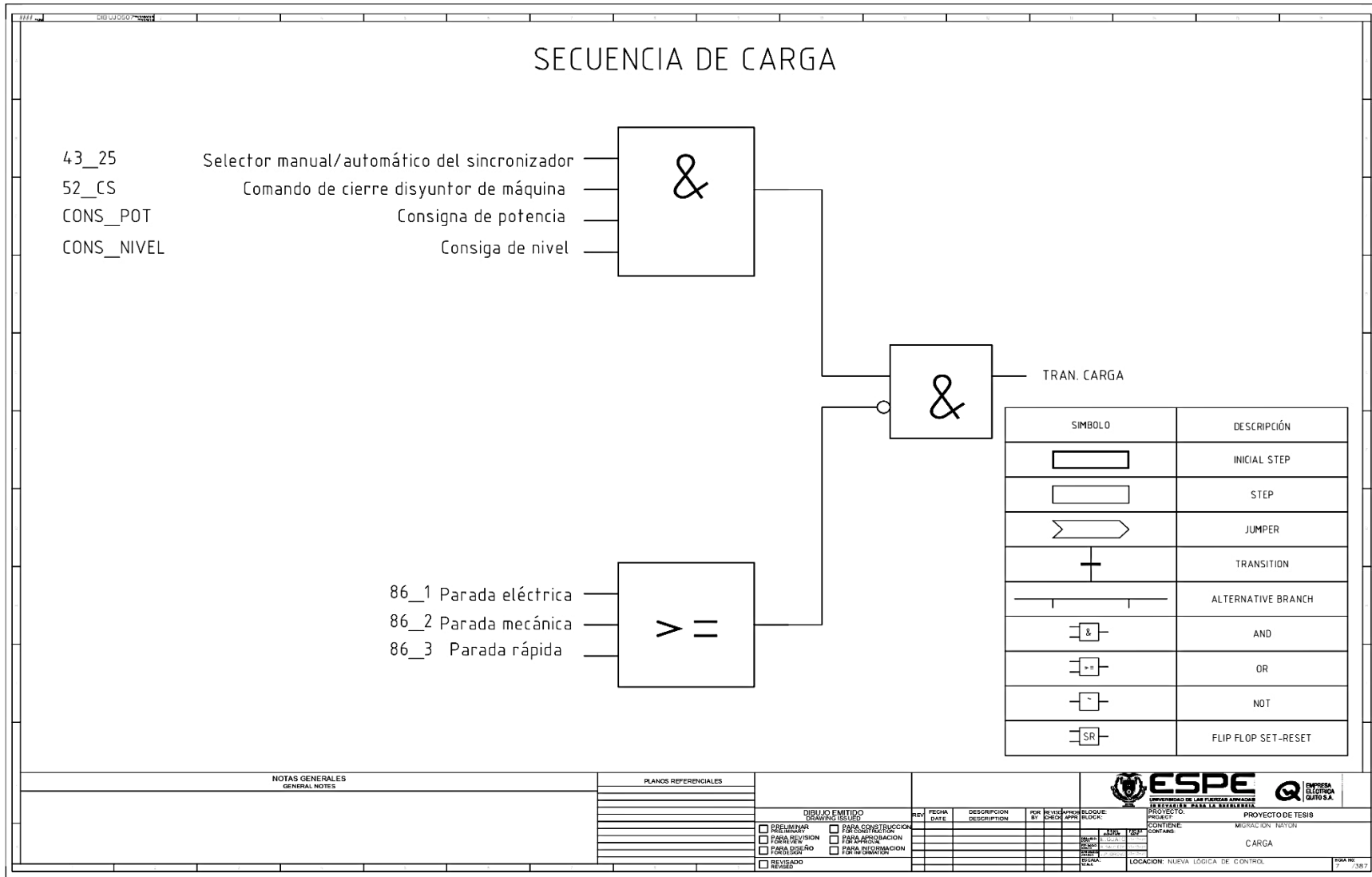
Tabla 29

Condiciones previas a la activación de la fase de carga

Numeración ANSI	Descripción	Estado
43_25	Selector auto/manual del sincronizador	On
52_CS	Comando de cierre disyuntor de máquina	On
CONS_POT	Consigna de potencia	On
CONS_NIVEL	Consigna de nivel	On

Figura 69

Diagrama FBD secuencia de carga



- Parada eléctrica (86_1)

Si por algún motivo existiese este tipo de parada sería causada por las protecciones en listadas en la Tabla 30. Evidentemente existe un efecto, es decir, acciones secuenciales a tomar en presencia de este proceso las cuales son:

- Abrir el disyuntor de máquina (52)
- Desconectar el AVR, y por ende la excitación.
- Cerrar álabes, evitando en ingreso de agua al rodete.

Tabla 30

Causas para la activación del relé de bloqueo 86_1

Numeración ANSI	Descripción
87K	Diferencial del transformador
87G	Diferencial del generador
64G	Sobrecorriente a tierra del generador
5E	Parada de emergencia manual
90F	Falla regulador automático de voltaje
65F	Falla regulador automático de velocidad

- Parada mecánica (86_2)

De igual manera si por algún motivo existiese este tipo de parada sería causada por las protecciones en listadas en la Tabla 31. No obstante las acciones secuenciales en presencia de este proceso son:

- Reducir carga (MW)

- Abrir el disyuntor de máquina (52)
- Desconectar el AVR, y por ende la excitación.
- Cerrar álabes, evitando en ingreso de agua al rodete.
- Aplicar frenos.

Tabla 31

Causas para la activación del relé de bloqueo 86_2

Numeración ANSI	Descripción
38GL	Alta temperatura cojinete inferior
38GU	Alta temperatura cojinete superior
38HG	Alta temperatura guía de turbina
38GT	Alta temperatura cojinete de empuje
63Q3	Baja presión de aceite en tanque pulmón
71WH	Bajo nivel de agua en el tanque de cabeza
39TV	Vibraciones mecánicas en la turbina
5E_CBGM	Parada de emergencia manual sala de control
5E_SBSOL	Parada de emergencia manual tablero RIO
5E_HMI	Parada de emergencia desde HMI
12	Relé de sobrevelocidad

- Parada rápida (86_3)

Finalmente si por algún motivo existiese este tipo de parada sería causada por las protecciones en listadas en la Tabla 32. Sin embargo, las acciones secuenciales en presencia de este proceso son:

- Abrir el disyuntor de máquina (52)
- Desconectar el AVR, y por ende la excitación.

Tabla 32

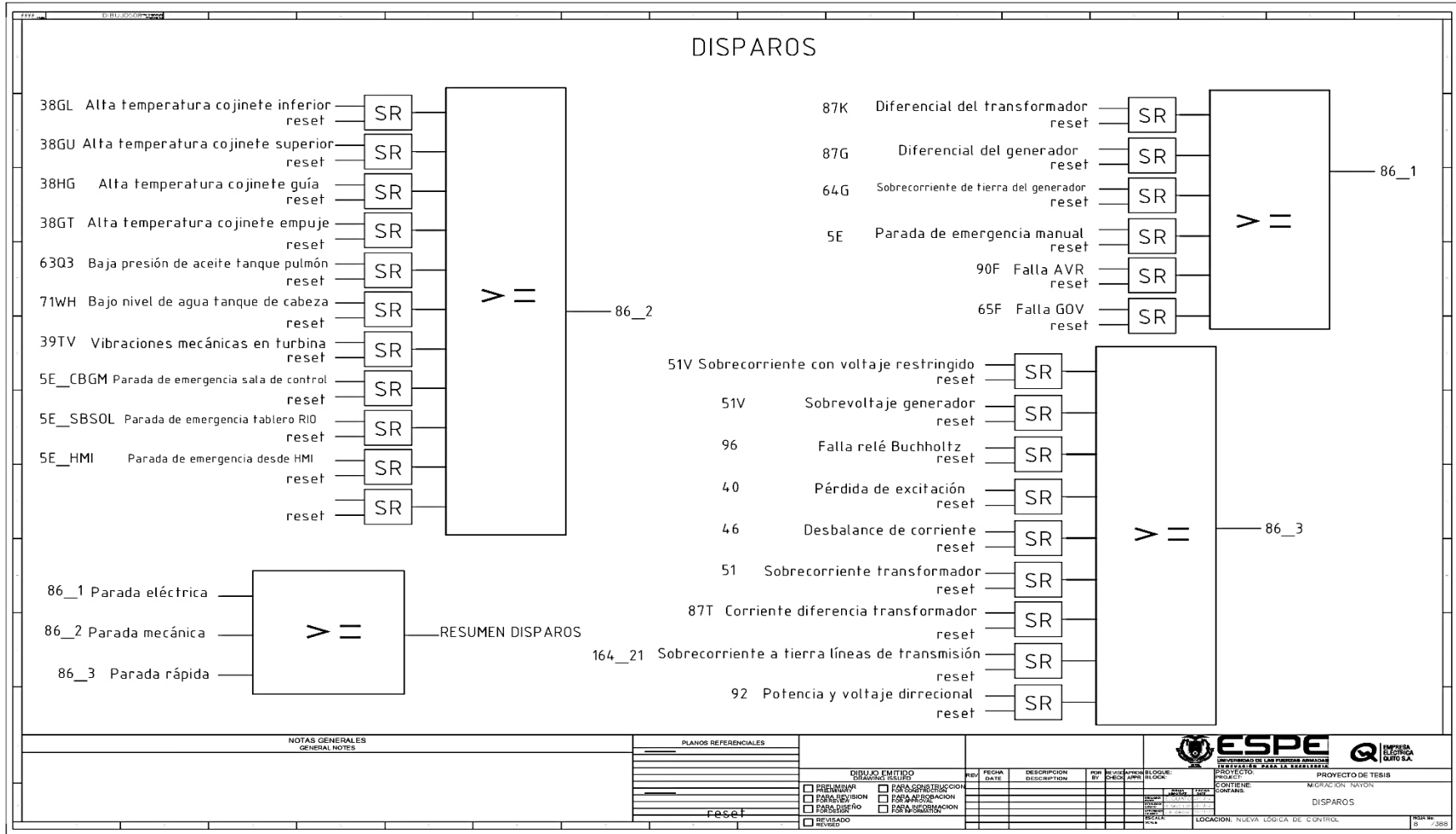
Causas para la activación del relé de bloqueo 86_3

Numeración ANSI	Descripción
51V	Sobrecorriente con voltaje restringido
59	Sobrevoltaje del generador
96	Falla relé Buchholtz
40	Pérdida de excitación
46	Desbalance de corriente
51	Sobrecorriente en el transformador
87T	Corriente diferencial en el transformador
164_21	Sobrecorriente a tierra líneas de transmisión
92	Potencia y voltaje direccional

Finalmente el diagrama de disparos se establece en la Figura 70, con la singularidad de que los disparos o fallas generalmente suelen darse en un corto tiempo, por ello el empleo de memorias que almacenen y evidencien su activación.

Figura 70

Diagrama FBD secuencia de disparos



Interfaces HMI

Requisitos del diseño de interfaces

El diseño de las nuevas interfaces se realizó en base a los requerimientos nombrados por parte de la Empresa Eléctrica Quito. Los cuales son:

- La resolución de las pantallas será en la más alta definición (1920x1058 pixeles).
- Todas las HMI's serán realizadas en base a la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y a la filosofía de referencia (Bill R. Hollifield, 2008), basada en jerarquías por niveles.
- Se crearán pantallas para los sistemas nombrados en la Tabla 33:

Tabla 33

Listado de HMI's requeridas

No.	Pantalla
1	Resumen general (Overview)
2	Arquitectura de control
3	Control generador 1
4	Avr generador 1
5	Gov generador 1
6	Hpu generador 1
7	Conjunto turbina – generador 1
8	Fallas y disparos generador 1
9	Resumen de secuencias generador 1
10	Control generador 2
11	Avr generador 2
12	Gov generador 2

No.	Pantalla
13	Hpu generador 2
14	Conjunto turbina – generador 2
15	Fallas y disparos generador 2
16	Resumen de secuencias generador 2
17	Unifilar de la Central Hidroeléctrica Nayón
18	Trasvase
19	Tanque de cabeza
20	Sistema de refrigeración
21	Sistema de drenaje
22	Sistema de aire compresores
23	Unifilar servicios de estación

- El diseño de nuevas imágenes no animadas que muestren un bosquejo del sistema o subsistema a ser supervisado.
- La realización de una pantalla de secuencias para el generador 1 y 2, que brinde la oportunidad de conocer en qué fase se encuentra el proceso de generación.
- La realización de una pantalla de fallas y disparos para el generador 1 y 2, a fin de averiguar ciertas anomalías presentadas en marcha.
- Emplear simbología IEEC 60617, en las pantallas de sistemas eléctricos (unifilares).

Elaboración de HMI's

Inicialmente para el proceso de diseño de pantallas en el software, se jerarquizó por niveles a las interfaces requeridas previamente. Este proceso se evidencia en la Tabla 34:

Tabla 34

Jerarquización de HMI's

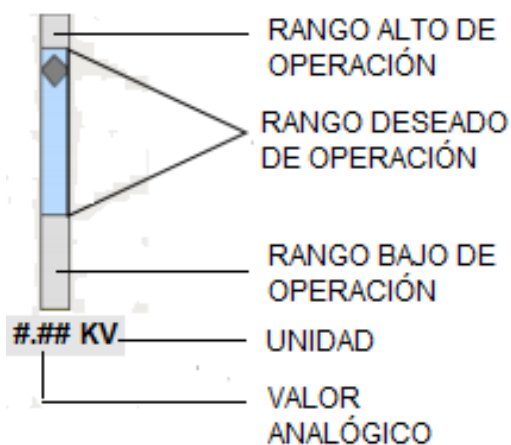
No.	Nivel	Pantalla
1	1	Resumen general (Overview)
2	1	Arquitectura de control
3	2	Control generador 1
4	2	Avr generador 1
5	2	Gov generador 1
6	2	Hpu generador 1
7	2	Conjunto turbina – generador 1
8	3	Fallas y disparos generador 1
9	3	Resumen de secuencias generador 1
10	2	Control generador 2
11	2	Avr generador 2
12	2	Gov generador 2
13	2	Hpu generador 2
14	2	Conjunto turbina – generador 2
15	3	Fallas y disparos generador 2
16	3	Resumen de secuencias generador 2
17	3	Unifilar de la Central Hidroeléctrica Nayón

No.	Nivel	Pantalla
18	2	Trasvase
19	2	Tanque de cabeza
20	2	Sistema de refrigeración
21	2	Sistema de drenaje
22	2	Sistema de aire compresores
23	3	Unifilar servicios de estación

Seguendo la normativa para la representación de valores analógicos ANSI/ISA-101.01-2015, se diseñó un indicador evidenciado en la Figura 71, para variables de presión, nivel, temperatura, flujo, vibraciones, etc.

Figura 71

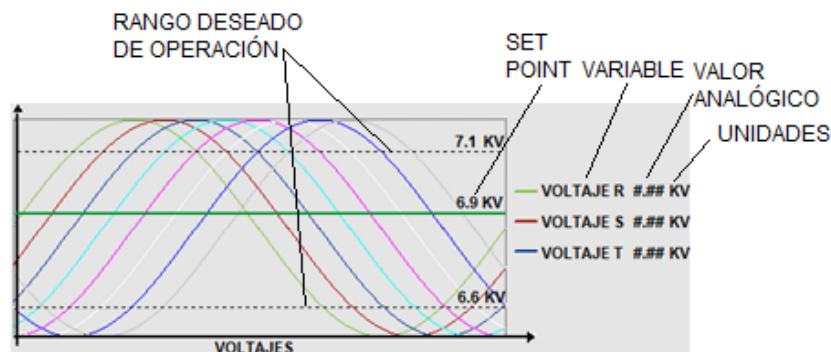
Diagrama de un indicador analógico



El valor analógico es un apoyo para la representación, ya que da a conocer el valor exacto de la variable medida. Adicionalmente en la Figura 72, se puede apreciar varias variables analógicas representadas en una tendencia.

Figura 72

Diagrama de un indicador en tendencia



A continuación se describen cada una de las interfaces diseñadas y configuradas en base a los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito.

- HMI Resumen general:

La pantalla de la Figura 73 presenta el resumen de los sistemas más importantes de la central, los cuales son generador 1 y 2, turbina 1 y 2, potencia entregada y recibida, subsistema de refrigeración y drenaje.

Los parámetros fundamentales del generador son: voltaje promedio del generador, velocidad del generador, potencia activa y el voltaje de cada línea trifásica expresada en una tendencia. Adicionalmente se presenta el set point respectivo, que en este caso es de 6.9 KV, ya que los generadores sincrónicos proporcionan dicho voltaje. Cabe recalcar que para el generador 2 tiene las mismas características, por su puesto con valores diferentes.

De igual manera se puede apreciar el valor de las variables de temperatura en la sección de turbina, específicamente se tienen las temperaturas de los cojinetes que varía entre los 45 y 60 °C. Además se tiene también la presión antes de la válvula mariposa o aguas arriba y la presión después de la válvula mariposa o aguas abajo, con el objetivo de evidenciar la presión durante la secuencia de válvula mariposa en la cual

la válvula bypass permite el ingreso de agua, a fin de evitar el golpe de ariete durante la apertura de la válvula mariposa, siempre y cuando exista una igualdad de presiones antes y después de la misma.

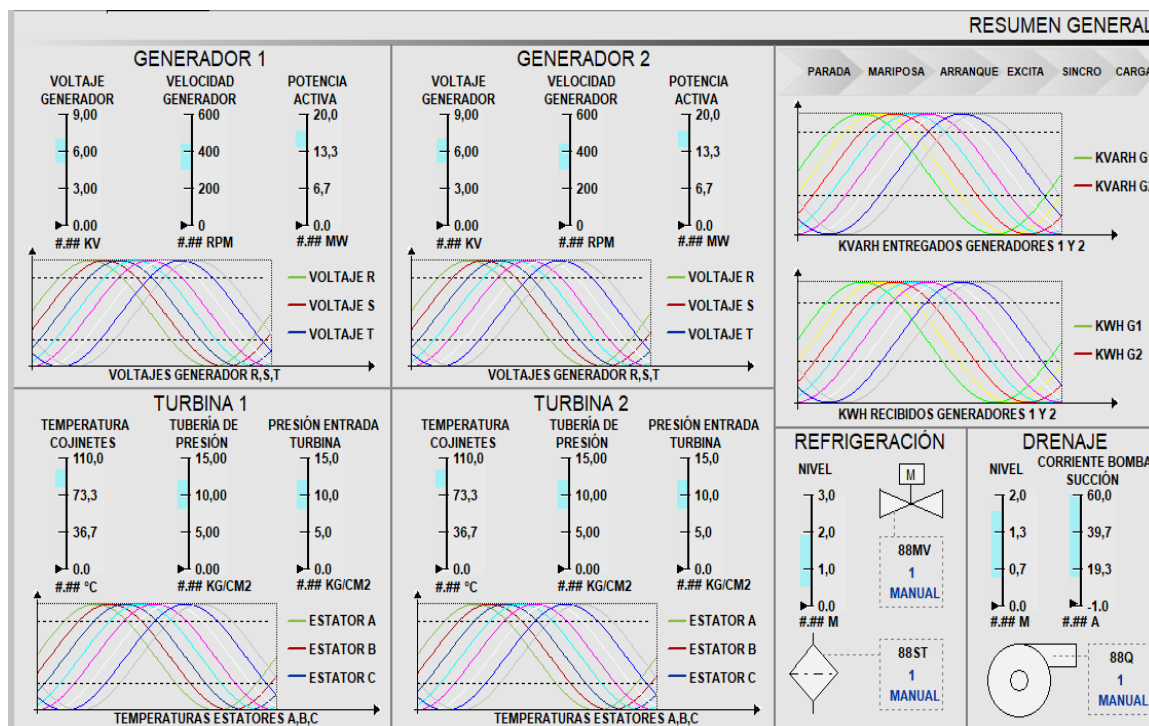
Otra variable fundamental es la temperatura de los estatores (A, B, C) que varía entre los rangos de 83 y 93 °C. Su presencia se da a manera de tendencia en la interfaz.

El subsistema de refrigeración presentado, da a conocer el nivel del tanque al cual se encuentra el líquido inmerso, así como la activación de los filtros autolimpiantes (88ST1, 88ST2) y las válvulas motorizadas (88MV1, 88MV2) de apertura del líquido refrigerante a las turbinas de los generadores 1 y 2 y su modo de operación (manual o automático).

Finalmente se presenta el nivel del tanque existente en el subsistema de drenaje, así como la corriente a la cual se encuentra sometida la bomba de succión. Además de los indicadores de activación de las bombas 88QA y 88QB; ambas empleadas para empujar el líquido sobrante de la sala de válvulas hacia la compuerta de descarga.

Figura 73

HMI resumen general



- HMI control de generador 1:

La interfaz presentada en la Figura 74 proporciona la información más ampliada del generador 1, entre los cuales se tiene el voltaje de cada línea trifásica (R, S, T) así como su amperaje respectivo. Uno de los parámetros fundamentales en el SCADA es la potencia activa que está generando cada unidad, por ello se la ha diseñado en base a una tendencia, con rangos deseados de operación. También se ha diseñado la verificación de la aplicación de frenos (39BK).

De manera diferenciada se puede apreciar los parámetros más importantes del regulador automático de voltaje (AVR), los cuales son el voltaje y corriente de excitación amplificada por el excitatriz y entregado al generador. Además del control del voltaje generado, con los botones de subida o bajada (90R) y el modo de control de reactivos

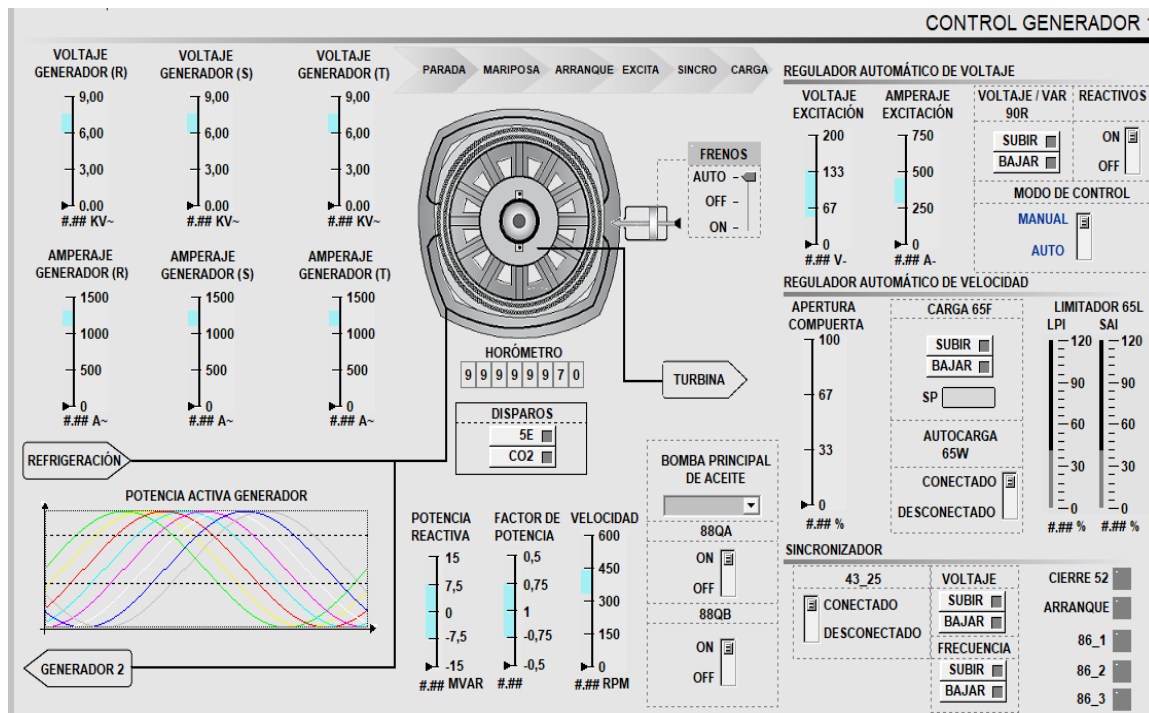
en el cual el AVR pasa de controlar voltaje a controlar potencia reactiva, durante la secuencia paralelo o sincronización.

También se pueden apreciar los controles del regulador automático de velocidad (GOV), así como el porcentaje de apertura del distribuidor, que no es más que la cantidad a la cual los álabes han sido abiertos mediante los dos cilindros de distribuidor empujados con aceite por el servomotor. Adicionalmente se observa la subida o bajada de carga (65F), cuando el GOV pasa de controlar velocidad a controlar potencia activa

Finalmente en esta interfaz se aprecia la conexión o desconexión (43_25) del sincronizador, además de la subida y bajada de voltaje y frecuencia, con el objetivo de evidenciar el modo de control manual y conectar el disyuntor de máquina 52 a la red, siempre y cuando la magnitud, frecuencia y fase sea equivalente a la producida por el generador.

Figura 74

HMI Control generador 1

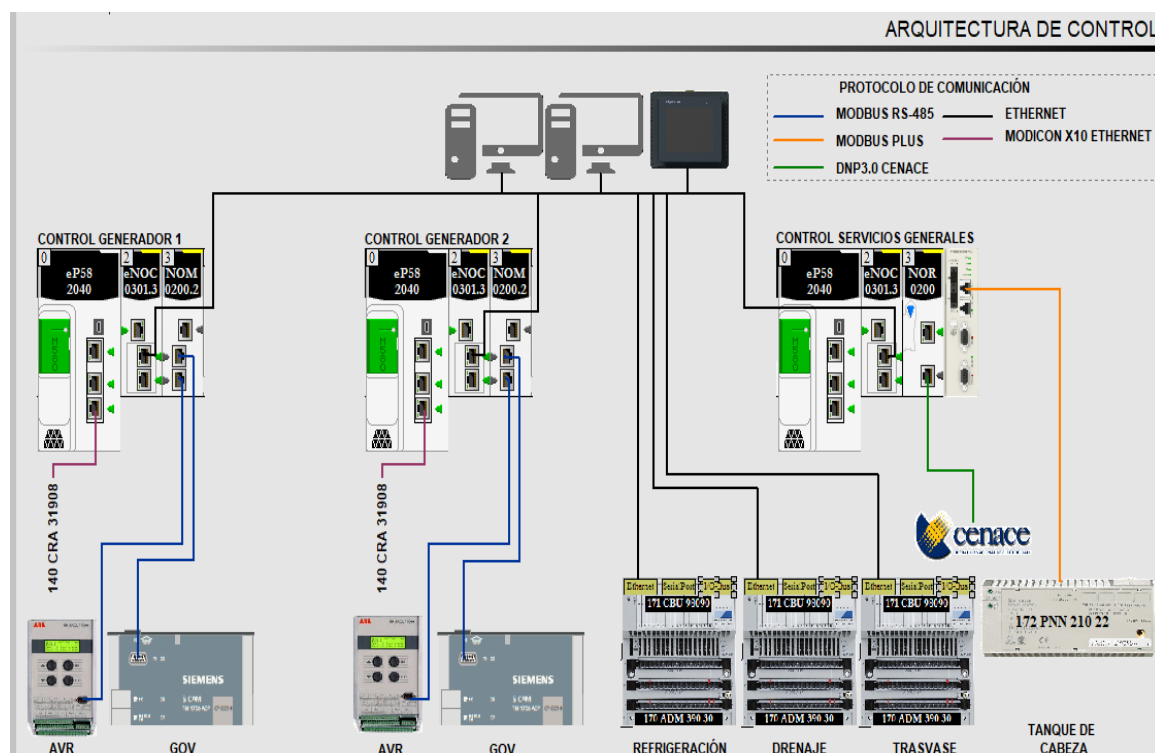


- HMI Arquitectura de control:

La pantalla observada en la Figura 75, evidencia el diseño de la arquitectura previamente explicado, con la singularidad de dar a conocer cuáles y como se encuentran conectados los elementos que interactúan en el proceso de generación hidroeléctrica en la Central Nayón, además de informar el protocolo que hace posible la comunicación entre los mismos.

Figura 75

HMI Arquitectura de control



- HMI regulador automático de velocidad (GOV):

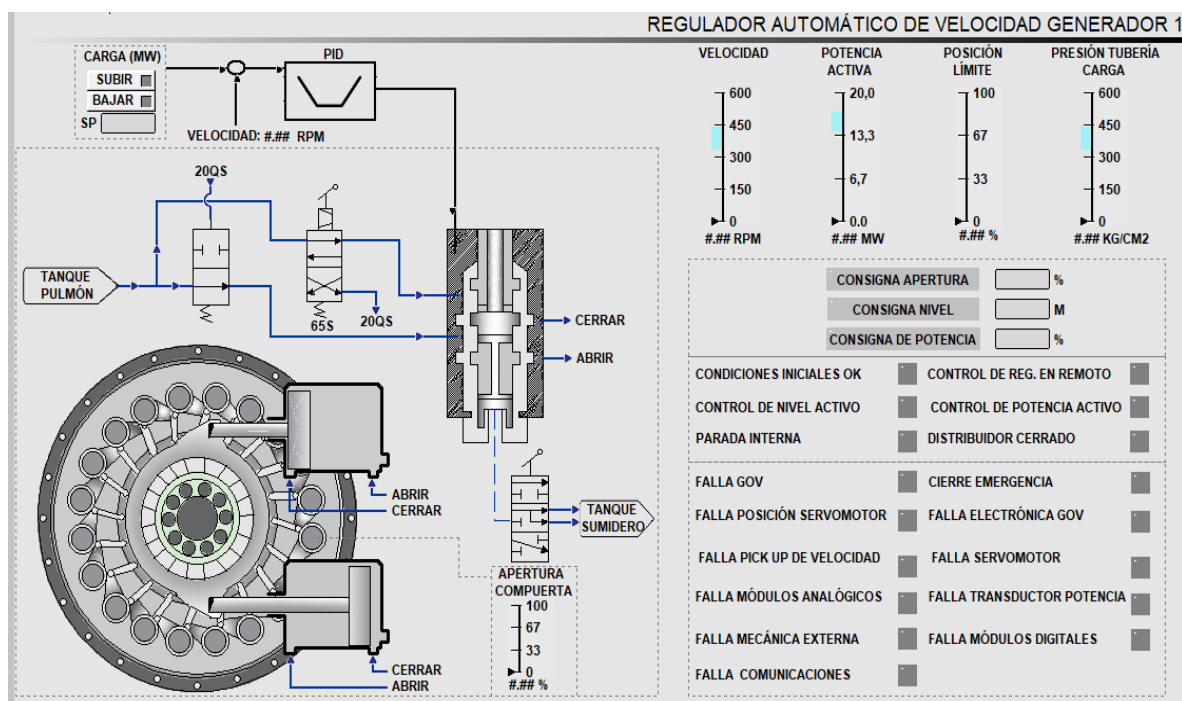
Inicialmente se puede apreciar en la Figura 76, el esquema hidráulico que hace posible la apertura de álabes mediante el servomotor. Es decir, se adquiere aceite del tanque pulmón y a través de la válvula selenoide 65S y 20QS, se inyecta aceite al

servomotor con el objetivo de abrir o cerrar los cilindros que hacen posible el aperturamiento de los álabes. A su vez se observa también el retorno del aceite hacia el tanque sumidero mediante la válvula de 3 vías.

Se hace necesario resaltar que el control de la central hidroeléctrica Nayón puede ser realizado en base a potencia o nivel, por lo tanto se han diseñado en la interfaz presentada las consignas seteadas por el operador, dependiendo de los modos de trabajo mencionados previamente. También se cuenta con indicadores de verificación y fallas que dan a conocer defectos en este sistema, además de medidores analógicos de velocidad, potencia activa, posición límite y la presión en la tubería.

Figura 76

HMI GOV



- HMI Unidad de presión hidráulica (HPU):

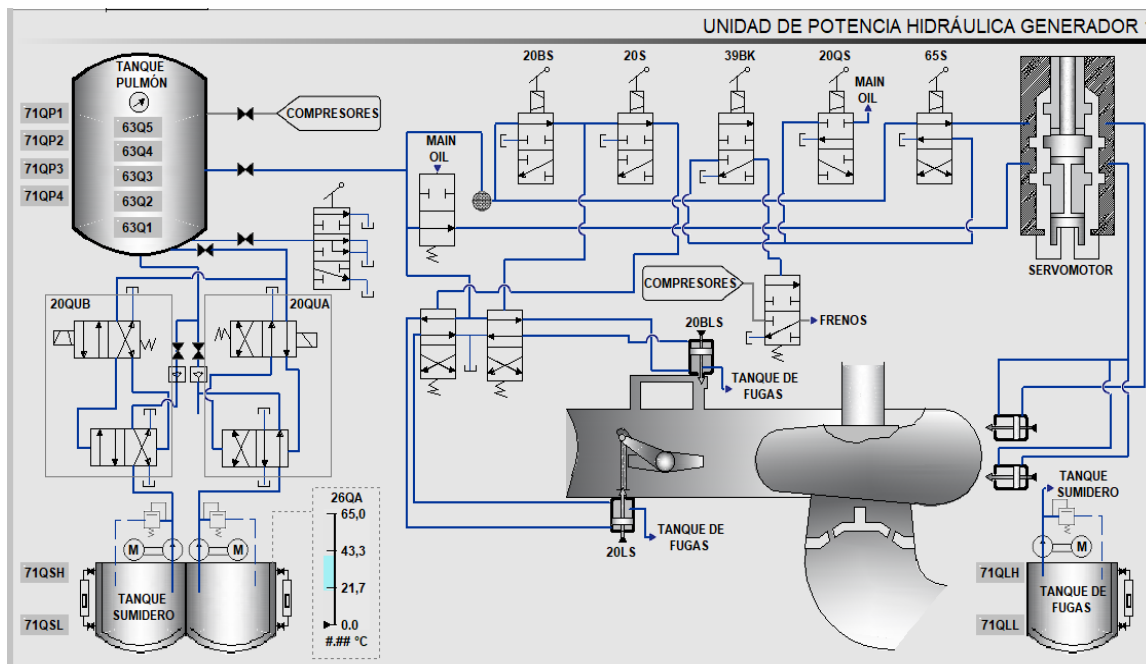
En la interfaz presentada en la Figura 77 se encuentran tres tanques, los cuales son sumidero, de fugas y el tanque pulmón, este último se encuentra compuesto de

aceite y aire con el objetivo de tener una proporcionalidad hidráulica y neumática, por ello, se han diseñado interruptores de presión (71QP1, 71QP2, 71QP3, 71QP4) y aceite (63Q5, 63Q4, 63Q3, 63Q2, 63Q1), que dan a conocer valores de alto alto, alto, bajo y bajo bajo. Adicionalmente se observa en la interfaz, como el aceite es empujado desde el tanque sumidero hacia el tanque de aceite de presión o pulmón mediante las bombas A y B, además de conocer su temperatura (26QA).

Principalmente las válvulas solenoides (20BS, 20S, 39BK, 65S) son empleadas para la apertura de la válvula mariposa, la válvula by-pass, la aplicación de frenos y el arranque y parada de la turbina. La función principal del tanque de fugas es adquirir los restos sobrantes de aceite emitidos por la válvula mariposa y la válvula bypass, además se han diseñado interruptores de nivel (71QLH, 71QLL) en el mismo. De igual manera en el tanque sumidero se observan interruptores de nivel (71QSH, 71QSL) que advierten los límites máximos y mínimos de aceite.

Figura 77

HMI HPU

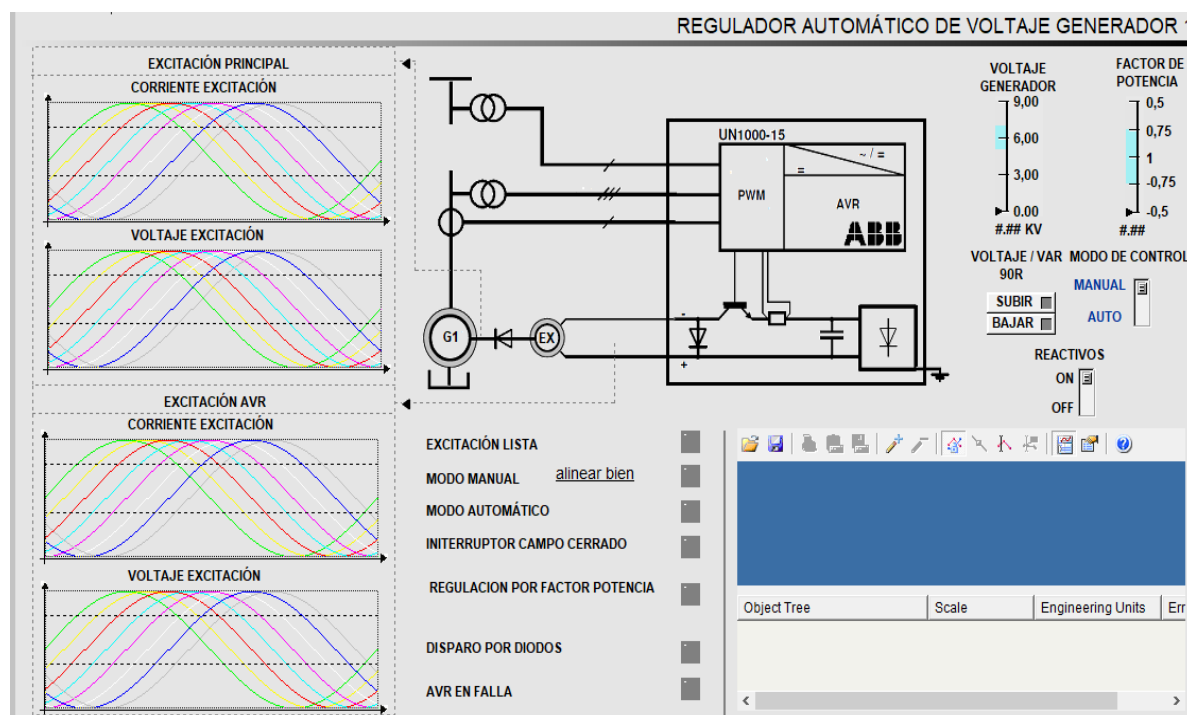


- HMI Regulador automático de velocidad (AVR):

En la interfaz presentada en la Figura 78, se da a conocer a detalle los parámetros y variables más importantes del AVR, como son el voltaje y amperaje de excitación antes y después del excitatriz, a fin de observar el valor de pre-amplificación y amplificación mediante tendencias con rangos de operación deseados. Adicionalmente se aprecian indicadores luminosos de verificación en la secuencia de excitación, y disparos por causas totalmente apegadas a este sistema. Los indicadores analógicos presentan el voltaje promedio del generador, así como el factor de potencia establecido en la máquina sincrónica. Finalmente se aprecia el modo de control del AVR y el aumento o disminución de voltaje (90R).

Figura 78

HMI AVR

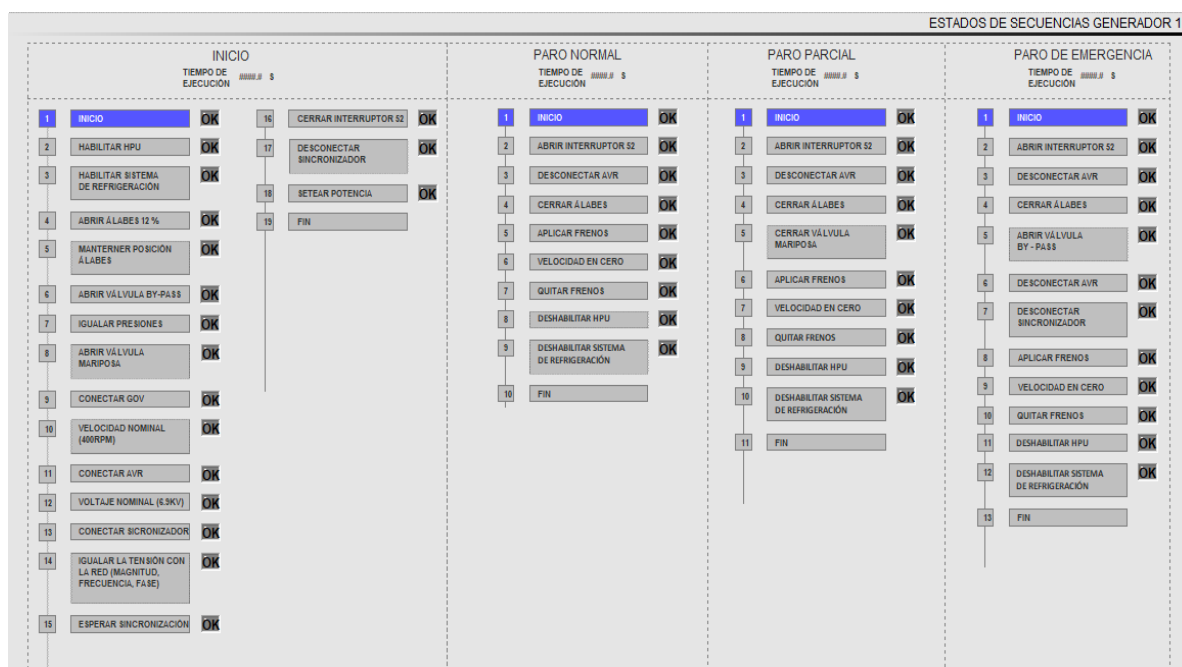


- HMI Estados de secuencias:

En la interfaz presentada en la Figura 79 se ha seccionado cuatro secuencias que ejecuta el generador, la primera es el arranque total del generador, enumerado con pasas e indicadores de verificación, así como la descripción de cada fase. La segunda se trata del paro normal, que de igual manera presenta los pasos ejecutarse durante este proceso. En la tercera secuencia se aprecia el paro parcial y finalmente la cuarta se deriva en el paro de emergencia, que a diferencia de los anteriores, ejecuta más acciones evidenciadas en los indicadores.

Figura 79

HMI Estados de secuencias



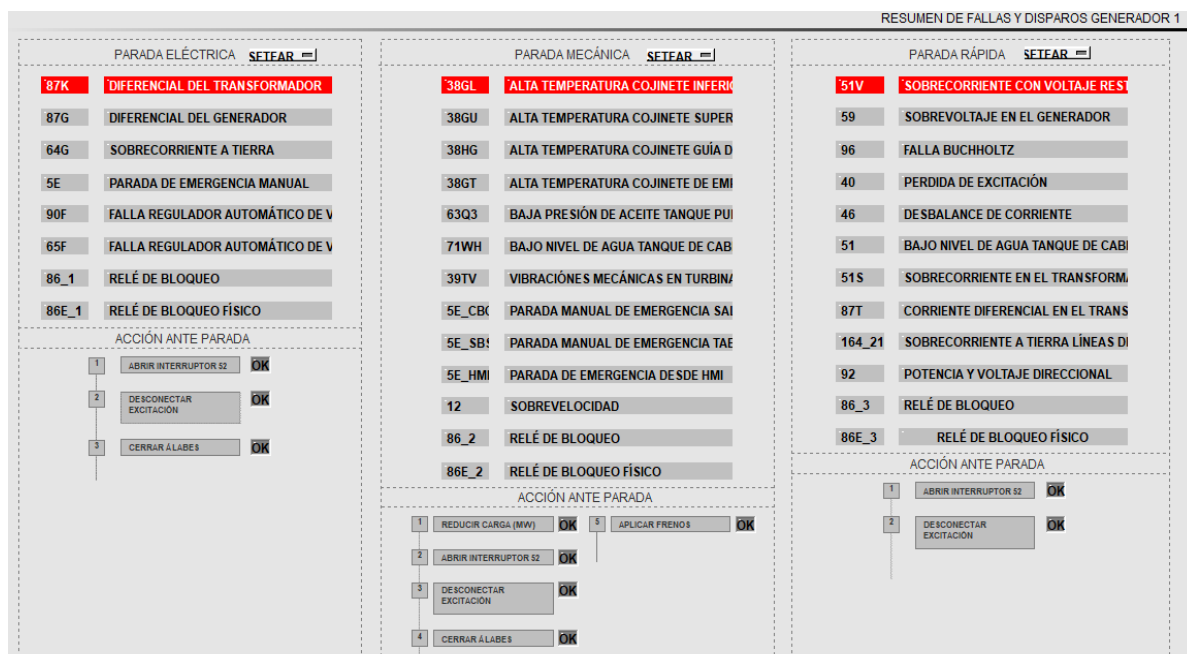
- HMI Fallas y disparos:

La interfaz presentada en la Figura 80, se resumen en la indicación de cualquier fallo existente en el generador, ya sea este, eléctrico 86_1, mecánico 86_3 o rápido

86_3; así como las acciones a tomarse durante cada evento. Es en esta interfaz donde se evidencia la programación de la secuencia de disparos.

Figura 80

HMI Resumen de fallas y disparos



- HMI Conjunto turbina - generador:

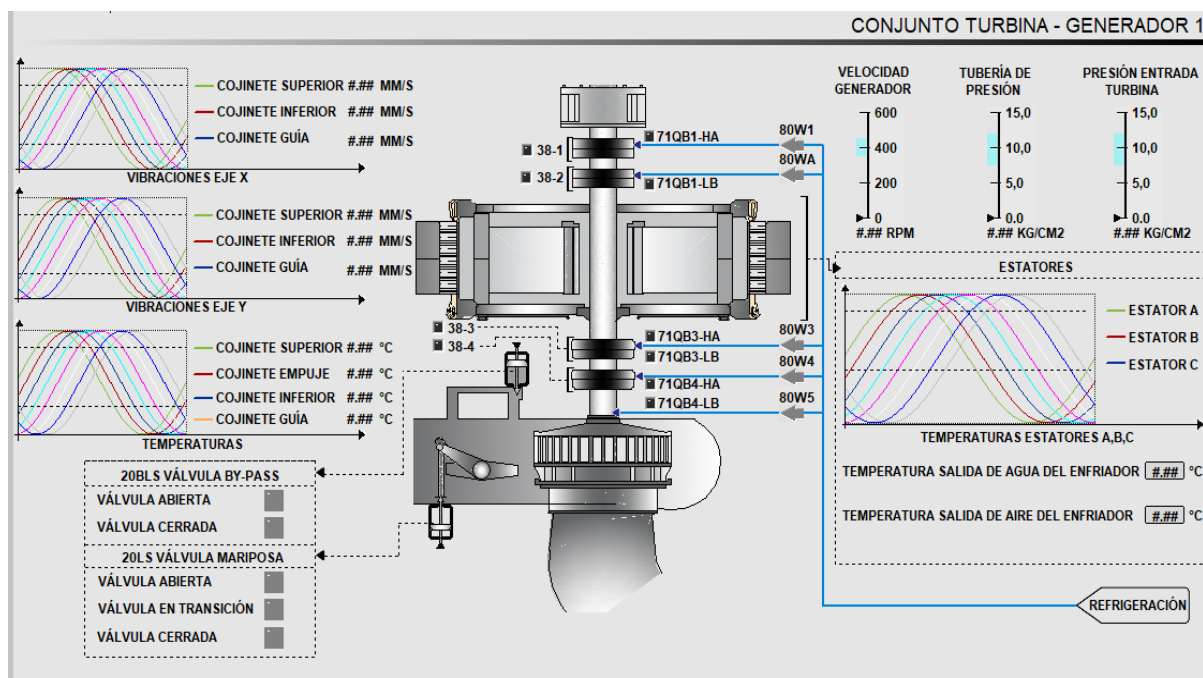
En la interfaz presentada en la Figura 81 se da a conocer el conjunto turbina – generador compuesto por la temperatura de los cojinetes superior, de empuje, inferior y de guía (26UGB, 26GB, 26LGB, 26TGB) , que varía entre los 45 y 60 °C, así como sus vibraciones (39LGX, 39LGY, 39TGX 39TGY, 39UGX, 39UGY) en los ejes radiales y axiales. También se diseñaron indicadores de flujo (80W1, 80WA, 80W3, 80W4, 80W5) que advierten el ingreso de agua hacia los cojinetes, además de conocer la temperatura de los estatores A, B, C (26GSA, 26GSB, 26GSC) que oscila entre los 86 a 91 °C.

Adicionalmente se aprecia la temperatura a la salida agua y salida de aire de los radiadores (26WC, 26A), que hacen posible la refrigeración de la turbina.

Finalmente se han diseñado indicadores del estado de las válvulas by – pass (20BLS) y mariposa (20LS), los cuales son abierta, cerrada o en transición.

Figura 81

HMI Conjunto turbina - generador



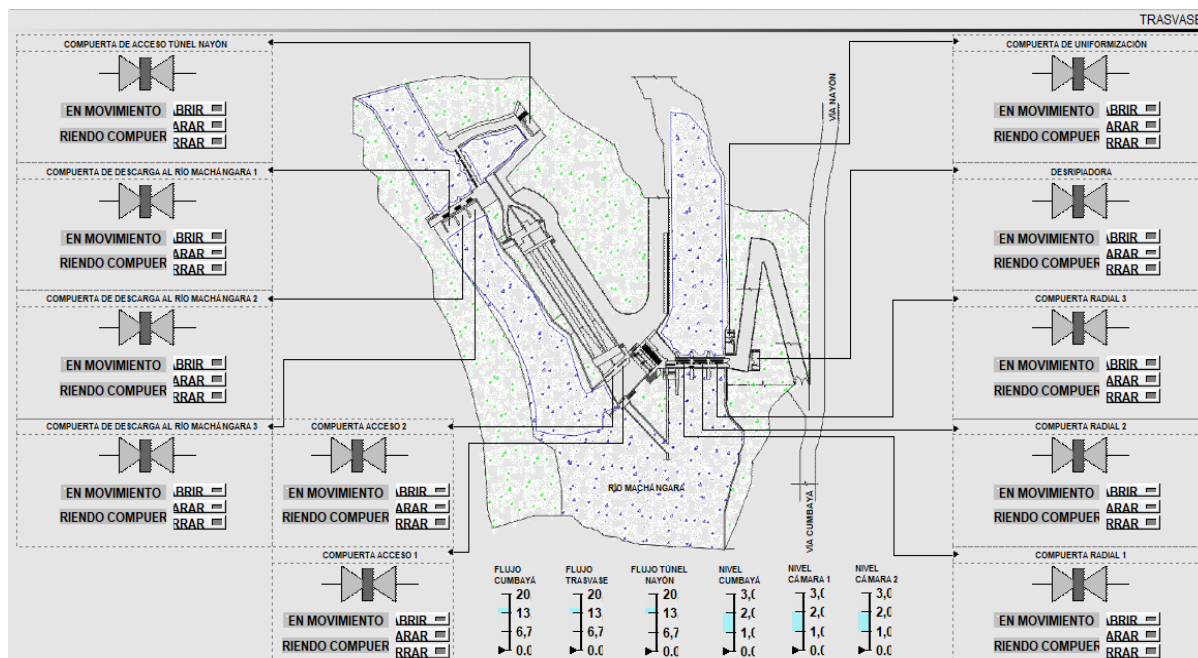
- HMI Trasvase:

En la interfaz presentada en la Figura 82 se observan las compuertas motorizadas que hacen posible el ingreso adecuado de agua, así como el diseño de botones para abrir, cerrar y parar el movimiento de la compuerta. Se ha realizado un bosquejo del trasvase, a fin de localizar adecuadamente el lugar en el cual se encuentra cada compuerta.

Los medidores de flujo proporcionan el valor al cual se encuentra sometido el movimiento del agua, en Cumbayá, y en el túnel por el cual, el agua ingresa a las tuberías de presión de la central Nayón. Adicionalmente se aprecian indicadores analógicos del nivel existente en la cámara 1 y 2.

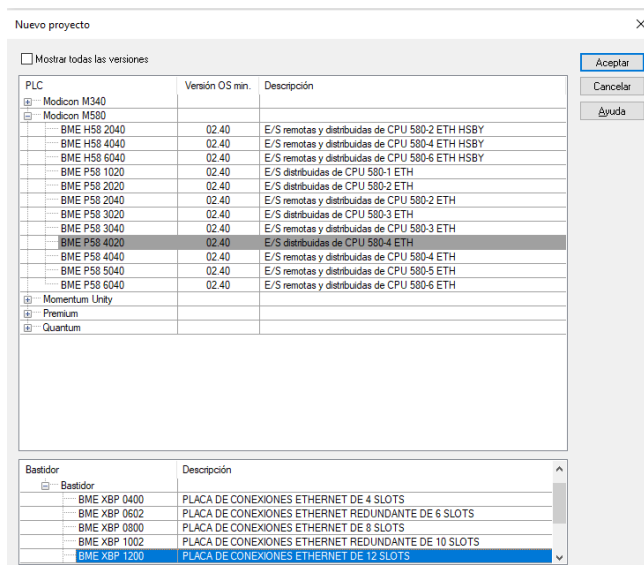
Figura 82

HMI Trasvase CH Nayón



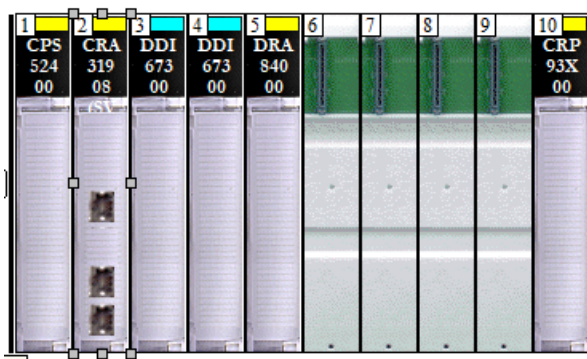
Simulación

El PLC que se empleará según la nueva arquitectura de control, es el BMEP584040 Modicon de gama alta, de la marca Schneider Electric. Su programación es llevada a cabo en el software Unity Pro XL. La configuración del PLC inicia con el previo cumplimiento de tres requisitos la creación del proyecto, la selección del PLC y del bastidor que en este caso es el BMEXBP1200 de 12 slots, tal como se aprecia en la Figura 83:

Figura 83**Selección del CPU en Unity PRO XL**

Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

Una vez seleccionada la CPU, se procede a configurar el EIO Bus (bastidor antiguo Quantum) con los módulos de entrada y salida digitales implementados en la actualidad, tal como se aprecia en la Figura 84. Con la particularidad de que en el slot del 140CPU11303, ahora existe el adaptador S908 140CRA31908; proceso que evidencia la migración.

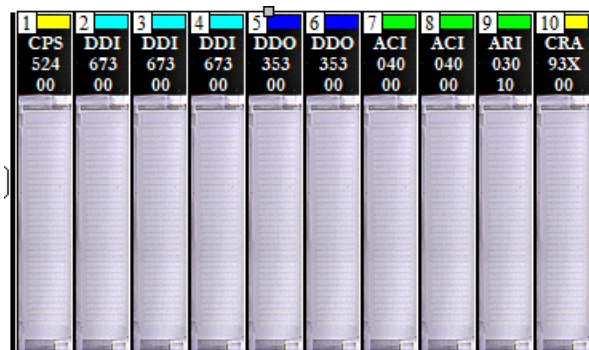
Figura 84**Configuración del bastidor**

Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

Luego se agrega el RIO bus existente en la Central Hidroeléctrica Nayón, como se aprecia en la Figura 85:

Figura 85

Configuración del bastidor RIO

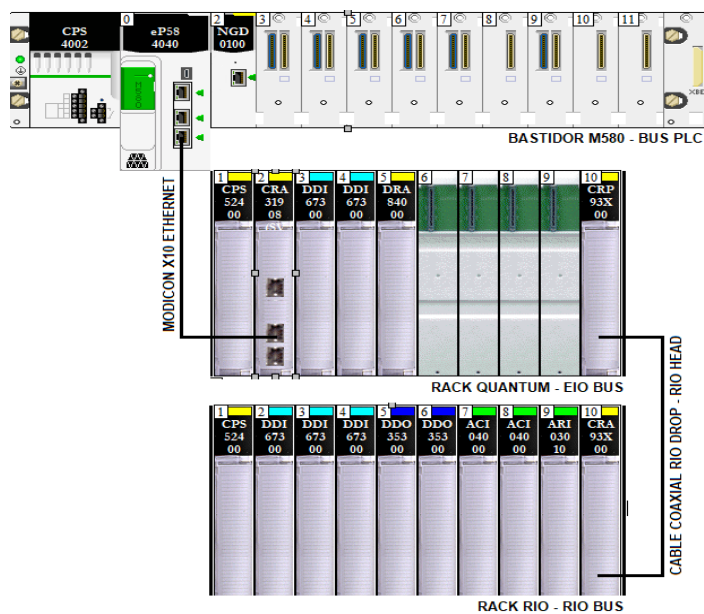


Nota. Tomado de *Unity PRO XL*, 2021.

De una manera gráfica la arquitectura quedaría de la siguiente manera expresada en la Figura 86:

Figura 86

Configuración final *Unity PRO XL*



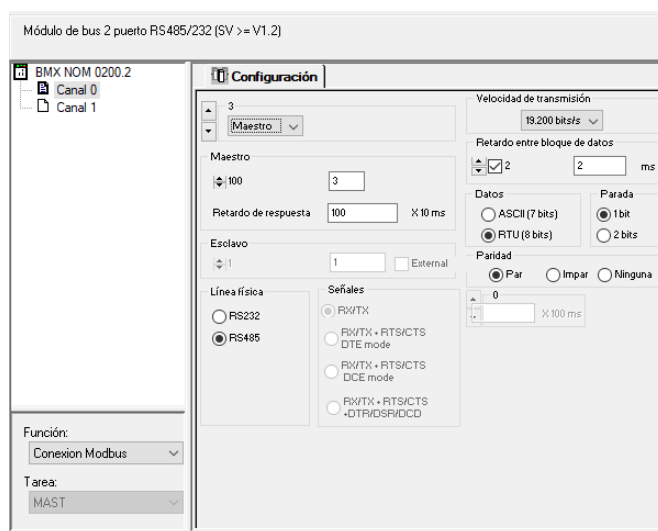
Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

Simulación de la conexión del módulo BMXNOM0200

Inicialmente se parte agregando al bastidor M580, el módulo serial BMXNOM0200, el mismo que cuenta con comunicación serial de 2 puertos RJ45 configurados por RS485/232 y con servicio de Modbus maestro/esclavo RTU o ASCII. Según la nueva arquitectura de control, el primer canal será empleado en la comunicación con el regulador automático de velocidad (AVR). Siendo el maestro el módulo de comunicación. La configuración final se da a conocer en la Figura 87:

Figura 87

Configuración del módulo de comunicación serial y AVR



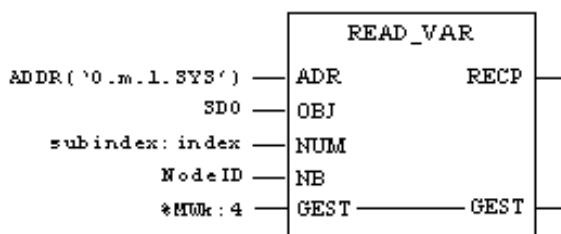
Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

Unity PRO XL ofrece empleo de bloques de funciones ya configuradas, en este caso se utilizara 2:

- Read Var: el bloque de función presentado en la Figura 88, brinda la capacidad de leer lo datos de un dispositivo y registrarlos en otro. Además de tener arrays de verificación de transmisión de datos. Su descripción detallada se explica a continuación:

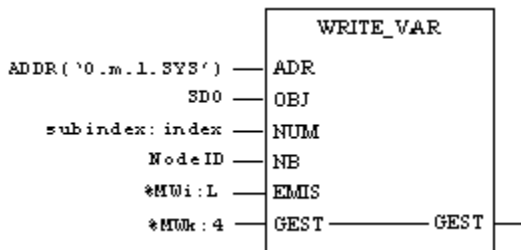
Figura 88

Bloque de función Read Var



Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021*.

- ADR: ('rack, posición del módulo, número de canal, número de esclavo') o también tiene la configuración de ('<IP_origen>{ IP_destino}')
- OBJ= Tipo de Objetos a leer
- NUM= Tabla de Datos a Leer en el Esclavo
- NB= Numero de Objetos a Leer
- GEST= Tabla de Administracion de Intercambio
- RECP = Tabla de Contiene los Datos Leídos
- Write Var: el bloque de función presentado en la Figura 89, brinda la capacidad de escribir datos en un dispositivo. Su descripción detallada se explica a continuación:

Figura 89*Bloque de función Write Var*

Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

- ADR: ('rack, posición del módulo, número de canal, número de esclavo') o también tiene la configuración de ('<IP_origen>{ IP_destino}')
- OBJ= Tipo de Objetos a escribir
- NUM= Tabla de Datos a escribir en el Esclavo
- NB= Numero de Objetos a escribir
- GEST= Tabla de Administracion de Intercambio
- EMIS = Tabla de Contiene los Datos Escritos

En la Tabla 35, se puede conocer los valores analógicos que pueden ser leídos desde el AVR mediante protocolo Modbus RTU/RS485. Dado que únicamente se leen valores del avr más no se escribe, se utilizó la función Read Var, para lectura de registros. Su configuración se aprecia en la Figura 90:

Tabla 35

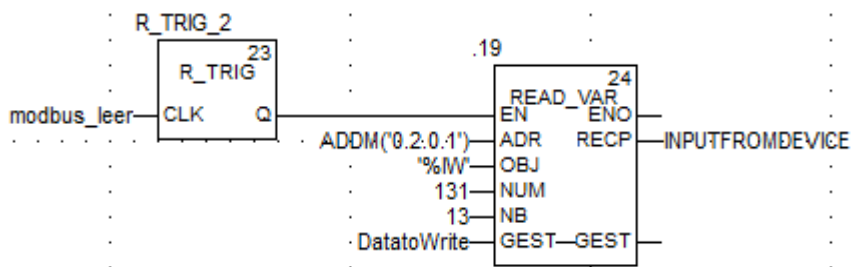
Registros asignados por el AVR para su lectura o escritura

NOMBRE	REGISTRO AVR	TIPO	L/E
Voltaje generador (R)	400131	INT	L
Voltaje generador (S)	400132	INT	L
Voltaje generador (T)	400133	INT	L
Voltaje de generador promedio	400134	INT	L
Voltaje de la red	400135	INT	L
Frecuencia de la máquina	400136	INT	L
Frecuencia de la red	400137	INT	L
Corriente del generador	400138	INT	L
Potencia real	400139	INT	L
Potencia reactiva	400140	INT	L
Factor de potencia	400141	INT	L
Corriente de excitación	400142	INT	L
Voltaje de excitación	400143	INT	L

Nota: L: lectura, E: escritura. Tomado de Manual de Servicio ABB UNITROL 1000 (ABB, 2004)

Figura 90

Configuración de bloque read var para leer datos desde el avr

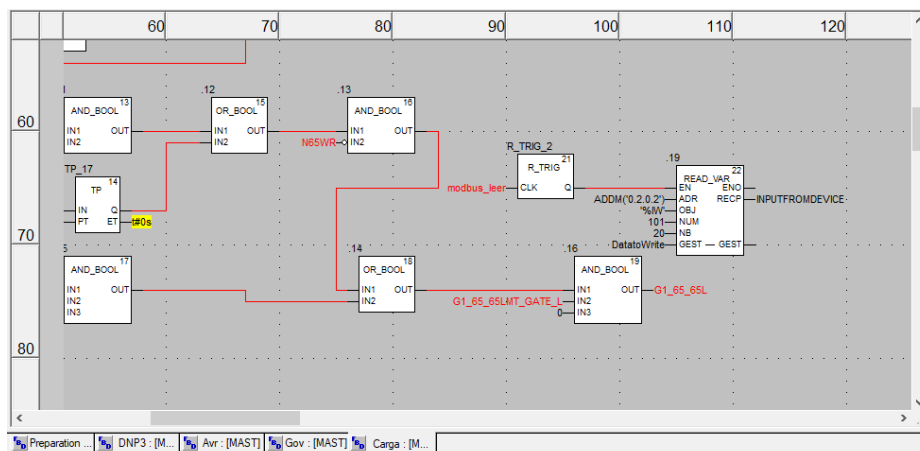


Nota. Tomado de Unity PRO XL, 2021.

Finalmente se presenta la simulación de este proceso en la Figura 91:

Figura 91

Simulación de la comunicación serial con el AVR

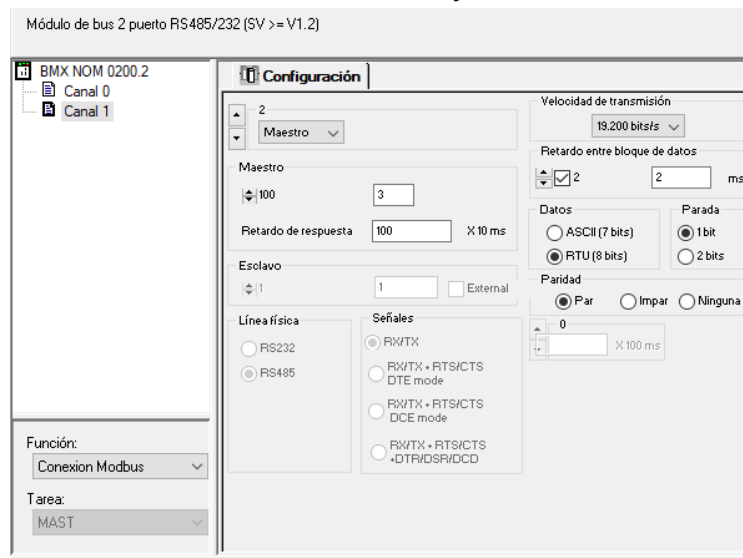


Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021*.

De igual manera para la comunicación con el regulador automático de velocidad se configurara el siguiente canal, como se aprecia en la Figura 92:

Figura 92

Configuración del módulo de comunicación serial y el GOV



Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021*.

No obstante, en la Tabla 36, se aprecian los valores tanto digitales como analógicos que pueden ser leídos desde el gov. Por ello, al igual que en el avr se utilizó la misma función de lectura READ VAR. Sin embargo, en esta comunicación si se escriben datos en el gov, proceso ejecutado con la ayuda de la función WRITE VAR. Como evidencia en la Figura 94.

Tabla 36

Registros asignados por el GOV para su lectura o escritura

NOMBRE	REGISTRO	TIPO	L/E
	GOV		
Velocidad / Frecuencia	400101	INT	L
Posición distribuidor	400102	INT	L
Potencia activa	400104	INT	L
Consigna apertura	400105	INT	L
Consigna potencia	400106	INT	L
Consigna velocidad	400107	INT	L
Limitador de apertura	400108	INT	L
Estatismo	400109	INT	L
Presión tubería de carga	400110	INT	L
Consigna potencia	400105	INT	E
Consigna potencia	400106	INT	E
FALLA ELECTRONICA DTL	4X116.1	BOOL	L
FALLA SEÑAL DE POTENCIA	4X116.2	BOOL	L
FALLA SEÑAL POSICION	4X116.3	BOOL	L
SERVOMOTOR			

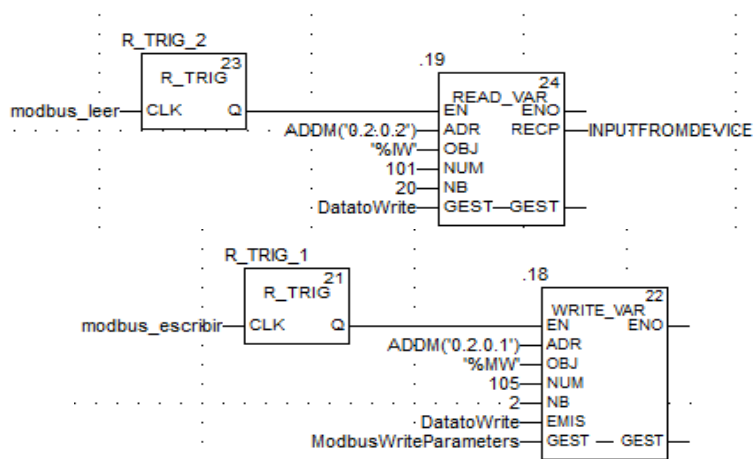
NOMBRE	REGISTRO	TIPO	L/E
GOV			
FALLA POSICION SERVOMOTOR	4X116.4	BOOL	L
FALLA PICK UP	4X116.5	BOOL	L
FALLA TRANSDUCTOR	4X116.6	BOOL	L
FRECUENCIA			
FALLA MODULOS ANALOGOS	4X116.7	BOOL	L
FALLA MODULOS BINARIOS	4X117.0	BOOL	L
PARADA INTERNA	4X117.1	BOOL	L
CIERRE EMERGENCIA	4X117.2	BOOL	L
RELOJ VERIFICACIÓN	4X117.3	BOOL	L
FALLA MECANICA EXTERNA	4X117.4	BOOL	L
CI OK	4X117.5	BOOL	L
CONTROL REMOTO	4X117.6	BOOL	L
MODO DE CONTROL:	4X117.7	BOOL	L
APERTURA			
MODO DE CONTROL: POTENCIA	4X118.0	BOOL	L
MODO DE CONTROL: NIVEL	4X118.1	BOOL	L
DISTRIBUIDOR CERRADO	4X118.2	BOOL	L

Nota: L: lectura, E: escritura. Tomado de Manual de usuario GOV (VatechHydro, 2004)

La configuración final para la lectura y escritura de registros desde GOV se establece en la Figura 93:

Figura 93

Configuración de los bloques de lectura y escritura desde el GOV



Nota. Tomado de *Unity PRO XL*, 2021.

Simulación de la conexión del módulo BMENOC0301

Esta simulación tiene como fin detallar los pasos a seguir para configurar la comunicación Ethernet entre los módulos BMENOC0301, pertenecientes a los generadores 1 y 2. Inicialmente se agrega al bastidor M580, el módulo Ethernet BMENOC0301, el mismo que cuenta con 2 puertos RJ45 configurados por Ethernet TCP/IP. Seguidamente se crea una red en Unity PRO XL, con el ip perteneciente al módulo del generador 1, según la red privada de la Empresa Eléctrica Quito. La configuración se da a conocer en la Figura 94:

Figura 94*Configuración del módulo Ethernet generador 1*

Dirección IP del módulo

Dirección IP	Máscara de subred	Dirección de pasarela
10 . 1 . 2 . 1	255 . 255 . 248 . 0	10 . 1 . 0 . 1

Seguridad **Configuración IP** Mensajes Datos globales

Configuración de dirección IP

Configurada

Dirección IP	10 . 1 . 2 . 1
Máscara de subred	255 . 255 . 248 . 0
Dirección de pasarela	10 . 1 . 0 . 1

Desde un servidor

Nombre del dispositivo

Configuración Ethernet

Ethernet II 802.3

Red_NOC

Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

De igual manera se configura otra red con el ip, la máscara de red y la dirección de pasarela del generador 2, tal como se aprecia en la Figura 95:

Figura 95**Configuración del módulo Ethernet generador 2**

Dirección IP del módulo

Dirección IP: 10 . 1 . 2 . 2 Máscara de subred: 255 . 255 . 248 . 0 Dirección de pasarela: 10 . 1 . 0 . 1

Seguridad **Configuración IP** Mensajes Datos globales

Configuración de dirección IP

Configurada

Dirección IP: 10 . 1 . 2 . 2

Máscara de subred: 255 . 255 . 248 . 0

Dirección de pasarela: 10 . 1 . 0 . 1

Desde un servidor

Nombre del dispositivo:

Configuración Ethernet

Ethernet II 802.3

Red_NOC_2

Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

Luego para poder transmitir datos de un generador a otro, mediante los módulos Ethernet se configura las redes creadas a los canales respectivos, como se aprecia en la Figura 96:

Figura 96**Configuración de los canales Ethernet del generador 1 y 2**

Módulo de comunicación Ethernet (SV >= 2.05)

BME NOC 0301.3 Canal 0 Configuración

Configuración de direcciones IP

Dirección IP principal: 10 . 1 . 2 . 1

Dirección IP principal + 1: 0 . 0 . 0 . 0

Dirección IP A: 0 . 0 . 0 . 0

Dirección IP B: 0 . 0 . 0 . 0

Máscara de subred: 255 . 255 . 248 . 0

Dirección de pasarela: 10 . 1 . 0 . 1

Configuración de exploración

Explorador: BME NOC0301_2

Función: Ethernet

Tarea: MAST

Módulo de comunicación Ethernet (SV >= 2.05)

BME NOC 0301.3 Canal 0 Configuración

Configuración de direcciones IP

Dirección IP principal: 10 . 1 . 2 . 2

Dirección IP principal + 1: 0 . 0 . 0 . 0

Dirección IP A: 0 . 0 . 0 . 0

Dirección IP B: 0 . 0 . 0 . 0

Máscara de subred: 255 . 255 . 248 . 0

Dirección de pasarela: 10 . 1 . 0 . 1

Configuración de exploración

Explorador: BME NOC0301_2

Función: Ethernet

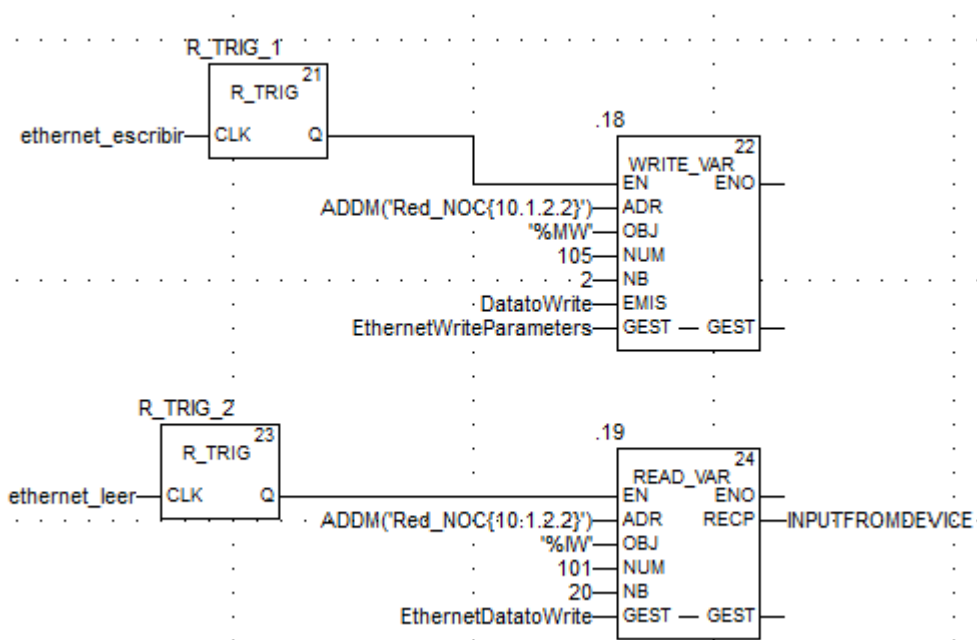
Tarea: MAST

Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

Finalmente con la ayuda de los bloques Read Var y Write Var explicados previamente se lee datos o transmite datos como se aprecia en la Figura 97:

Figura 97

Programación en FBD de la comunicación ethernet



Nota. Tomado de *Unity PRO XL*, 2021.

Simulación de la lógica de control desarrollada

Las simulaciones realizadas en este proyecto están orientadas al software de control y usuario de supervisión desarrollados en los capítulos anteriores, no se realizan pruebas a nivel de implementación ya que el alcance de este proyecto es de diseño. Mediante la realización de programas en el software UNITY PRO XL se ha probado la funcionalidad de lo diseñado, las pruebas realizadas son las siguientes.

- Simulación de arranque de un generador de la central hidroeléctrica Nayón

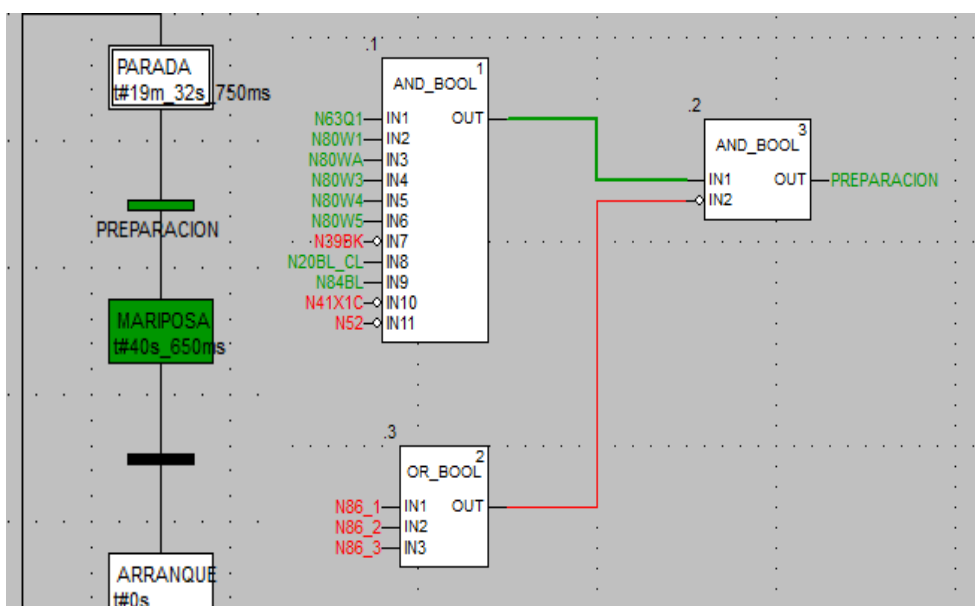
Inicialmente se verifica que las condiciones iniciales estén ejecutadas, es decir la secuencia de preparación activa, en la cual el switch de presión de aceite normal debe estar activado verificando un correcto funcionamiento en la unidad de presión hidráulica (HPU), a su vez, los interruptores de flujo de agua (80W1, 80WA, 80W3, 80W4, 80W5) a los cojinetes deberán mostrarse activados, verificando la correcta inyección de agua, se verifica también que los frenos hidráulicos (39BK) estén aplicados al generador.

Adicionalmente la válvula by pass se mantiene cerrada, así como el distribuidor de los álabes evitando el ingreso de agua y finalmente el disyuntor de máquina (52) inactivo.

Cabe recalcar que las fallas 86_1, 86_2, 86_3 no deben estar encendidas, ya que por supuesto se ejecutará otra rutina. Dicho proceso se observa en la Figura 98:

Figura 98

Simulación de la secuencia de preparación

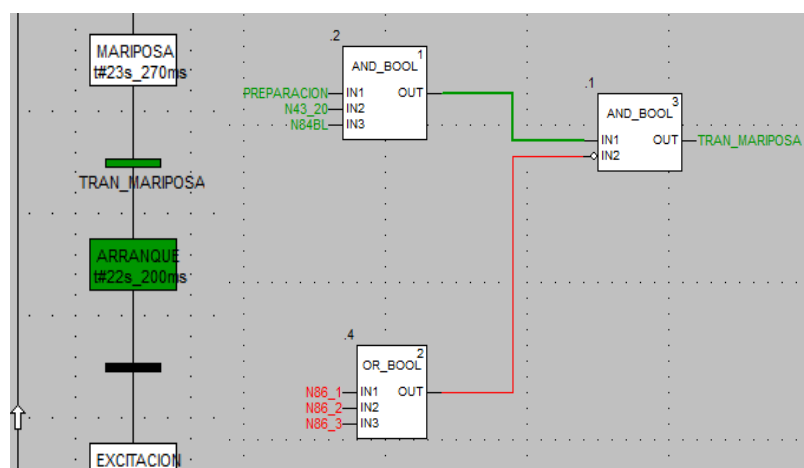


Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

Una vez que se ejecuta la secuencia de preparación, se procede a verificar las condiciones que proporcionan la activación de la secuencia de válvula mariposa. En la cual comprueba que la fase previa este realizada, además de activar el selector manual o automático para el control de la turbina. Cabe recalcar que en esta fase los álabes se mantienen cerrados. Este proceso se evidencia en la Figura 99:

Figura 99

Simulación de la secuencia válvula mariposa

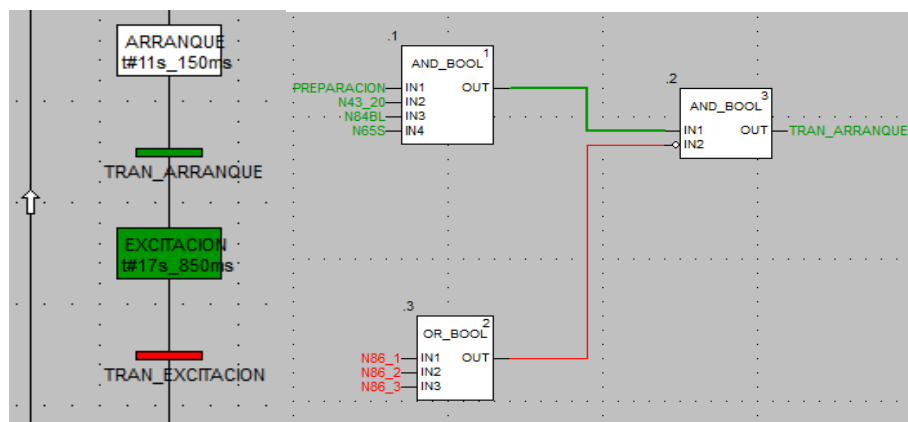


Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021.*

De igual forma que la secuencia anterior, se verifica que la fase de preparación este activa, la selección del control de turbina y los álabes completamente cerrados. En esta fase se conecta el regulador automático de velocidad, ejecutando la activación de la válvula de arranque de turbina 65S. Proceso que se evidencia en la Figura 100:

Figura 100

Simulación de la secuencia de arranque

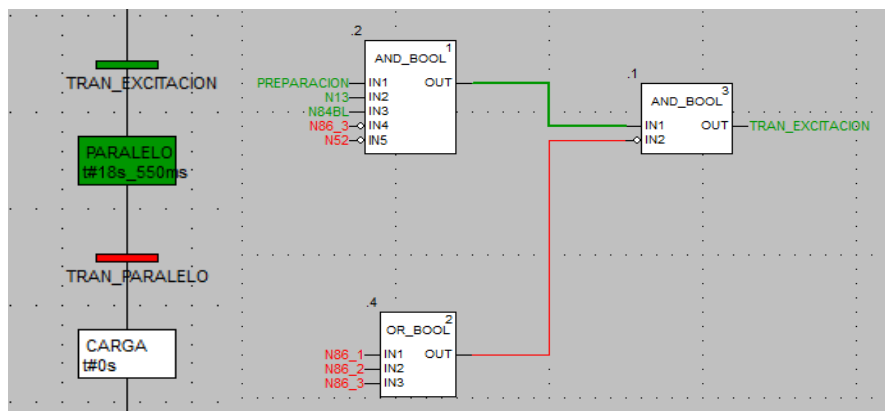


Nota. Tomado de *Unity PRO XL, 2021*.

Una vez se ejecuta la secuencia de arranque, se procede a verificar ahora las condiciones que proporcionan la activación de la secuencia de excitación. En la cual se verifica la apertura de álabes, permitiendo el ingreso de agua al rodete y por lo tanto adquiriendo velocidad hasta alcanzar un 80 a 110 % de la nominal (400rpm). En esta fase se conecta el regulador automático de voltaje y adicionalmente se verifica que no exista una falla 86_3 y que el disyuntor de máquina 52 se encuentre inactivo, como se aprecia en la Figura 101:

Figura 101

Simulación de la secuencia de excitación

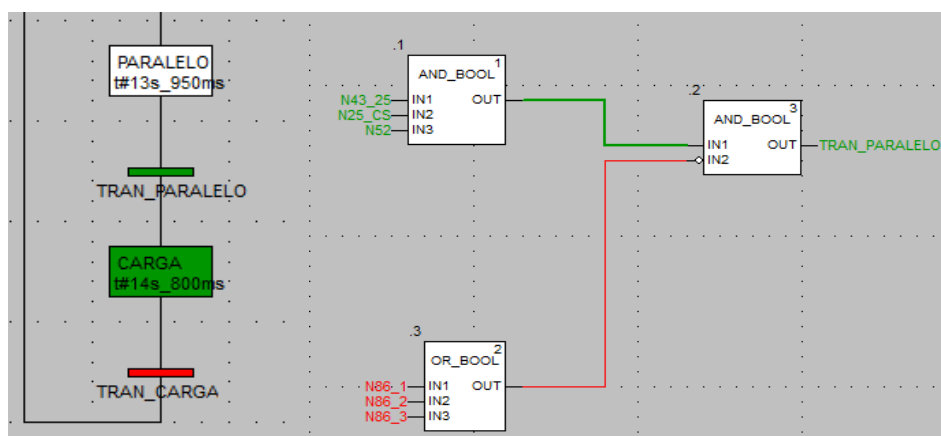


Nota. Tomado de *Unity PRO XL*, 2021.

De igual forma que la secuencia anterior, se verifica que la fase de excitación este activa, la selección manual o automática del sincronizador, el encendido del sincronizador que cumplirá la función de cerrar el disyuntor de máquina 52 siempre y cuando el voltaje generado sea igual al de la red en magnitud, frecuencia, y fase. Este proceso se evidencia en la Figura 102:

Figura 102

Simulación de la secuencia paralelo

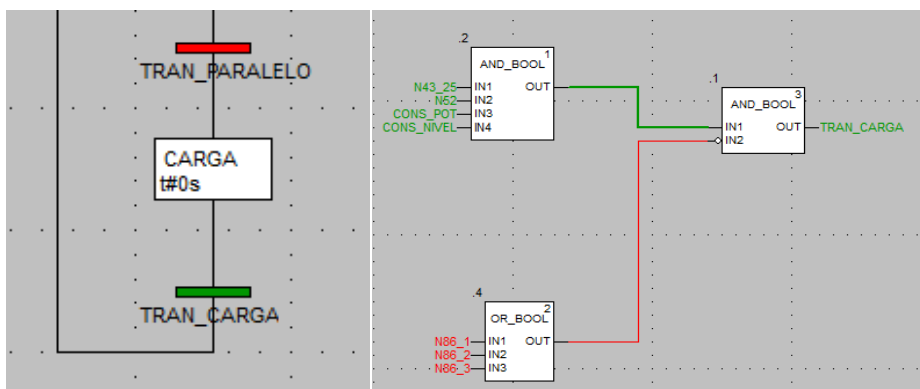


Nota. Tomado de *Unity PRO XL*, 2021.

Una vez se ejecuta la secuencia paralelo, se procede a verificar ahora las condiciones que proporcionan la activación de la secuencia de carga. En la cual se verifica la selección del modo de operación del sincronizador, así como el cierre del disyuntor de máquina 52. Finalmente se establece el valor de carga deseado o si fuese el caso de nivel, dependiendo del modo de trabajo de la central. Este último proceso se evidencia en la Figura 103:

Figura 103

Simulación de la secuencia de carga



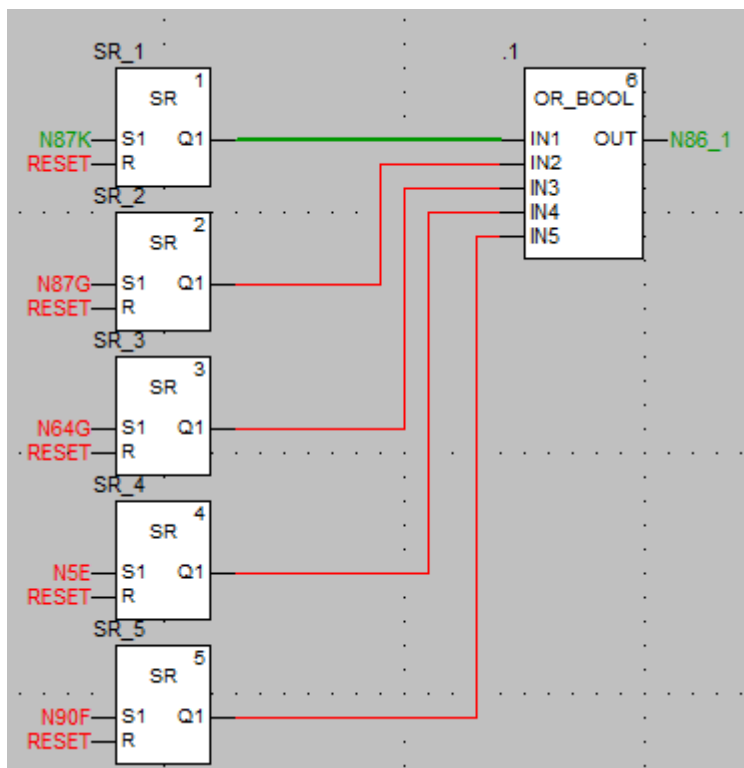
Nota. Tomado de Unity PRO XL, 2021.

- Simulación de falla de un generador

Dado que existen tres tipos de fallas: eléctrica, mecánica y rápida; se verificará la ejecución del proceso de parada, con un disparo eléctrico, en este caso se trata del diferencial del transformador 87K. Las acciones a tomar ante esta falla son abrir el disyunto de máquina, desconectar el AVR, y por su puesto cerrar los álabes. En la Figura 104 se aprecia este proceso:

Figura 104

Simulación de activación parada eléctrica 86_1



Nota. Tomado de Unity PRO XL, 2021.

Capítulo VI

Pruebas y resultados

Pruebas

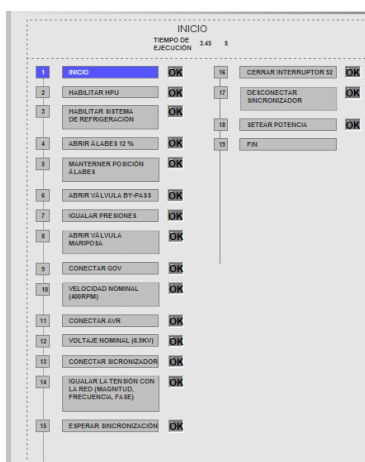
Para el desarrollo de las pruebas se ha usado el software CITEC SCADA versión 2018, ya que proviene del mismo fabricante de los PLC's (Schneider Electric), además que permite presentar y operar una interfaz de usuario

- Prueba de arranque:

Como se puede apreciar en la Figura 105, se ha diseñado una interfaz que permite la visualización de la fase en la cual se encuentra el proceso, siendo el primer paso el de inicio, donde se verifica la secuencia de preparación desarrollada previamente en el software Unity PRO XL, así como las condiciones iniciales que hacen posible la activación de la misma. Es decir, durante cada fase, existe un indicador que advierte la finalización o el comienzo de un nuevo paso. Un dato interesante es que se ha adjuntado un indicador numérico que establece el tiempo en cual se ejecuta el proceso.

Figura 105

Pantalla de resumen de secuencias, prueba de preparación



Otra prueba se presenta en la Figura 106, donde se aprecia la activación del indicador de la apertura de los álabes, es decir, nos encontramos en la secuencia de arranque, en la cual el regulador automático de velocidad ejecuta la orden de inyectar aceite mediante el servomotor hacia la válvula 65S, de arranque de turbina; permitiendo la apertura de los álabes en el 12 % de su totalidad.

Figura 106

Pantalla de resumen de secuencias, prueba de arranque



- Prueba de falla o disparo:

En la Figura 107 se presenta la activación de un disparo eléctrico, específicamente, se trata del diferencial del transformador (87K), causado por intensidades internas en el transformador, adaptadas en magnitud y comparadas en un relé que ejecuta el aviso hacia el PLC. Se evidencia por tanto, en la pantalla de resumen de fallas esta situación, lo cual conlleva efectos o acciones a tomar por parte

del operador que son: abrir el disyuntor de máquina (52), desconectar la excitación (quitar la inyección de corriente al excitatriz) y finalmente cerrar los álabes mediante la válvula 65S de parada de turbina. Estos procedimientos también son verificados en la misma pantalla, tal como se aprecia en la parte inferior de la Figura107.

Adicionalmente, debido a la memorización de alarmas se ha diseñado un botón en la interfaz, con el objetivo de resetear los disparos siempre y cuando, sean solucionados en su totalidad.

Figura 107

Pantalla de resumen de fallas, prueba de disparo eléctrico



CITEC SCADA nos brinda la capacidad de visualizar en tiempo real la activación de una alarma causada por una falla o disparo de cualquier tipo. Este hecho se evidencia en la Figura 108, y prueba a cabalidad el funcionamiento de las fallas generadas en la Central Hidroeléctrica Nayón.

Figura 108**Resumen de fallas en CITECT SCADA**

Date	Time	Tag	Name	State	Comment
14/3/2021	21:05:11	ALARMA_POT_ACT...	87K DIFERENCIAL DEL TRANSFORMADOR	LOW LOW	

Resultados

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto están relacionados directamente con las pruebas desarrolladas en la simulación, el diseño de los planos eléctricos y de interfaces, por lo tanto los resultados obtenidos son los siguientes.

- Resultados de la nueva lógica de control

Los resultados obtenidos durante la simulación de la lógica de control determinan el correcto funcionamiento de las fases de generación de la hidroeléctrica, así como las configuraciones del sistema de comunicaciones en base a la marca seleccionada y los protocolos establecidos en los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito. Los nuevos módulos seleccionados evidencian los beneficios adquiridos tanto en software como en hardware.

La programación de las nuevas secuencias de generación, dan a conocer la funcionalidad correcta de la central, dentro de parámetros estipulados y estandarizaciones internacionales.

- Aporte de la elaboración de planos eléctricos

El aporte de la elaboración de planos eléctricos se evidencian en las ventajas que ahora tienen los ingenieros y operadores de la central, al momento de verificar una conexión entre diferentes tableros eléctricos. Además de que la digitalización de los planos proporciona herramientas que evitan la impresión de los diagramas de conexión, simplemente con dar un clic en el documento, se podrá realizar la búsqueda del elemento deseado. El diseño del nuevo tablero cumple con todas las necesidades requeridas por la Empresa Eléctrica Quito.

- Aportes de la elaboración de las interfaces

Los aportes obtenidos en el desarrollo de las interfaces incluyen el correcto funcionamiento tanto para elementos de mando como botones e interruptores de la interfaz, gráficos de tendencia en función del tiempo, indicadores lumínicos y botones de navegación. Además de brindar ayuda a los operadores en las acciones a tomar frente a fallas o paradas y presentar visualmente la secuencia en la cual se encuentra el proceso.

Capítulo VII

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Durante la verificación del conexionado de los tableros pertenecientes a la Empresa Eléctrica Quito, se pudo comprobar la desvinculación de los planos eléctricos antiguos respecto al conexionado en campo, lo cual ha venido provocando errores.
- El uso de las nuevas tecnologías de hardware y software utilizadas en el diseño de este proyecto permitirá a partir de su implementación, mejorar la eficiencia operacional de la central.
- La selección adecuada de los dispositivos de control detallados en este proyecto permitirá a la Empresa Eléctrica Quito, tomar decisiones respecto de la adquisición de equipos.
- El diseño del nuevo tablero de control proporcionará durante su implementación, una idea clara de la distribución de los elementos dentro del mismo, así como la conexión con otros tableros de la central.
- Las interfaces humano máquina desarrolladas en este proyecto, permitirán a los operadores supervisar de una manera adecuada las variables y parámetros que intervienen en el proceso de generación hidroeléctrica, mediante el uso de nuevos indicadores tanto analógicos como digitales.

Recomendaciones

- Para la futura implementación es recomendable que el trabajo de instalación y puesta en marcha de la migración se lo haga con ayuda de los operadores, lo cual generaría una ayuda mutua en temas como el conocimiento de los lugares específicos de la central, así como el estudio del nuevo sistema a instalarse.
- Se recomienda la implementación urgente de sistemas de alarma, para los disparos o fallas dentro de cualquier sistema, ya que los operadores únicamente mantienen en la actualidad avisos gráficos.
- Es recomendable incluir la instrumentación del transformador de cada generador con el objetivo de conocer variables como la temperatura de los bobinados, el nivel de aceite, el funcionamiento de los ventiladores, y el estado de los seccionadores. Y anexarlas al SCADA diseñado.
- El sensor de nivel del tanque de drenaje generalmente siempre suele tener fallas, por ello es recomendable su mantenimiento o cambio a uno de mejores prestaciones.
- Se recomienda adquirir dos switch Ethernet para cada generador, ya que actualmente solo se cuenta con uno para toda la central, y si el mismo fallase toda la intercomunicación ser perdería, provocando una catástrofe que podría incluso sobrellevar vidas humanas.
- Se recomienda tomar en cuenta los cambios realizados en los planos eléctricos, basados en la verificación en punto de las conexiones de diferentes elementos, sobre todo los relés atribuidos al relé de bloqueo 86, ubicado en la parte frontal del tablero de control de los generadores 1 y 2.

- Se requiere de manera urgente la adquisición de otro servidor en la sala de control, debido a que ha cumplido su vida útil.
- Se espera que todo el conocimiento y dedicación a este proyecto sea de utilidad no solo para la empresa, sino también para investigaciones futuras, que aumenten la pasión y entrega por esta hermosa profesión.

Referencias bibliográficas

(s.f.).

ABB. (2004). *Manual de servicio UNITROL 1000-15*. Suiza.

Areatecnología. (2008). *Turbinas Hidráulicas*. Recuperado el 12 de diciembre de 2020, de <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html>

Ayala, R., & Hurtado, J. (2018). *DESARROLLO DE UN LABORATORIO VIRTUAL PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS SCADA PARA SISTEMAS DE GENERACIÓN*. Guayaquil: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Ayllon, N. (15 de Julio de 2020). *PROFI blog*. Obtenido de <https://us.profinet.com/guia-de-profinet-para-principiantes/>

Bill R. Hollifield, I. N. (2008). *The High Performance HMI Handbook*. Virginia: Plant Automation Services.

Blanco, E. (2014). Turbinas de acción. *CEUPE magazine*, 1.

Bosh, S. (2002). *Análisis de redes y sistemas de comunicaciones*. Barcelona: Ediciones UPC.

Camino, A. (2015). *INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUAS DE LA EPAM*. Sangolquí: ESPE.

Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas*. México DF, México: Mc Graw Hill.

Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). *Art 313: NORMAS*

CONSTITUCIONALES - SECTORES ESTRATÉGICOS. Montecristi.

Empresa Eléctrica Quito. (2007). *Empresa Eléctrica Quito Central Hidroeléctrica Nayón – Datos Técnicos*. Quito.

Empresa Eléctrica Quito. (2007). *Guía de operación de la interface hombre máquina para la Central Hidroeléctrica Nayón*. Quito.

Empresa Eléctrica Quito. (17 de Julio de 2014). Obtenido de

https://www.eeq.com.ec:8443/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7ISu5d/content/central-nayon-cumple-40-anos-de-generacion-hidroelectrica;jsessionid=F8C24632B434A8D29182700E9793D55C

Empresa Eléctrica Quito. (10 de Febrero de 2015). Recuperado el 19 de Mayo de 2020, de <https://www.eeq.com.ec:8443/nosotros/planificacion>

García-Mauricio, R. A. (Octubre de 2014). *CENTRALES ELÉCTRICAS*. Obtenido de

<https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/paginaprincipal.html>

Ghiggia. (15 de 12 de 2020). *Turbinas Francis*. Obtenido de

<http://www.ghiggia.it/es/productos/turbinas-francis>

Hollifield, B. (2008). *A High Performance HMI: Better Graphics for Operations Effectiveness*. Houston.

Hurtado, A. F. (28 de Febrero de 2020). *EEYMUC*. Obtenido de

<https://www.eeymuc.co/31-protocolo-modbus/>

Microsoft. (2015). *Windows Server*. Recuperado el 13 de marzo de 2021, de

<https://www.microsoft.com/en-ie/mrap/products/windows-server-2003>

- Microsoft. (14 de Enero de 2020). *Microsoft*. Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://www.microsoft.com/es-es/cloud-platform/windows-server-2008>
- Paredes, J. (2012). *Automatización del sistema de aire comprimido de los reguladores de velocidad para las turbinas en la central hidroeléctrica San Francisco*. Sangolquí.
- Pérez, E. (2015). *Los sistemas SCADA en la automatización industrial*.
- Pozo, J. (2007). *Guía de operación de la interfase hombre máquina para la central hidroeléctrica "Nayón"*. Quito: Empresa Eléctrica Quito.
- Rivera, B. (2018). *Desarrollo de una interfaz humano máquina de alto desempeño (HPHMI) para procesos de producción de crudo y gas en proyectos integrales del Ecuador PIL S.A.* Sangolquí.
- Rodriguez, A. (2010). *Comunicaciones Industriales*. Ciudad de México: Marcombo.
- Schneider Electric. (2008). *Manual Unity Pro*.
- Schneider Electric. (2010). *Unity Pro Lenguajes y estructura del programa Manual de referencia*.
- Schneider Electric. (2015). *Concept Software end of sale*. Recuperado el 23 de febrero de 2021, de <https://www.se.com/ww/en/product-range-download/545-concept-software/>
- Schneider Electric. (2015). *Rio drop and concept processor end of sale*. Recuperado el 23 de febrero de 2021, de <https://www.se.com/ww/en/product/140CRA93100/rio-drop-adaptor-module-modicon-quantum---1-connector-with-single-cable/>
- Schneider Electric. (2017). *Modernisation de la plate-forme Modicon Quantum*. Sidney.

Schneider Electric. (2017). *Modicon M580 autónomo: Guía de planificación del sistema para arquitecturas utilizadas con más frecuencia.*

Schneider Electric. (2018). *Vijeo Citect SCADA.*

Schneider Electric. (2019). *Modicon Quantum: 140CRA31908 Módulo adaptador.*

Schneider Electric. (2 de Lujio de 2019). *Schneider Electric.* Recuperado el 20 de Mayo de 2020, de <https://www.se.com/us/en/product/140CPU11303/concept-processor-80186-modicon-quantum---1-modbus-plus%2C-2-modbus-rs232/>

Schneider Electric. (2019). *Unity M580 Application Converter Manual del usuario.*

Schneider Electric. (2020). *Modicon M580 Catalog January 2020.* Sidney.

Siemens, S.A. (2017). *Tendencias en terminales de operador HMI.*

Teresa Martín Blas, A. S. (Octubre de 2014). *Montes2.* Obtenido de <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/default.htm>

Toapanta, A. (2010). *Implementación de un Tablero automático de control para servicios generales de la central hidroeléctrica Cumbayá de la Empresa Eléctrica Quito.* Quito.

Trujillo, C. (2015). *Análisis de riesgos y peligros, hazop y el arbol de fallas, una opción de ingeniería para subir los niveles de eficiencia en el mantenimiento y disponibilidad de equipos en subestaciones de sitribución .* Quito: EPN.

VatechHydro. (2004). *Regulador de Velocidad Automático - Manual de Servicio.*

Yassine, K. (14 de Octubre de 2019). *Kionetworks.* Obtenido de <https://www.kionetworks.com/blog/data-center/que-es-la-interconexion-de-redes>

Anexos

Anexo A: Planos eléctricos del sistema de control generador 1

Anexo B: Planos eléctricos RIO generador 1

Anexo C: Planos eléctricos Regulador Automático de Voltaje

Anexo D: Planos eléctricos Regulador Automático de Velocidad

Anexo E: Planos eléctricos tanque de fugas

Anexo F: Planos eléctricos tanque sumidero

Anexo G: Planos eléctricos de engrase

Anexo H: Planos eléctricos servicios generales

Anexo I: Planos eléctricos de compresores

Anexo J: Planos eléctricos de distribución

Anexo K: Planos eléctricos de drenaje