



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**IMPLEMENTACIÓN DE DIAGRAMAS FUNCIONALES NORMALIZADOS EN
LA OPERACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA MATANZAS Y SAN ISIDRO, UTILIZANDO GRAFCET**

Raúl Enrique Girón Matta

Asesorado por el Ing. Jorge Iván Ávila Rosales

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE DIAGRAMAS FUNCIONALES NORMALIZADOS EN
LA OPERACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA MATANZAS Y SAN ISIDRO, UTILIZANDO GRAFCET**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RAÚL ENRIQUE GIRÓN MATTA
ASESORADO POR EL ING. JORGE IVÁN ÁVILA ROSALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE DIAGRAMAS FUNCIONALES NORMALIZADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATANZAS Y SAN ISIDRO, UTILIZANDO GRAFCET

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 18 de marzo de 2014.


Raúl Enrique Girón Matta

Guatemala, 20 de noviembre de 2014

Ingeniero:

Francisco Javier González López
Coordinador del Área de Potencia
Escuela Mecánica Eléctrica
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado ingeniero González:

Reciba un atento y cordial saludo, por medio de la presente y de acuerdo a la designación de mi persona en asesorar el trabajo desarrollado por el estudiante Raúl Enrique Girón Matta, carnet No. 2006-11139, titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE DIAGRAMAS FUNCIONALES NORMALIZADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATANZAS Y SAN ISIDRO, UTILIZANDO GRAFCET"**; le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante, encontrando satisfactorio su contenido y elaboración. Considero que el trabajo presentado ha sido desarrollado cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de asesoría.

Con base en lo anterior me permito dar aprobación y recomendación del mismo, asimismo solicito realizar el trámite correspondiente para culminar con el proceso de graduación.

Agradeciendo su atención y colaboración, me es grato suscribirme

Sin otro particular

Atentamente



Ing. Jorge Iván Ávila Rosales

Colegiado No. 9232

Asesor

Jorge Iván Ávila Rosales
INGENIERO ELECTRICISTA
Col. No. 9232



Ref. EIME 03 2015
Guatemala, 26 de NOVIEMBRE 2014.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
IMPLEMENTACIÓN DE DIAGRAMAS FUNCIONALES
NORMALIZADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS
GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA MATANZAS Y SAN ISIDRO, UTILIZANDO
GRAFSET, del estudiante, Raúl Enrique Girón Matta, que
cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑADA TODOS

Ing. Francisco Javier González López
Coordinador Área Potencia

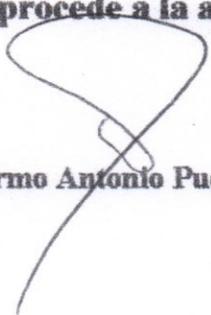


SRO



REF. EIME 03. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; RAÚL ENRÍQUE GIRÓN MATTA titulado: IMPLEMENTACIÓN DE DIAGRAMAS FUNCIONALES NORMALIZADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATANZAS Y SAN ISIDRO, UTILIZANDO GRAFCET, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 21 DE ENERO 2015.



DTG. 099 .2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE DIAGRAMAS FUNCIONALES NORMALIZADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA MATANZAS Y SAN ISIDRO, UTILIZANDO GRAFCET**, presentado por el estudiante universitario: **Raúl Enrique Girón Matta**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 9 de marzo de 2015



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme vida y sabiduría para continuar con las metas propuestas.
Mi madre	Roselia Etelvina Matta Franco, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y por su carisma.
Mis hermanas	Olga y Julia Girón, por su apoyo incondicional.
Mis sobrinos	Alessia Gómez Girón y Joaquín Zamora Girón, por inspirarme a finalizar este trabajo.
Una persona especial	Sonia González.
Mis amigos	Por las experiencias vividas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de desarrollar mi carrera profesional en tan prestigiosa institución. Por todos los recuerdos y momentos vividos.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad de desarrollar mi carrera profesional en tan prestigiosa Facultad.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	A todos los profesionales que conforman esta Escuela, por transmitir sus conocimientos y sabiduría dentro de las aulas.
Enel Green Power	Gracias por brindarme las herramientas para el desarrollo de mi trabajo de graduación y por integrarme a su equipo de trabajo.
Mi asesor	Ing. Jorge Iván Ávila Rosales, por ser un amigo y consejero.
Mis amigos	Jorge Padilla, Pablo Ríos, Gary Martín, David Mazariegos, José Divas, Pablo Martínez, Edwin Quintana, Rony Aureliano, Lisandro Solares, Juan Carlos Muñoz, Guillermo Mejilla, Juan Luis Irving y muchos más que me faltan, quienes estuvieron presentes en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Síntesis de la Norma IEC 60848.....	1
1.1.1. Introducción.....	1
1.1.2. Alcance y objeto.....	1
1.1.3. Principios generales.....	2
1.1.4. Gráfico funcional de control de etapas y transiciones.....	2
1.1.5. Aplicación de las reglas de evolución.....	5
1.2. GRAFCET.....	7
1.2.1. Etapa.....	8
1.2.2. Acción asociada.....	9
1.2.3. Transición y receptividad.....	12
1.2.4. Arco.....	13
1.2.5. Reglas de evolución del GRAFCET.....	14
1.2.5.1. Regla Núm. 1.....	15
1.2.5.2. Regla Núm. 2.....	15
1.2.5.3. Regla Núm. 3.....	16
1.2.5.4. Regla Núm. 4.....	16

1.2.5.5.	Regla Núm. 5.....	16
1.2.6.	Estructuras en el GRAFCET.....	17
1.2.6.1.	Secuencia única	17
1.2.6.2.	Secuencias paralelas.....	17
1.2.7.	Estructuras lógicas en el GRAFCET.....	18
1.2.7.1.	Divergencia OR	19
1.2.7.2.	Convergencia en OR	20
1.2.7.3.	Divergencia en AND	20
1.2.7.4.	Convergencia en AND	21
1.2.7.5.	Salto condicional.....	22
1.2.8.	Niveles de diagramas GRAFCET	23
1.2.8.1.	GRAFCET nivel 1	23
1.2.8.2.	GRAFCET nivel 2	24
1.2.8.3.	SFC nivel 3.....	24
1.3.	Características de carga de la central hidroeléctrica	25
1.3.1.	Definición de centrales hidroeléctricas.....	25
1.3.2.	Definición de máquinas sincrónicas.....	26
2.	SISTEMA HIDROELÉCTRICO MATANZAS Y SAN ISIDRO	27
2.1.	Operación y funcionamiento de los generadores síncronos	27
2.2.	Parámetros operativos de los generadores síncronos.....	29
2.3.	Sistema de compuertas de la central hidroeléctrica	32
2.4.	Sistema eléctrico y sistema de comunicación.....	36
2.4.1.	Primer nivel de control.....	44
2.4.2.	Segundo nivel de control	45
2.4.3.	Tercer nivel de control	46
2.5.	Operación de las unidades generadoras a través del SCADA.....	48

2.5.1.	Monitoreo y control de los generadores síncronos	48
2.5.2.	Condiciones de arranque desde un paro completo de la unidad generadora Matanzas.....	54
2.5.3.	Condiciones de arranque desde un paro completo de las unidades generadoras San Isidro.....	58
2.5.4.	Arranque de los generadores.....	61
2.5.5.	Paro de los generadores.....	65
3.	OPERACIÓN Y CONTROL DE LOS GENERADORES.....	73
3.1.	Control de etapas de los generadores	73
3.2.	Arranque de unidad Matanzas	75
3.2.1.	Lista de condiciones para el arranque.....	77
3.3.	Paro normal de unidad Matanzas	79
3.3.1.	Lista de condiciones de paro normal.....	80
3.4.	Paro de emergencia de unidad Matanzas.....	81
3.4.1.	Lista de condiciones de paro de emergencia	84
3.5.	Arranque de unidad 1 y 2 de San Isidro.....	85
3.5.1.	Lista de condiciones para el arranque.....	87
3.6.	Paro normal de unidad 1 y 2 de San Isidro	88
3.6.1.	Lista de condiciones de paro normal.....	90
3.7.	Paro de emergencia de unidad 1 y 2 de San Isidro.....	91
3.7.1.	Lista de condiciones de paro de emergencia	94
4.	GRAF CET Y ANÁLISIS DE FALLAS.....	97
4.1.	GRAF CET 1 nivel 1 arranque del generador Matanzas	97
4.1.1.	Aclaraciones del GRAF CET 1.....	98
4.2.	GRAF CET 2 nivel 2 arranque del generador Matanzas	99

4.2.1.	Subprograma 1 de arranque.....	105
4.2.2.	Subprograma 2 de arranque.....	106
4.2.3.	Aclaraciones del GRAFCET 2	107
4.3.	GRAFCET 3 nivel 1 paro normal del generador Matanzas	108
4.3.1.	Aclaraciones del GRAFCET 3	109
4.4.	GRAFCET 4 nivel 2 paro normal del generador Matanzas	110
4.4.1.	Aclaraciones del GRAFCET 4	111
4.5.	GRAFCET 5 nivel 1 paro de emergencia del generador Matanzas	111
4.5.1.	Aclaraciones del GRAFCET 5	113
4.6.	GRAFCET 6 nivel 2 paro de emergencia del generador Matanzas	113
4.6.1.	Aclaraciones del GRAFCET 6	115
4.7.	GRAFCET 7 nivel 1 arranque de los generadores de San Isidro	115
4.7.1.	Aclaraciones del GRAFCET 7	117
4.8.	GRAFCET 8 nivel 2 arranque de los generadores de San Isidro	118
4.8.1.	Aclaraciones del GRAFCET 8	122
4.9.	GRAFCET 9 nivel 1 paro normal de los generadores de San Isidro.....	122
4.9.1.	Aclaraciones del GRAFCET 9	124
4.10.	GRAFCET 10 nivel 2 paro normal de los generadores de San Isidro.....	124
4.10.1.	Aclaraciones del GRAFCET 10	126
4.11.	GRAFCET 11 nivel 1 paro de emergencia de los generadores de San Isidro	126
4.11.1.	Aclaraciones del GRAFCET 11	128

4.12.	GRAFCET 12 nivel 2 paro de emergencia de los generadores de San Isidro.....	128
4.12.1.	Aclaraciones del GRAFCET 12.....	130
4.13.	Análisis de fallas utilizando GRAFCET	130
4.13.1.	Análisis de confiabilidad en la operación.....	131
4.13.2.	Análisis de causa raíz	132
4.13.3.	Análisis de causa raíz con GRAFCET.....	134
4.13.4.	Riesgos en operación	136
4.13.5.	Matriz de evaluación de riesgos	136
	CONCLUSIONES	139
	RECOMENDACIONES.....	141
	BIBLIOGRAFÍA.....	143
	APÉNDICES.....	147
	ANEXOS	185

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de etapa	9
2.	Acción condicional	11
3.	Representación de etapas condicionales	11
4.	Formas de representar la receptividad	12
5.	Etapas y transiciones	13
6.	No se produce franqueamiento si la transición no es validada	14
7.	No se produce franqueamiento si la condición no es verdadera.....	14
8.	Se produce franqueamiento si la transición es válida y la condición es verdadera	15
9.	Secuencias paralelas	18
10.	Divergencia en OR.....	19
11.	Convergencia en OR.....	20
12.	Divergencia en AND.....	21
13.	Convergencia en AND.....	22
14.	a) Salto condicional b) Bucle	23
15.	Estructuras lógicas principales	24
16.	Cadena hidrológica de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro	36
17.	Diagrama unifilar de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro	39
18.	Sistema de comunicación de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro.....	44
19.	Configuración del sistema de control.....	47
20.	Pantalla principal del SCADA.....	49

21.	Permisivas de arranque generador Matanzas.....	58
22.	Permisivas de arranque generador 1 de San Isidro	61
23.	Arranque del generador Matanzas.....	63
24.	Arranque del generador 1 San Isidro	65
25.	Paro normal del generador Matanzas	67
26.	Paro normal del generador 2 de San Isidro	69
27.	GRAFCET 1 nivel 1 arranque del generador Matanzas	97
28.	Análisis de confiabilidad operacional	132
29.	Árbol lógico de falla	133

TABLAS

I.	Control de la planta hidroeléctrica Matanzas y San Isidro	41
II.	Etapas de arranque del generador Matanzas	62
III.	Etapas de arranque de los generadores de San Isidro	64
IV.	Etapas de paro normal del generador Matanzas	66
V.	Etapas de paro normal de los generadores de San Isidro	68
VI.	Etapas de paro de emergencia del generador Matanzas.....	70
VII.	Etapas de paro de emergencia de los generadores de San Isidro	71
VIII.	Secuencia de arranque del generador Matanzas	75
IX.	Secuencia de paro normal del generador Matanzas.....	79
X.	Secuencia de paro de emergencia del generador Matanzas	82
XI.	Secuencia de arranque de los generadores 1 y 2 de San Isidro	85
XII.	Secuencia de paro normal de los generadores 1 y 2 de San Isidro	89
XIII.	Secuencia de paro de emergencia de los generadores 1 y 2 de San Isidro	92
XIV.	GRAFCET 2 nivel 2 arranque del generador Matanzas	100

XV.	Subprograma 1 de arranque	105
XVI.	Subprograma 2 de arranque	106
XVII.	GRAFCET 3 nivel 1 paro normal del generador Matanzas.....	108
XXVIII.	GRAFCET 4 nivel 2 paro normal del generador Matanzas.....	110
XIX.	GRAFCET 5 nivel 1 paro de emergencia del generador Matanzas	112
XX.	GRAFCET 6 nivel 2 paro de emergencia del generador Matanzas	114
XXI.	GRAFCET 7 nivel 1 arranque de los generadores de San Isidro .	116
XXII.	GRAFCET 8 nivel 2 arranque de los generadores de San Isidro .	118
XXIII.	GRAFCET 9 nivel 1 paro normal de los generadores de San Isidro	123
XXIV.	GRAFCET 10 nivel 2 paro normal de los generadores de San Isidro	125
XXV.	GRAFCET 11 nivel 1 paro de emergencia de los generadores de San Isidro	127
XXVI.	GRAFCET 12 nivel 2 paro de emergencia de los generadores de San Isidro	129
XXVII.	Árbol lógico para encontrar causa raíz.....	134
XXVIII.	Nivel de consecuencia de falla en operación	137
XXIX.	Clasificación de las consecuencias	137
XXX.	Nivel de exposición del operador	137
XXXI.	Probabilidad de falla	138
XXXII.	Magnitud de riesgo en operación	138
XXXIII.	Magnitud de riesgo en operación	138

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio, intensidad de corriente
DE	Cojinete del lado de accionamiento, <i>Drive End</i>
AC/DC	Corriente alterna/corriente directa
Hz	Hertz, unidad de frecuencia
SF₆	Hexafloruro de azufre, gas
km²	Kilómetro cuadrado, unidad de superficie
km	Kilómetro, unidad de longitud
kV	Kilovoltio, medida de potencial eléctrico
lts/hr	Litros por hora, medida de caudal
MW	Mega vatio, potencia activa
MVar	Mega volt ampere reactivo, potencia reactiva
m³/s	Metro cúbico por segundo, medida de caudal
m³	Metro cúbico, unidad de volumen
mm	Milímetro, unidad de longitud
mm/s	Milímetros por segundo
rpm	Revoluciones por minuto, unidad de frecuencia
Bar	Unidad de presión
V_{AC}	Voltaje en corriente alterna

GLOSARIO

ABCET	Asociación Francesa para la Cibernética, Economía y Técnica.
Acción	Un elemento del lenguaje GRAFCET asociado a una etapa que indica una actividad a realizar sobre la(s) variable(s) de salida.
ADEPA	Agencia Nacional para el Desarrollo de la Producción Automatizada.
AMM	Administrador del Mercado Mayorista.
Autómata	Dispositivo que desarrolla una serie de métodos en forma automática y continua, realizando operaciones para procesar información de entrada y así producir otra de salida.
AVR	Regulador automático de voltaje, <i>Automatic Voltage Regulator</i> .
Caudal	Cantidad de fluido que progresa en una unidad de tiempo.

Central hidroeléctrica	Un conjunto de equipos electromecánicos, obra civil y maquinaria general, por medio de los cuales se realiza la transformación de energía potencial, que es proporcional a la altura, a energía cinética, que se encuentra asociada al movimiento giratorio y, por último se transforma en energía eléctrica.
Cojinete	Consiste en una pieza o conjunto de piezas que tienen la función de soporte y de hacer girar el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.
Compuerta	Es un dispositivo hidráulico-mecánico que tiene como función principal regular el paso de agua u otro fluido en una presa, canal u otra estructura.
Confiabilidad	Disponibilidad de un sistema eléctrico de potencia, es la probabilidad de que un equipo o sistema permanezca en funcionamiento por un período de tiempo determinado sin fallas.
Confiabilidad operativa	Una serie de procesos de mejora continua, incorpora en forma sistemática, avanzadas técnicas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías; para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la operación.

Contingencia	Probabilidad o riesgo de que suceda un evento determinado en forma imprevista, ocurre cuando un elemento de la red es retirado o sale de servicio por falla.
Cuenca	Espacio territorial limitado por las partes más altas de las montañas y en ella se desarrolla un sistema de drenaje superficial que concentra sus aguas en un río que se integra al mar, lago u otro río más grande.
Devanado	Arrollamiento de alambre de cobre u otro material alrededor de un núcleo ferro magnético con el fin de producir un campo electromagnético giratorio.
Diagrama unifilar	Representación gráfica de un sistema eléctrico de potencia en una sola línea, independientemente del número de fases que este sistema contenga.
ELA	Enel Latinoamérica.
Energía renovable	Energía que se obtiene de fuentes naturales como alternativas para la generación de energía eléctrica sin contaminar el medio ambiente.
Enlace	Elemento del lenguaje GRAFCET que indica las rutas de evolución entre etapas mediante la conexión de etapas para las transiciones y las transiciones a las etapas.

ESD	Paro de emergencia, “Emergency Shutdown”.
Etapa	Elemento del lenguaje GRAFCET que se utiliza para la definición del estado de la parte secuencial de un sistema y puede ser activa o inactiva.
Factor de disponibilidad	También llamado factor de operación, es la relación entre el número de horas de operación de la unidad generadora o de la central entre el número total de horas en el período de referencia.
Factor de capacidad	También llamado factor de carga de la central eléctrica, es el cociente entre la energía real generada anual y la energía trabajando a plena carga durante el mismo período.
Factor de potencia	Relación entre la potencia activa y la potencia aparente, mide la capacidad de una carga de absorber potencia activa.
Factor de potencia	Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, mide la capacidad de una carga de absorber potencia activa.
Factor de utilización	La relación entre el número de horas de utilización anual y el número total de horas al año.

Frecuencia	Magnitud que mide el número de ciclos o repeticiones por unidad de tiempo de un fenómeno, para este caso de una onda sinodal.
Generador síncrono	Máquina de corriente alterna cuya velocidad en estado estable es proporcional a la corriente en su armadura. La velocidad de giro del campo magnético que crean las corrientes de armadura, tiene la misma velocidad que el campo magnético creado por la corriente de campo del rotor, por tanto, ambos giran en sincronismo produciendo un par estable.
GRAF CET	Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones.
HMI	Interfaz hombre máquina, Human Machine Interface.
Hora pico	Período de tiempo en el que, regularmente se tiene una mayor demanda de energía eléctrica, usualmente se da de 18:00 a 22:00 horas.
HPU	Unidad de alta presión, High Pressure Unit.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional, International Electrotechnical Commission.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.

Interruptor de potencia	Dispositivo electromecánico cuya función principal es abrir o cerrar un circuito eléctrico bajo condiciones normales o de falla.
ISO	Organización Internacional de Normalización, “International Organization for Standardization”.
Línea de transmisión	Sistema de conductores utilizados para transportar energía en forma de ondas electromagnéticas, de una fuente a una carga.
msnm	Metros sobre el nivel del mar, altitud.
NDE	Cojinete del lado opuesto al accionamiento, “Non Drive End”.
Núcleo	Material ferro magnético, en el cual la interacción magnética provoca que los momentos magnéticos tiendan a disponerse en la misma dirección y sentido.
PLC	Controlador lógico programable, “Programmable Logic Controller”.
Potencia activa	Potencia que corresponde a un valor medio de potencia en un período de tiempo y representa la capacidad de un circuito de transformar la energía eléctrica en trabajo, se mide en watt.

Potencia reactiva	Potencia consumida por circuitos de corriente alterna que poseen cargas reactivas, esta no produce trabajo útil, ya que su valor medio es nulo. Las cargas reactivas pueden ser motores, transformadores de voltaje y cualquier otro dispositivo similar que posea bobinas.
Presa	Obra civil construida en el cauce de un río, con el objetivo de almacenar o derivar agua.
Regulador de velocidad	Sistema que tiene la función de controlar en forma automática el movimiento giratorio del rotor del generador síncrono, ya que debido al cambio en la demanda de potencia, se necesitan mecanismos que adapten en todo momento la generación al consumo.
Regulador de voltaje	Corresponde al sistema de excitación utilizado para proveer de corriente al devanado de campo del generador síncrono, tiene la función de regular la tensión en las terminales del generador y operar dentro de las capacidades permitidas por los equipos.
Relé buchholtz	Dispositivo de seguridad montado sobre los transformadores que tengan sistema de refrigeración con aceite. Actúa ante acumulación de gases en el aceite debido a problemas internos en el transformador, tales como salto de corriente entre espiras, corrientes a masa, puntos calientes.

RRO	Reserva rodante operativa.
RTU	Unidad terminal remota, Remote Terminal Unit.
SCADA	Supervisión, Control y Adquisición de Datos, “Supervisory Control And Data Acquisition”.
Seccionador	Dispositivo mecánico con la función de aislar eléctricamente cierta parte de una red eléctrica para manipular equipos sin carga o en vacío, con el fin de evitar riesgos innecesarios.
SIN	Sistema Nacional Interconectado.
Sistema de control	Un controlador que recibe acciones externas o variables de entrada y la reacción a estas acciones externas produce las variables de salida, tiene la función de manipular las variables de control para obtener valores definidos.
Subestación	Conjunto de equipos electromecánicos de una red eléctrica de potencia, situados a cierta distancia de seguridad, encargados de distribuir y transformar la energía eléctrica a ciertos niveles de voltaje y corriente, según la necesidad.

Transformador	Dispositivo electromecánico con la función de elevar o disminuir la tensión en una red eléctrica.
Transición	Un elemento del lenguaje GRAFCET que indica una posible evolución de la actividad entre dos o más etapas.
Turbina Pelton	Turbo-máquina motora de flujo radial, admisión parcial y de acción; que tiene la función de convertir la energía de un chorro de agua, que golpea las cucharas en energía mecánica giratoria.
UPS	Sistema de Alimentación Ininterrumpida, Uninterruptible Power Supply.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación contiene el análisis de la operación y funcionamiento de la Central Hidroeléctrica Matanzas y San Isidro, implementando GRAFCET. El objetivo fundamental para llevar a cabo la investigación es proponer una fuente de consulta para ingenieros y operarios de la central hidroeléctrica.

En el primer capítulo se hace una síntesis de la Norma IEC 60848. En el segundo se explica la operación y funcionamiento del sistema hidroeléctrico Matanzas y San Isidro a través del SCADA.

En el tercer capítulo se desarrolla una serie de tablas descriptivas, que detallan las etapas, órdenes y acciones realizadas por el autómatas en el proceso de paro y arranque de los generadores.

En el cuarto capítulo se implementan los diagramas GRAFCET, como una herramienta para análisis de fallas en el proceso de arranque y paro de los generadores.

Se utiliza el GRAFCET como herramienta lógica de investigación para analizar fallas y encontrar redundancias en los automatismos.

OBJETIVOS

General

Desarrollar la implementación de diagramas funcionales normalizados en la operación de los generadores síncronos de la Central Hidroeléctrica Matanzas y San Isidro, por medio de la creación de diagramas GRAFCET y a través de tablas descriptivas de la secuencia lógica del autómata.

Específicos

1. Presentar los fundamentos, símbolos y reglas utilizados para el desarrollo de los diagramas GRAFCET.
2. Explicar la operación y funcionamiento del sistema hidroeléctrico Matanzas y San Isidro a través del SCADA.
3. Desarrollar tablas descriptivas que muestren las etapas, órdenes y acciones realizadas por el autómata en el proceso de paro y arranque de los generadores.
4. Realizar los diagramas GRAFCET de los procesos paro normal, paro de emergencia y arranque de los generadores.
5. Utilizar los GRAFCET como una herramienta para análisis de fallas.

INTRODUCCIÓN

La implementación de diagramas funcionales normalizados en los procesos de paro y arranque de los generadores permite modelar la parte secuencial del automatismo. El GRAFCET es una especificación de modelado, y su realización consiste en un diagrama que tiene sus propias reglas de sintaxis.

Se pretende que la información plasmada en este trabajo de graduación, sirva como fuente de consulta para ingenieros y operarios de la central hidroeléctrica. La implementación de diagramas funcionales normalizados, permitirá desarrollar un modelo que simplifique la comprensión de las diversas secuencias realizadas en el proceso de paro y arranque de las máquinas.

La operación de los generadores se realiza a través del sistema SCADA, el cual está compuesto por 9 pantallas que tienen las funciones de monitoreo y control del sistema hidroeléctrico. Las pantallas de arranque y paro de los generadores consisten en un diagrama GRAFCET de nivel 1, ambos procesos tienen la opción de ejecutarse en modo paso a paso, o automático.

Por medio de la implementación de la Norma GRAFCET se facilitará la detección de fallas en los distintos modos de accionamiento de las máquinas y se visualizarán en forma más explícita, las secuencias realizadas por el autómatas. A través de diagramas funcionales normalizados se explicará el comportamiento del automatismo, para evitar incoherencias, bloqueos o conflictos en la operación de la planta.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Síntesis de la Norma IEC 60848

A continuación se presenta una síntesis de la Norma IEC 60848.

1.1.1. Introducción

El deseo de los usuarios para aumentar el lenguaje de especificación estandarizada con nuevos conceptos, permitiendo una descripción estructurada y jerárquica, es la principal razón para la revisión de la Norma.

Esta norma es, principalmente, para todas las personas (ingenieros de diseño, ingenieros de realización, ingenieros de mantenimiento, entre otros.) que necesiten especificar el comportamiento de un sistema (control-mando de máquina automática, componente de seguridad, entre otros). Este lenguaje de especificación, también debe servir como medio de comunicación entre los diseñadores y usuarios de sistemas automatizados.

1.1.2. Alcance y objeto

La Norma IEC-60848 es un estándar internacional que define el GRAFCET como un lenguaje de especificación para la descripción funcional de la conducta de la etapa secuencial de uno o varios sistemas de control.

Esta Norma especifica los símbolos y las reglas para la representación gráfica de este lenguaje, así como las normas para su interpretación.

La Norma ha sido preparada para los sistemas de producción automatizados de aplicaciones industriales. Sin embargo, no se excluye ningún ámbito concreto de aplicación.

Los métodos de la realización de una especificación, que hace uso de GRAFCET están fuera del ámbito de aplicación de esta Norma. Un método es, por ejemplo, el lenguaje SFC se especifica en IEC 61131-3, que define un conjunto de lenguajes de programación para los controladores programables.

1.1.3. Principios generales

El establecimiento del sistema automatizado requiere, en particular, una descripción en relación de causa y efecto. Para hacer esto, se describirá el aspecto lógico del comportamiento deseado del sistema.

La parte secuencial del sistema, al que se accede a través de variables de entrada y de salida booleanos, es el aspecto lógico de este sistema físico. El comportamiento indica la forma en la que las variables de salida dependen de las de entrada. El objetivo del GRAFCET es especificar el comportamiento de la parte secuencial de los sistemas.

1.1.4. Gráfico funcional de control de etapas y transiciones

El lenguaje de especificación GRAFCET permite mostrar el comportamiento esperado de un sistema secuencial dado. Este lenguaje se caracteriza, principalmente, por su gráfica de elementos, la cual, asociada a una expresión alfanumérica de variables, proporciona una representación sintética de la conducta de los sistemas.

- Reglas de sintaxis: la variación etapa-transición y transición-etapa, siempre deberá respetarse en forma de secuencia.
 - Consecuencias:
 - Dos etapas nunca se conectan directamente mediante un enlace dirigido.
 - El enlace dirigido solo se conectará, de una etapa a una transición, o de una transición a una etapa.
- Situación inicial: está descrita por el conjunto de etapas activas en este momento. La elección de la situación en el momento inicial depende de la metodología en relación con el tipo de parte secuencial del sistema considerado.
 - Regla 1: la situación inicial, elegida por el diseñador, es la situación en el momento inicial.
 - Regla 2: una transición se dice que está activada cuando todos los pasos, inmediatamente anteriores, vinculados a esta transición están activos. Se produce si:
 - La transición es válida.
 - Cuando su estado transición-condición asociado es verdadero.
 - Regla 3: el franqueamiento de una transición provoca simultáneamente la activación de todas las etapas subsiguientes

inmediatas y la desactivación de todas las etapas precedentes inmediatas.

- Evoluciones simultáneas: la evolución entre dos situaciones activas implica que ninguna otra situación intermedia es posible; el cambio de una representación de la situación por una serie de pasos para otra representación es instantánea.
- Regla 4: varias transiciones que puedan ser eliminadas de manera simultánea se borran de forma simultánea.
 - Activación simultánea y la desactivación de una etapa: si una etapa se incluye en la descripción de la situación anterior y de la siguiente, solo puede, por lo tanto, permanecer activa.
- Regla 5: si durante una operación, una etapa activa permanece activada y desactivada simultáneamente, se mantiene activa.
 - Modos de salida: las acciones permiten enlaces para establecer la conexión entre la evolución del GRAFCET y las salidas. Existen dos modos de salida, modo continuo o en modo almacenado, que describen cómo las salidas dependen de la evolución y de las entradas del sistema.
 - Modo continuo: la asociación de una acción con una etapa indica que una salida variable tiene un valor verdadero si el paso está activo y si la condición de asignación se verifica. La condición de asignación es una expresión lógica de las variables de entrada y/o las internas. Si una de las condiciones no se cumple y siempre

que ninguna otra acción relacionada con la misma salida cumpla las condiciones, la variable de salida en cuestión toma el valor falso.

- Modo almacenado: la asociación de una acción de eventos internos se utiliza para indicar que una variable de salida lleva y mantiene el valor aplicado si se produce uno de estos eventos. El valor de una salida en relación con una acción almacenada se mantiene sin cambios hasta que un nuevo evento especificado modifica su valor. La atribución realiza el almacenamiento, en un instante considerado, de un valor determinado a una variable de salida.

1.1.5. Aplicación de las reglas de evolución

Evolución no transitoria: significa que el evento de entrada solo conduce a una etapa de evolución (la compensación simultánea de una o más transiciones).

Evolución transitoria: en algunos casos, la aplicación de las reglas de evolución puede llevar a despejar sucesivamente algunas transiciones (en varias etapas de evolución). La transición de condiciones asociadas a dichas transiciones es verdadera, cuando las primeras transiciones consideradas se borran.

La descripción correspondiente, denominada transitoria, utiliza la ruta tomada para indicar cómo pasar de una situación previa a una situación posterior. Los pasos intermedios correspondientes, referidos como inestables no se activan, pero consideran que han sido virtualmente activados y

desactivados a lo largo del camino de evolución intuitivo, y también para las transiciones correspondientes que han sido prácticamente compensadas.

Consecuencia de una evolución transitoria sobre las asignaciones: la asignación de un valor de salida por una acción continua asociada a una etapa, que es una etapa inestable en el caso de una evolución transitoria, no es eficaz, ya que la etapa no está realmente activa.

Consecuencia de una evolución transitoria sobre las asignaciones: la asignación de un valor determinado de una salida por una acción de almacenada asociada a una etapa, que es una etapa inestable en el caso de una evolución transitoria, es eficaz mientras la asignación se asocia a los eventos que liberan esta evolución.

Comparación entre los dos modos de salida: la elección del modo de salida depende de la práctica y la metodología utilizada. Sin embargo, la atención de los diseñadores se señala a las importantes diferencias entre los dos modos.

- Determinación del valor de las salidas: en el modo continuo, todas las salidas se asignan de acuerdo a la situación, que en el verdadero valor de las salidas se indique expresamente las acciones asociadas a las medidas activas, y en el valor falso para el resto de los que se establecen implícitamente por omisión. En el modo de almacenado, solo las salidas consideradas se modifican de acuerdo con el valor indicado, los otros valores almacenados de las salidas se mantienen sin cambios.
- Análisis del valor de las salidas para un GRAFCET en un instante definido: en el modo continuo, el conocimiento de la situación y el valor

de las entradas es suficiente para determinar el valor de las salidas. En el modo de almacenado, el conocimiento de la situación y el valor de las entradas no es suficiente, las evoluciones anteriores también serán conocidas para determinar el valor de las salidas.

- Acciones relativas a la evolución transitoria: en el modo continuo, las acciones asociadas con una etapa inestable no se tienen en consideración, ya esta etapa no se activa. En el modo de almacenado, las acciones asociadas a los eventos y en relación con una evolución transitoria se tienen en cuenta debido a que ocurre la liberación de eventos activos de esta evolución.
- Posible conflicto en el valor de las salidas: en el modo continuo, la asignación de principios permite la asignación de conflictos en la salida particular que hay que evitar. En el modo de almacenado, las reglas de asignación no permiten la posible asignación de conflictos en una misma salida. El diseñador se asegurará de que dos asignaciones contradictorias no puedan ocurrir simultáneamente.

1.2. GRAFCET

Significa grafofuncional de control de etapa-transición, surge en Francia en 1977, como iniciativa de algunos fabricantes de autómatas, junto con la ABCET (Asociación Francesa para la Cibernética, Economía y Técnica) y ADEPA (Agencia Nacional para el Desarrollo de la Producción Automatizada). Estandarizada en la IEC 60848 por la Comisión Internacional de Electrotecnia.

La Norma IEC 60848:2002 define al GRAFCET como un lenguaje que permite modelar el comportamiento de la parte secuencial de un sistema automatizado. Posterior a esta, la Norma IEC 61131-3 define cinco lenguajes de

programación enfocados a los autómatas programables industriales, uno de ellos inspirado en el lenguaje GRAFCET se denomina Diagrama Funcional Secuencial (SFC).

El GRAFCET es un método gráfico de modelado de sistemas basados en automatismos de carácter secuencial. Tiene su origen en la unificación y en razonar los lenguajes descriptivos relativos a sistemas lógicos en general, para este caso específicamente de carácter secuencial. El Gráfico Funcional de Control de Etapas y Transiciones tiene la cualidad de ser una herramienta poderosa y metodológica para el desarrollo de automatismos con características secuenciales.

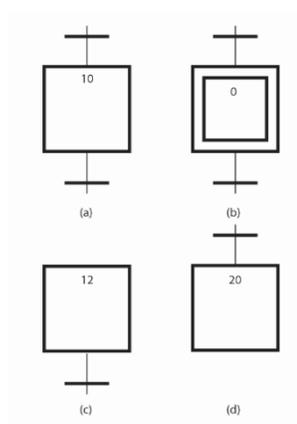
El modelado a través de GRAFCET garantiza una metodología de programación estructurada en forma descendente, que permite un desarrollo conceptual de lo general a lo particular, brindando una herramienta de análisis y detección de fallas en los procesos de arranque y paro de las unidades generadoras. El control adecuado a través de GRAFCET de procesos relacionados con la operación y funcionamiento de la máquina síncrona adquiere importancia en época de verano donde este proceso se realiza constantemente.

1.2.1. Etapa

Se define como una situación de comportamiento estable del sistema, en el cual todo o una parte del órgano de mando es constante con respecto a las entradas-salidas del sistema automatizado. Una etapa del GRAFCET se representa a través de un cuadro identificado por un número y esta puede tener uno de los siguientes estados: activa o inactiva.

- Etapa normal: ligada a una transición de entrada y a otra de salida.
- Etapa de inicialización: es aquella que deberá quedar activa al inicio de la ejecución del algoritmo de control.
- Etapa fuente: etapa que no posee transición de entrada.
- Etapa sumidero: etapa que no posee transición de salida, por tanto no está conectada a ningún elemento de salida.

Figura 1. **Tipos de etapa**



Fuente: elaboración propia.

1.2.2. **Acción asociada**

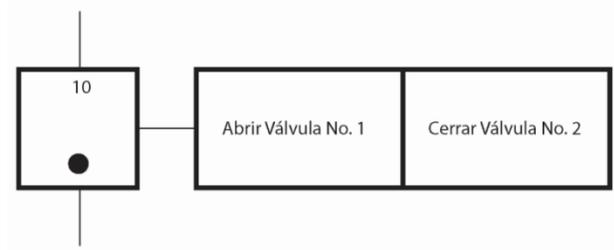
Consiste en tener una o más posibles operaciones a realizar en un sistema, cuando la etapa de la cual dependen dichas operaciones se encuentra activa. Para indicar que la etapa está activa, se coloca una marca en el interior del gráfico representativo de la etapa.

La acción o acciones a realizar durante la etapa del sistema, se indican mediante etiquetas que consisten en rectángulos conectados a las etapas correspondientes y situados a la derecha de estas. En el interior de la etiqueta se coloca la acción a realizar.

Cuando la etapa está activa las acciones a ejecutar sobre el proceso se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Reales: acciones concretas que se producen en el automatismo, abrir/cerrar, arrancar/parar.
- Internas: acciones producidas en el propio dispositivo de control operaciones, temporización, cuenta, cálculo numérico.
- Externas: se producen sobre el proceso, externo respecto al dispositivo lógico de control.
- Incondicionales: acciones que se ejecutan con solo quedar activas las etapas correspondientes.
- Condicional: requieren del cumplimiento de alguna condición adicional a la propia activación de la etapa correspondiente.
- Virtuales: no se realiza ninguna acción sobre el sistema; suelen utilizarse como situaciones de espera para que se produzca determinado evento, o se activen determinadas entradas al sistema, permitiendo la evolución del proceso. El estado de activación de una etapa se muestra gráficamente, mediante la colocación de una señal testigo en el interior de la etapa.

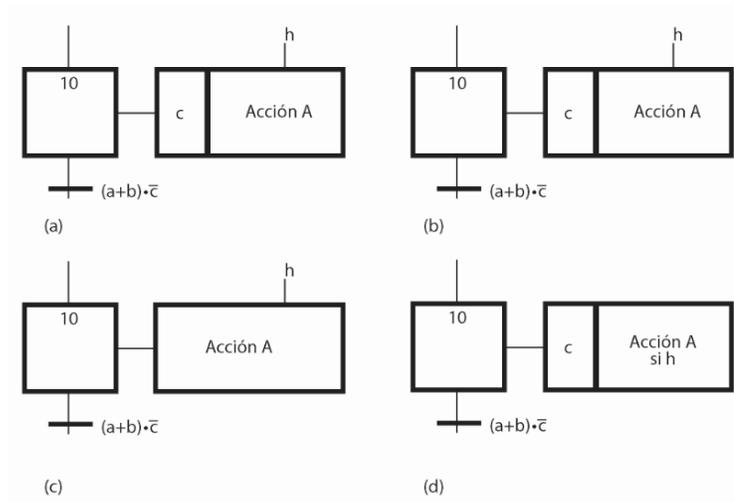
Figura 2. **Acción condicional**



Fuente: elaboración propia.

Para el caso en que una etapa no se encuentre activa, esta puede ser inactiva o activable. La diferencia radica en que en la etapa activable la transición inmediata anterior está validada sí, y solo si la etapa inmediata anterior se encuentra activa. Por tanto, una etapa es activable cuando está activa la etapa precedente.

Figura 3. **Representación de etapas condicionales**



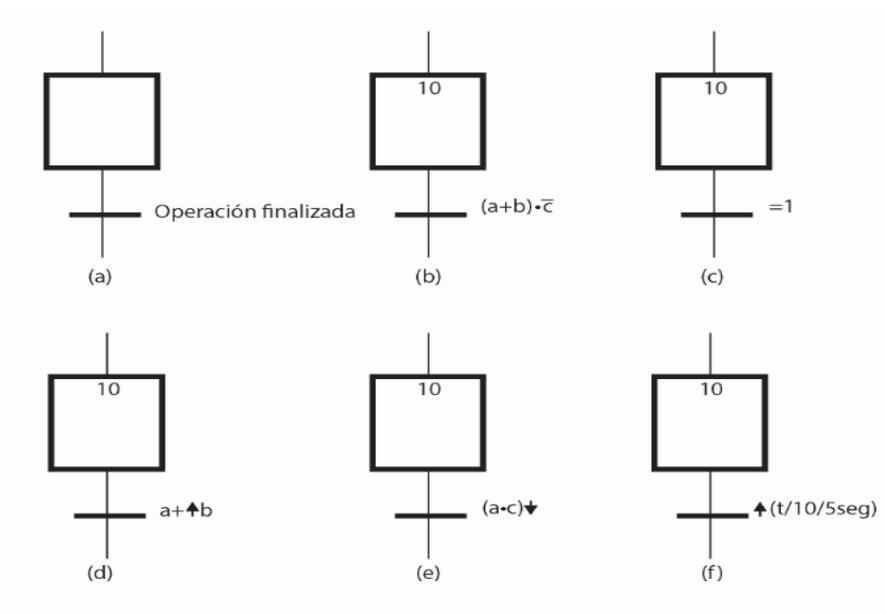
Fuente: elaboración propia.

1.2.3. Transición y receptividad

La transición es la asociación entre dos etapas consecutivas y cuyo franqueamiento hace posible la evolución del sistema. A toda transición le corresponde una condición o función lógica booleana denominada receptividad, que puede ser verdadera o falsa.

Una transición está validada, cuando la etapa o etapas precedentes a la transición están activas. El franqueamiento de la transición se da sí, y solo si la transición está validada y la receptividad es verdadera. La transición se representa mediante un segmento de recta dispuesto ortogonalmente al arco y la receptividad se puede escribir de forma literal o simbólica; dispuesta al lado derecho del símbolo gráfico de transición.

Figura 4. Formas de representar la receptividad



Fuente: elaboración propia.

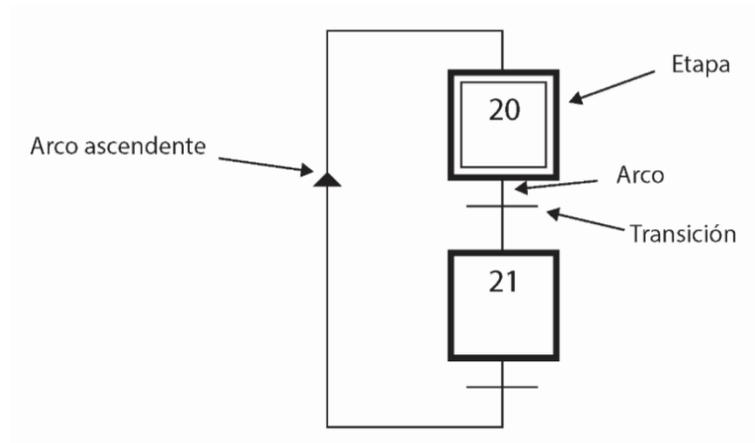
- Transición fuente: si esta no se encuentra ligada a una etapa previa.
- Transición sumidero: si esta no se encuentra ligada a una etapa posterior.

1.2.4. Arco

Consiste en un segmento de recta el cual une una transición con una etapa o viceversa, pero nunca elementos homónimos entre sí. Obligatoriamente debe cumplirse la alternancia entre etapas y transiciones.

Los arcos pueden ser representados en sentido vertical y horizontal. Los arcos verticales quedarán orientados mediante una flecha en caso que su sentido sea ascendente.

Figura 5. **Etapas y transiciones**

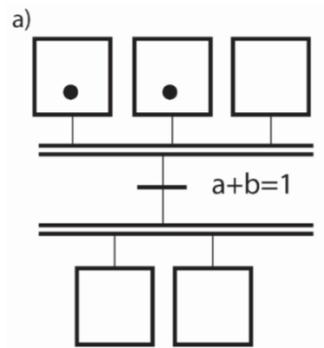


Fuente: elaboración propia.

1.2.5. Reglas de evolución del GRAFCET

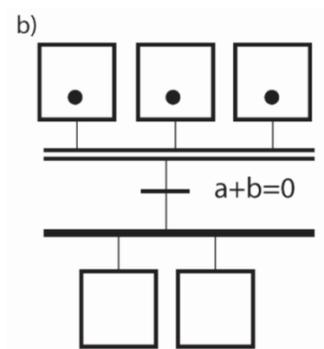
Por medio de estas cinco reglas se definirá la dinámica evolutiva de los sistemas modelados mediante la herramienta GRAFCET.

Figura 6. **No se produce franqueamiento si la transición no es validada**



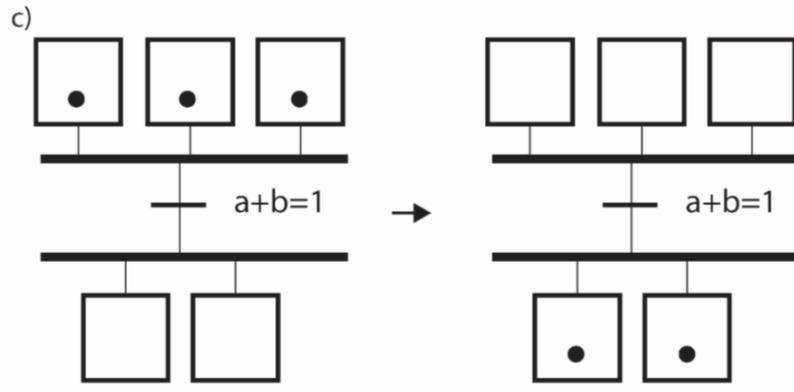
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **No se produce franqueamiento si la condición no es verdadera**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Se produce franqueamiento si la transición es válida y la condición es verdadera**



Fuente: elaboración propia.

1.2.5.1. Regla Núm. 1

La situación inicial de un GRAFCET, caracteriza el comportamiento inicial de la parte de control frente a la parte operativa, el operador o el agente externo. Es correspondiente con las etapas activas al inicio del funcionamiento y es correspondiente en general con una situación de reposo. La(s) etapa(s) iniciales son activadas en forma incondicional.

1.2.5.2. Regla Núm. 2

Una transición es válida cuando todas las etapas inmediatamente precedentes, unidas a esta transición, están activas. El franqueamiento de una transición se produce cuando:

- La transición esta validada
- La receptividad asociada a dicha transición es verdadera

Una transición puede ser:

- Validada
- No validada
- Liberada (franqueada)

Una etapa se define como activable sí, y solo si la transición previa se encuentra validada.

1.2.5.3. Regla Núm. 3

El franqueamiento de una transición tiene como consecuencia la activación de todas las etapas inmediatamente posteriores y la desactivación de la(s) etapa(s) inmediatamente previas a dicha transición.

1.2.5.4. Regla Núm. 4

Las transiciones conectadas en paralelo franqueables, se franquean en forma simultánea si se cumplen las condiciones requeridas para ello. La regla de franqueamiento simultáneo permite la descomposición de un GRAFCET en varios diagramas, de tal forma que se asegure la sincronización del mismo. En este caso, es necesario hacer intervenir en las receptividades los estados activos de las etapas.

1.2.5.5. Regla Núm. 5

Si durante su funcionamiento una misma etapa es activada en forma simultánea, esta deberá mantenerse activa.

1.2.6. Estructuras en el GRAFCET

Consiste en una serie de estructuras que dotan al GRAFCET con una capacidad de representación gráfica de los automatismos. A grandes rasgos se pueden clasificar en estructuras básicas y lógicas. Las estructuras básicas engloban conceptos secuenciales y de concurrencia, permiten realizar el análisis del sistema mediante su descomposición en subprocesos. Las estructuras lógicas engloban conceptos de concatenación, entre sí, de las estructuras previas.

1.2.6.1. Secuencia única

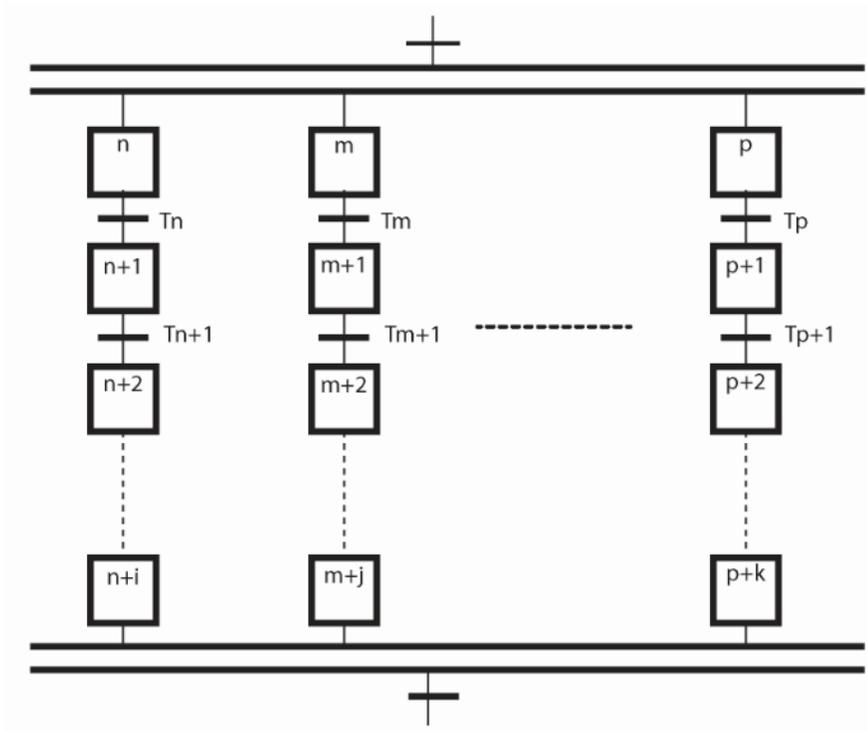
Una secuencia única está compuesta por un conjunto de etapas que van siendo activadas, una tras otra, sin tener interacción con otra estructura. En la secuencia única, a cada etapa le sigue una sola transición que es validada por una sola etapa.

La secuencia está activa, si una de sus etapas se encuentra activa; y es inactiva, si todas sus etapas se encuentran inactivas.

1.2.6.2. Secuencias paralelas

Se le llama secuencia paralela al conjunto de secuencias únicas, activadas de manera simultánea a través de una misma transición. Luego de la activación de las distintas secuencias, su evolución se produce de forma independiente.

Figura 9. **Secuencias paralelas**



Fuente: elaboración propia.

1.2.7. **Estructuras lógicas en el GRAFCET**

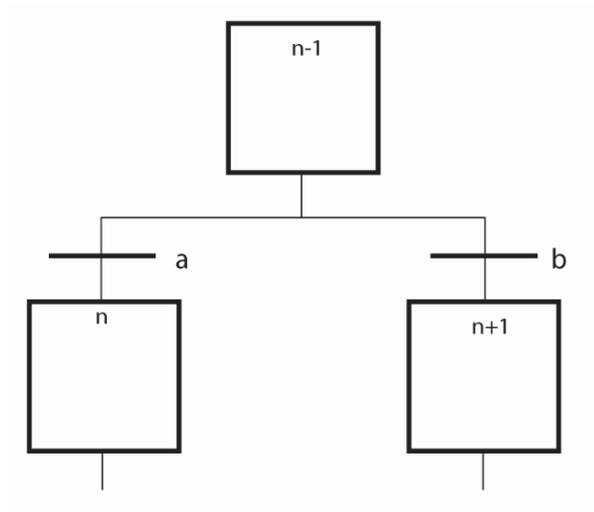
Las estructuras lógicas AND y OR se utilizan para modelar conceptos de secuencias concurrentes y secuencias exclusivas respectivamente. La contribución de dichas estructuras consiste en dotar al modelo de aspectos legibles, proporcionando una gran facilidad de identificación de los conceptos secuenciales y concurrentes que puedan ser implementados.

1.2.7.1. Divergencia OR

Una etapa n pasa a ser activa si, estando activa la etapa $n-1$, se satisface la receptividad de la transición a .

La etapa $n+1$ pasa a ser activa si, estando activa la etapa $n-1$, se satisface la receptividad de la transición b .

Figura 10. Divergencia en OR



Fuente: elaboración propia.

Se utiliza esta estructura lógica en el caso de querer modelar la posibilidad de tomar dos o más secuencias alternativas a partir de una etapa común.

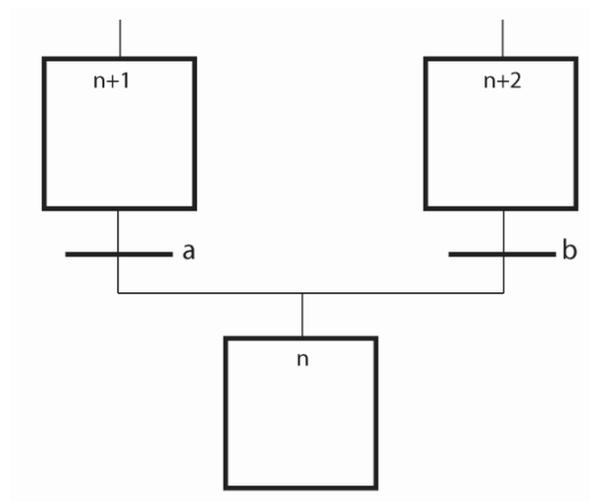
Ventaja: el GRAFCET permite el franqueamiento simultáneo de las transiciones participantes, de tal forma que puedan dispararse de modo concurrente.

Desventaja: no es adecuada para la ejecución de la concurrencia, posteriormente introduce problemas de sincronismo, ruido en el GRAFCET.

1.2.7.2. Convergencia en OR

La etapa n pasará a ser activa si, estando activa la etapa n-1, se satisface la receptividad de la transición a, o si estando activa la etapa n-2, se satisface la receptividad de la transición b.

Figura 11. Convergencia en OR

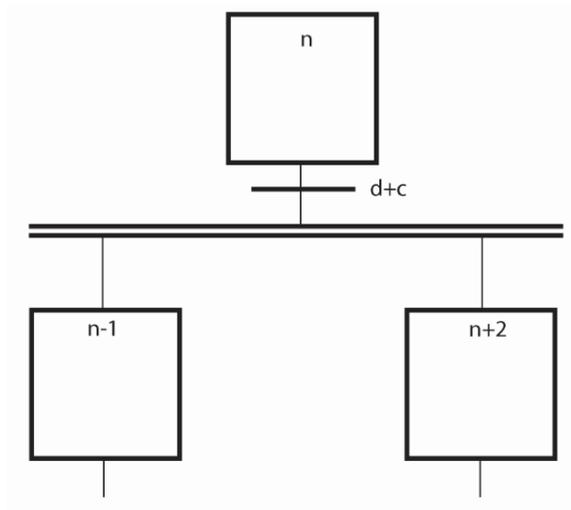


Fuente: elaboración propia.

1.2.7.3. Divergencia en AND

Las etapas n+1 y n+2 pasan a estar activas, si estando activa la etapa n, se satisface la receptividad de la transición f, cuya receptividad es $d + c$.

Figura 12. **Divergencia en AND**



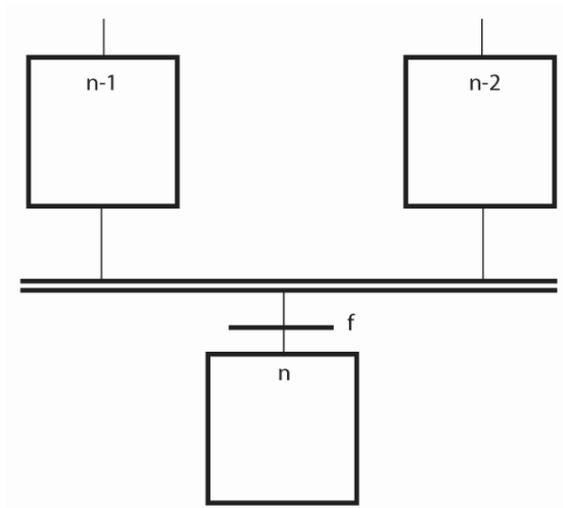
Fuente: elaboración propia.

Ventaja: la implementación de esta estructura lógica introduce el concepto de concurrencia y sincronismo, de tal forma que dos o más subprocesos del sistema, representados por secuencias paralelas, pueden ser activados de forma sincronizada; y luego evolucionar concurrentemente de forma independiente.

1.2.7.4. **Convergencia en AND**

La etapa n pasa a estado activo si, estando las etapas $n-1$ y $n-2$ activas, se satisface la receptividad f .

Figura 13. **Convergencia en AND**

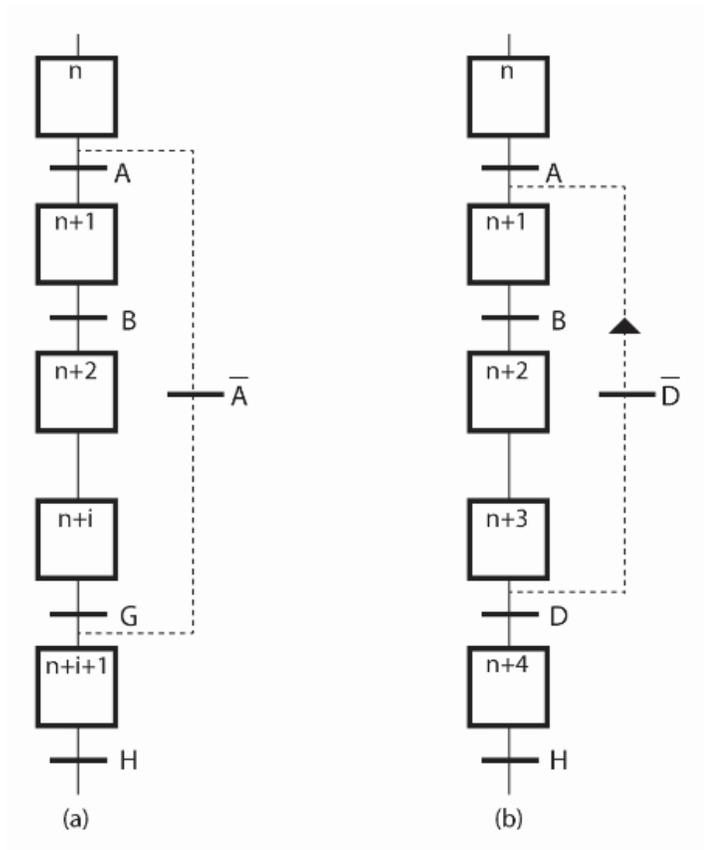


Fuente: elaboración propia.

1.2.7.5. **Salto condicional**

- Se produce un salto de la etapa n a la etapa $n+i+1$, si la receptividad representada por la variable A es $A=0$. Si $A=1$ se prosigue con la secuencia $n, n+1, n+2, n+1, \dots$
- Para producir una repetición de la secuencia de etapas $n, n+1, n+2, \dots, n+i$, en forma de bucle, mientras se mantenga el valor de la variable D en $D=0$.

Figura 14. a) Salto condicional b) Bucle



Fuente: elaboración propia.

1.2.8. Niveles de diagramas GRAFCET

A continuación se describen los niveles de diagramas GRAFCET.

1.2.8.1. GRAFCET nivel 1

Descripción global poco detallada del automatismo, que permite comprender en poco tiempo su funcionamiento general.

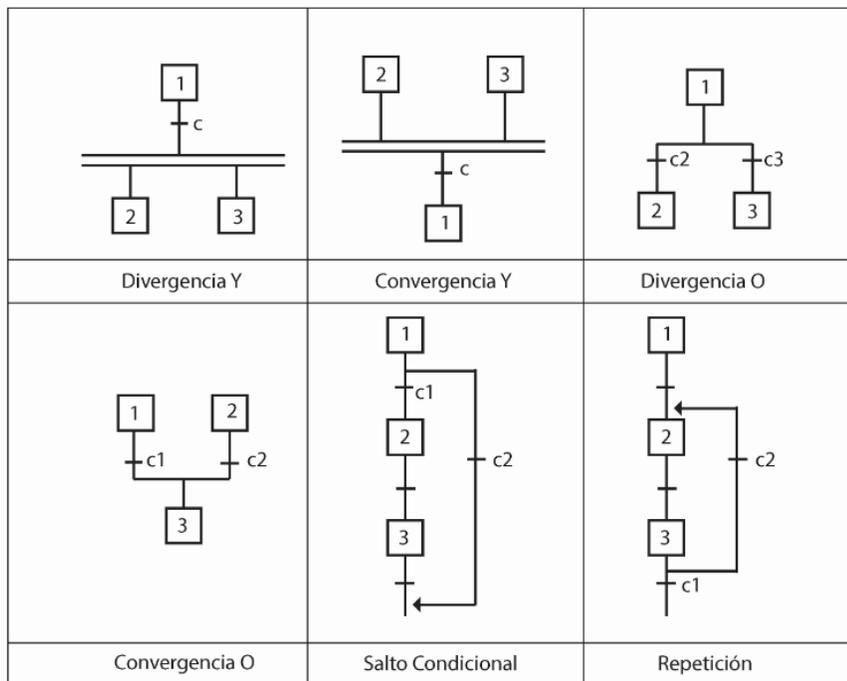
1.2.8.2. GRAFCET nivel 2

Descripción de la tecnología. El grado de detalles en la descripción debe ser suficientemente operativo para que todas las tecnologías empleadas en el automatismo (relés, válvulas, pulsadores, selectores, contactores, entre otros.) queden representadas en el grafo, basado en la Norma IEC 60848.

1.2.8.3. SFC nivel 3

Descripción de la realización del automatismo, basado en la Norma IEC 61131.

Figura 15. Estructuras lógicas principales



Fuente: elaboración propia.

1.3. Características de carga de la central hidroeléctrica

La central hidroeléctrica Matanzas consiste en una central de regulación, almacena el agua que fluye de los ríos Matanzas y las Flautas. La planta Matanzas tiene una disponibilidad aproximada al año de 96 por ciento, factor de capacidad de 45 por ciento y factor de utilización de 90 por ciento.

La central hidroeléctrica San Isidro consiste en una central de agua fluyente, utiliza parte del río San Isidro. La planta San Isidro tiene una disponibilidad aproximada al año de 96 por ciento, factor de capacidad de 50 por ciento y factor de utilización de 80 por ciento. La generación neta anual de ambas plantas es de aproximadamente 12,000 MWH en hora pico y 55,000 MWH fuera de hora pico.

1.3.1. Definición de centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica consiste en un conjunto de equipos electromecánicos, obra civil y maquinaria general, por medio de los cuales se realiza la transformación de energía potencial, que es proporcional a la altura, a energía cinética, que se encuentra asociada al movimiento giratorio y por último se transforma en energía eléctrica. Estas tienen la función de llevar volúmenes de agua de una altura superior hacia un nivel inferior para aprovechar la energía potencial del agua y así transformarla en energía eléctrica, la cual es transportada, distribuida y finalmente consumida por los usuarios de la red de energía eléctrica.

El aprovechamiento hidráulico de la caída del agua, donde la energía potencial se transforma en energía cinética, pasa por las turbinas del generador síncrono a una gran velocidad, luego de haber viajado por la tubería de presión.

La velocidad del agua es aprovechada, provocando un movimiento rotatorio que genera una onda de campo electromagnético en las bobinas del generador.

1.3.2. Definición de máquinas sincrónicas

Es una máquina de corriente alterna cuya velocidad en estado estable es proporcional a la corriente en su armadura. La velocidad de giro del campo magnético que crean las corrientes de armadura, tiene la misma velocidad que el campo magnético creado por la corriente de campo del rotor, por lo tanto ambos giran en sincronismo produciendo un par estable.

El rotor gira a través de la fuerza externa proporcionada por la turbina, el rotor cuenta con un acople a una fuente de corriente directa de alimentación independiente, la cual genera un flujo constante. De acuerdo al teorema de Ferraris, el cual indica que un bobinado cilíndrico de p pares de polos, recorrido por corrientes polifásicas de frecuencia, crean un campo magnético giratorio inducido por un sistema trifásico de fuerzas electromotrices en las bobinas del estator.

2. SISTEMA HIDROELÉCTRICO MATANZAS Y SAN ISIDRO

En el presente capítulo se realiza una explicación rápida y sencilla de la forma de operar las máquinas por medio del SCADA, con el fin de utilizar en capítulos posteriores los datos plasmados en las diversas pantallas y así comprender el funcionamiento, operación y control de la planta hidroeléctrica Matanzas y San Isidro a través de GRAFCET.

2.1. Operación y funcionamiento de los generadores síncronos

Para asegurar un funcionamiento sin problemas, la máquina se debe supervisar y cuidar adecuadamente. Antes de arrancar la máquina, siempre asegurarse de que:

- No se esté realizando ningún trabajo de mantenimiento.
- El personal y los equipos asociados con la máquina están listos para proceder con el arranque de la máquina.

En caso que se observe alguna desviación con respecto a la operación normal prevista, por ejemplo: temperaturas elevadas, ruidos o vibraciones, se debe parar la máquina y buscar el motivo de las desviaciones.

El sistema de supervisión de las máquinas incluye un contador de número de arranques y medidor de tiempo de trabajo. El personal operativo de las máquinas inspecciona la máquina síncrona en períodos regulares. Se tiene un registro histórico de los datos de inspección y operación, ya que estos pueden

ser útiles en los trabajos de mantenimiento, soluciones o reparaciones futuras de los generadores.

El proceso de arranque del generador Matanzas se inicia abriendo la válvula manual del sistema de enfriamiento de los cojinetes y desactivando las resistencias calefactoras del devanado. La secuencia de paro finaliza con esta acción.

El sistema de enfriamiento se alimenta de agua por medio de tuberías que salen del tubo de presión. Luego pasa por unos filtros que evitan el paso de impurezas. Durante la apertura de la válvula, se está en contacto con un sistema de agua a presión, se deben seguir todas las precauciones recomendadas por la empresa.

Los cojinetes de los generadores de San Isidro utilizan grasa antifricción, por lo que, se debe realizar el engrase en períodos no mayores a un año, para asegurar operación confiable. Para realizar el engrase manual de estos cojinetes, se deben limpiar los puntos donde se aplique la grasa y la zona que los rodea. Seguir todas las precauciones recomendadas por el fabricante de la grasa ya que puede ser irritante.

El sistema de control oleodinámico o HPU, consiste en un medio de transmisión energética utilizando técnicas de aceites comprimidos. El sistema utiliza dos bombas que trabajan en forma alternada, principal y respaldo. El aceite es filtrado y tiene una regulación de presión periódica que varía entre 47 y 55 bar, para el generador Matanzas y entre 89 a 110 bar para los generadores de San Isidro. Se debe verificar que los selectores de las bombas se encuentren en posición encendido.

El sistema de circulación de aceite de los cojinetes del generador Matanzas, tiene el propósito de enfriar y lubricar, por lo que las bombas de levante de los cojinetes DE y NDE se activan al iniciar la secuencia de arranque. Como el aceite no tiene circulación, el enfriamiento se realiza a través de serpentines instalados en la cuba. En estos serpentines circula agua que proviene del sistema de enfriamiento.

El sistema de inyección de aceite forma una película o capa de aceite que soporta la carga total del grupo. Es importante que esta lubricación sea realizada, tanto en el arranque como en el paro de la máquina. Las bombas de levante de los cojinetes permanecen activas durante el arranque hasta que el generador alcanza el 90 por ciento de su velocidad nominal y en la secuencia de paro hasta bajar más del 90 por ciento de su velocidad nominal. Se debe verificar que los selectores de las bombas se encuentren en posición encendido.

El proceso de arranque continúa con la activación del regulador de velocidad, apertura de la válvula esférica, activación del sistema de excitación y sistema de sincronización. Luego de cumplir con estas etapas cierra el interruptor y la máquina se encuentra conectada a la red de energía eléctrica. Se recomienda que el sistema de excitación y de sincronización tengan los selectores en posición automático.

2.2. Parámetros operativos de los generadores síncronos

En toda central hidroeléctrica se busca maximizar la disponibilidad y continuidad de la generación. Para limitar posibles contingencias se debe realizar una rigurosa selección de los dispositivos de protección, así como implementar una adecuada calibración de los mismos.

A continuación se presentan las condiciones de accionamiento de los elementos de protección de algunos equipos electromecánicos. La correcta coordinación y calibración de protecciones asegura un buen funcionamiento de los equipos, incluso luego de que ocurren fallas. Si alguno de los parámetros alcanza un nivel de alarma o disparo, el operador debe informar al área de mantenimiento y debe decidir inmediatamente que acción tomar. El rango nominal, nivel de alarma y disparo de los equipos electromecánicos de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro se detalla en los anexos 3 y 4.

Las protecciones principales del generador y transformador son:

- Alta temperatura de aceite: se presenta ante un incremento de la temperatura del aceite, es provocado por sobrecargas prolongadas o por daño interno.
- Alta temperatura en devanados: se da ante un incremento considerable en la temperatura de los arrollamientos, asociado a sobrecargas prolongadas, fallas en el sistema de enfriamiento y, en algunos casos, alerta sobre posibles problemas en el aislamiento.
- Protección Buchholtz: se presenta por acumulación de gases en el aceite debido a problemas internos en el transformador, tales como: salto de corriente entre espiras, corrientes a masa, puntos calientes.
- Disparo de protección diferencial: indica una falla dentro de su zona de protección, puede detectar fallas dentro y fuera del elemento protegido y depende de la ubicación física de los transformadores de corriente. Las fallas internas se pueden producir por cortocircuitos entre espiras o entre arrollamientos.

- Disparo de protección de sobrecorriente 50-51: se produce por cortocircuitos fase-fase o fase-tierra, protegiendo el generador o el transformador de fallas externas. También tiene la función de actuar como respaldo de la protección diferencial ante fallas internas. Frecuentemente la protección de sobrecorriente actúa ante una mala operación en protecciones de líneas adyacentes, falla en barras, transformador o el propio generador.
- Disparo de protección falla interruptor: alerta sobre la operación de la protección falla interruptor (*Breaker Failure* BF), la cual cumple la función de desconectar el elemento bajo falla. Ante una falla de la protección primaria, ya sea por problemas de protección (daño interno) o problemas de interruptor (daño mecánico o eléctrico).
- Disparo de protección de impedancia o distancia: indica un disparo por cortocircuito en la línea u otro elemento protegido.
- Protección de pérdida de excitación o de campo: indica una falla en el sistema de excitación de la unidad generadora.
- Protección por desbalance o secuencia negativa: actúa como respaldo en la mayoría de los casos ante fallas externas prolongadas y de poca magnitud, no liberadas por otras protecciones.
- Protección de potencia inversa: se presenta ante motorización del generador.

- Protección de sobrecarga: actúa si el transformador o generador son sometidos a niveles de carga superiores a su carga nominal por largos períodos de tiempo
- Protección de bajo voltaje: similar a la de desbalance, actúa como respaldo en la mayoría de los casos ante fallas no liberadas por otras protecciones.
- Protección de sobre-voltaje: dispara ante condiciones de altos voltajes en el sistema, voltajes que ponen en riesgo los equipos. Generalmente se presenta ante pérdidas de carga que no se compensan con el esquema de frecuencia.
- Falla a tierra de generador o transformador: sus ajustes dependen de la configuración de la planta y de la elección del tipo de protecciones, generalmente el umbral de detección se coloca lo más bajo posible.

2.3. Sistema de compuertas de la central hidroeléctrica

La cuenca del río San Jerónimo se ubica en la región de las verapaces, posee una superficie de 22 802,7 hectáreas. La cuenca del río es la única, dentro de la Reserva de biósfera Sierra de las Minas, que drena hacia el río Chixoy/Usumacinta, el cual desemboca en el golfo de México. Las principales características morfométricas de la cuenca del río San Jerónimo son:

- Área total: 22 802,7 hectáreas
- Perímetro total: 88,761 km
- Longitud del cauce principal: 39,73 km
- Longitud de cauce del río Chilascó hasta el trasvase: 7,028 km

- Pendiente media: 3,17 %.
- Densidad de corrientes: 12,86 m de corriente/hectárea.
- Forma de la cuenca: irregular.
- Cobertura forestal al 2003: 11 203,2 hectáreas, 49 %.

La cuenca del río San Jerónimo abastece la central para la producción de energía eléctrica, esta cuenta con dos fases: planta San Isidro y planta Matanzas. La primera fase se abastece con agua del río Chilascó, del cual se transvasa el caudal hacia el río San Jerónimo. La segunda fase se abastece del río Matanzas (nombre que se da al río San Jerónimo en este punto), formado por los afluentes del río las Flautas y San Isidro.

En época seca (noviembre a abril), la hidroeléctrica Matanzas tiene autorizado utilizar un caudal del río Matanzas de 2 m³/s y en época lluviosa (mayo a octubre) 3,5 m³/s. En época seca (noviembre a abril), la hidroeléctrica San Isidro tiene autorizado utilizar un caudal del río Chilascó de 1,2 m³/s y en época lluviosa (mayo a octubre) 2 m³/s.

En los anexos 5 y 6 se presenta en tablas la nomenclatura y la función que desempeñan los elementos de la cadena hidrológica Matanzas y San Isidro.

- Presa Chilascó

La presa Chilascó tiene una compuerta ecológica que permite pasar un caudal de 0,114 m³/s, para conservar la fauna y la flora de la región. El mecanismo para la apertura de esta compuerta consiste en un volante que se utiliza como instrumento de regulación del caudal en el canal y para ajuste del

nivel. Está formada por una armazón de perfiles de acero, sistema de maniobra con tornillo de acero encajado con bisagras al escudo y volante sostenido por un rodamiento de empuje.

Las tres compuertas de paso ubicadas en la presa Chilascó se utilizan para obturar grandes secciones y cargas de agua elevada. Formadas por una estructura plana reforzada, la cual va guiada por un sistema de rodillos laterales que disminuyen las cargas de maniobra de la compuerta. El mecanismo para la apertura de estas compuertas consiste en unos volantes separados que se utilizan como instrumentos de regulación del caudal en el canal y para ajuste del nivel.

- Bocatoma San Isidro

La compuerta de admisión ubicada en la presa San Isidro es de tipo deslizante, de sección rectangular, se utiliza para tapar el paso de agua ante emergencia o por mantenimiento. Se compone de un cilindro oleohidráulico de accionamiento amarrado a la cúpula y al obturador, lleva incorporado un indicador de posición.

La compuerta *by-pass* ubicada en la presa San Isidro posee mecanismo de apertura con volante, tiene su aplicación en la regulación del flujo de agua y ajuste de nivel.

El sistema de limpia rejillas evita el paso de objetos o piezas de mayor dimensión que la menor dimensión del paso del distribuidor.

- Presa Matanzas

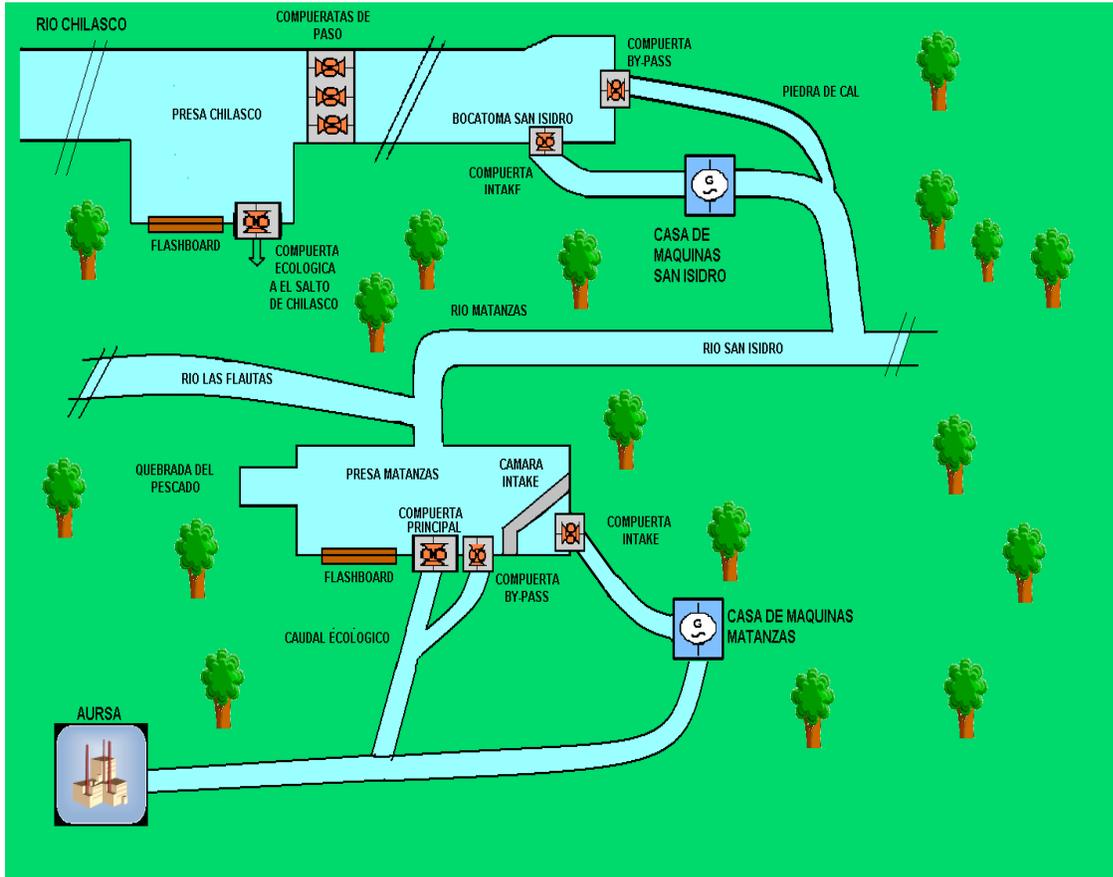
La compuerta de admisión ubicada en la presa Matanzas es de tipo deslizante, de sección rectangular que se utiliza para tapar el paso de agua ante emergencia o por mantenimiento. Se compone de un cilindro oleohidráulico de accionamiento amarrado a la cúpula y al obturador, lleva incorporado un indicador de posición.

La compuerta *by-pass* ubicada en la presa Matanzas posee mecanismo de tipo deslizante, de sección rectangular, tiene su aplicación en la regulación del flujo de agua y ajuste de nivel.

La compuerta principal de la presa Matanzas es de tipo deslizante, de sección rectangular, tiene su aplicación en la regulación del flujo de agua y ajuste de nivel como respaldo en caso que falle la compuerta *by-pass*.

El sistema de limpia rejas evita el paso de objetos o piezas de mayor dimensión hacia la tubería que conduce al distribuidor de la unidad.

Figura 16. Cadena hidrológica de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro



Fuente: Enel Green Power - Planta hidroeléctrica Matanzas y San Isidro, 2015.

2.4. Sistema eléctrico y sistema de comunicación

Es importante comprender el diagrama unifilar de la central hidroeléctrica, ya que este contiene todas las partes que conforman el sistema eléctrico de potencia de un modo gráfico. Para realizar la gestión de un sistema eléctrico de potencia es necesario que todos los dispositivos involucrados garanticen

confiabilidad y seguridad para mantener los más elevados estándares de calidad de servicio.

Las protecciones para los diversos sistemas de potencia actúan cuando se produce un hecho anormal en el funcionamiento, produciendo una alarma que puede dar orden de paro de uno o todos los generadores.

La pérdida de elementos del sistema eléctrico de potencia por despeje de faltas, se realiza dependiendo de la selectividad del sistema de protección. La pérdida de los elementos de red (líneas de transmisión, transformadores) se produce por sobrecargas transitorias, a lo cual el sistema responde de tal manera que busca una nueva situación de equilibrio.

Las protecciones que poseen los relevadores multifunción de los generadores Matanzas y San Isidro son: desbalance de voltaje, por impedancia, sobrecorriente con restricción de voltaje, sobrecorriente instantánea, sobrecorriente a tierra, sobreexcitación, bajo voltaje, sobrevoltaje, inversa, contra motorización, pérdida de campo, corrientes de secuencia negativa, rotor a tierra, fallas a tierra del estator, de frecuencia y protección diferencial.

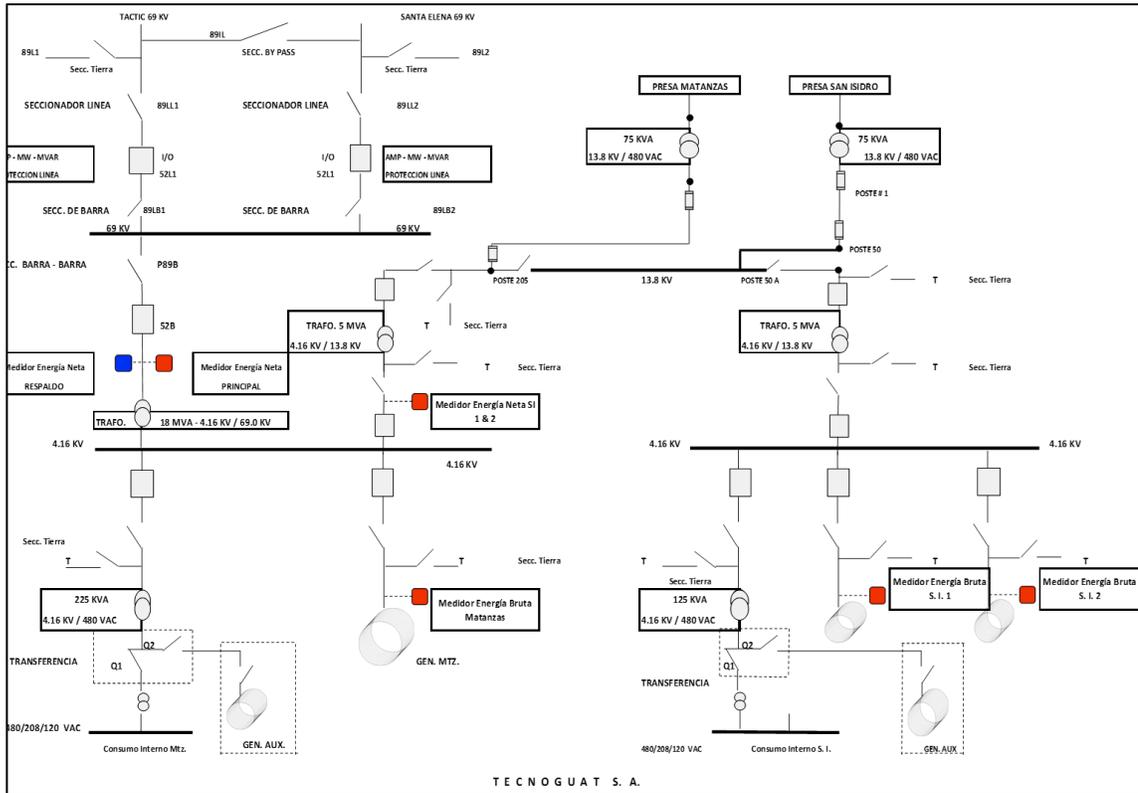
Los equipos eléctricos más importantes que constituyen la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro son:

- Generadores: tres generadores síncronos trifásicos. Unidad Matanzas de potencia nominal 12,7 MVA, voltaje nominal 4,16 KV, corriente nominal 1675 A, factor de potencia 0,85, frecuencia 60 Hz, velocidad 400 rpm. Unidades de San Isidro potencia nominal 3,7 MVA (dos unidades), voltaje nominal 4,16 KV, corriente nominal 264 A, factor de potencia 0,85, frecuencia 60 Hz, velocidad 900 rpm.

- Transformadores: cinco. Transformador de bloque principal de potencia nominal 18 MVA, voltaje 4,16/69 KV. Dos transformadores de interconexión de potencia nominal 5 MVA, voltaje nominal 4,16/13,8 KV. Dos transformadores para los consumos internos de potencia nominal 225 KVA en Matanzas y 125 KVA en San Isidro, voltaje nominal 4,16 KV/480 V.
- Interruptores, seccionadores, transformadores de corriente, transformadores de voltaje, pararrayos, sistema de puesta a tierra, línea de transmisión y subestación.

El equipo electromecánico que conforma el sistema eléctrico de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro, se detalla en los anexos 7, 8 y 9.

Figura 17. Diagrama unifilar de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Excel.

El control y supervisión de los generadores Matanzas y San Isidro está localizado en la planta Matanzas. El control y optimización de la operación es realizado en forma local, desde este punto se puede ejecutar el control y monitoreo de las tres unidades generadoras.

El control y monitoreo de interruptores, transformadores y la subestación es realizado directamente en los puntos donde se encuentran ubicados. Es necesario mejorar la automatización y sistemas de control de la planta ya que las maniobras de interruptores, transformadores, seccionadores y compuertas

realizadas en forma manual incrementan los tiempos de restablecimiento en caso de fallas e incrementan el riesgo de que se produzca un accidente, para el operador de dichos equipos.

Los interruptores de potencia de 69 KV ubicados en la subestación Matanzas se pueden maniobrar en forma local o puede realizarlo el centro de despacho regional (AMM) en forma remota. Asimismo, el control de la potencia reactiva se realiza por medio de un regulador de voltaje (AVR) el cual se puede maniobrar en forma local, pero en este caso lo maneja el INDE, de acuerdo a los requerimientos del SNI y manteniendo dentro de los límites operativos de las unidades.

Todos los dispositivos tienen la capacidad de realizar el control en forma local o remota, las unidades generadoras poseen el modo de selección manual o automático para el control.

Cuando se selecciona el modo local el control remoto se bloquea por la lógica programada en el controlador. Al seleccionar el control de las unidades en modo manual el control automático se bloquea.

La tabla I mostrada a continuación, presenta las principales acciones de control de las unidades generadoras y la entidad que puede ejecutar el control.

Tabla I. **Control de la planta hidroeléctrica Matanzas y San Isidro**

CONTROL	SALA DE CONTROL MATANZAS (SCM)	CENTRO DE GENERACIÓN 1 (INDE)	CENTRO DE DESPACHO REGIONAL (AMM)
Automático/ paso a paso	X		
Ejecución de secuencias en modo paso a paso	X		
Ejecución de secuencias en modo automático	X		
Arranque de unidades	X		
Paro normal de unidades	X		
Paro de emergencia de unidades	X		
Control individual o conjunto	X	X	
Mando CIPA (Control Individual de Potencia Activa)	X		
Mando CIPR (Control Individual de Potencia Reactiva)	X	X	
Mando CIV (Control Individual de Voltaje)	X	X	
Mando CCV (Control Conjunto de Voltaje)			X
Mando CCH (Control Cadena Hidráulica)	X		
Apertura/cierre de interruptores 69KV S/E MTZ	X		X

Fuente: elaboración propia.

Nomenclatura

- CIPA: control Individual de Potencia Activa. En este modo el controlador proporciona la consigna de potencia activa (MW) al regulador de la turbina.
- CIPR: control Individual de Potencia Reactiva. En este modo el controlador proporciona la consigna de potencia reactiva (MVAR) al regulador de voltaje.
- CIV: control Individual de Voltaje. El centro de generación 1 (INDE) asignará las consignas activa/reactiva (factor de potencia) al controlador de las máquinas optimizando el reparto y satisfaciendo la consigna de voltaje asignada a las unidades generadoras.
- CCV: control Conjunto de Voltaje. El centro de despacho asignará las consignas activa/reactiva (factor de potencia) al controlador de los campos de salida (Santa Elena y Tactic) de la subestación optimizando el reparto y satisfaciendo la consigna de voltaje en la subestación Matanzas.
- CCH: control Cadena Hidráulica. El controlador de cada planta asignará las consignas de potencia activa al controlador de las máquinas optimizando el reparto y satisfaciendo la potencia activa asignada a cada planta con base en la potencia activa que le sea asignada desde el controlador de la cadena hidráulica (control de nivel en presa).

La comunicación del PLC para ambas plantas Matanzas y San Isidro, utiliza el protocolo de comunicación MODBUS TCP/IP, basado en una arquitectura

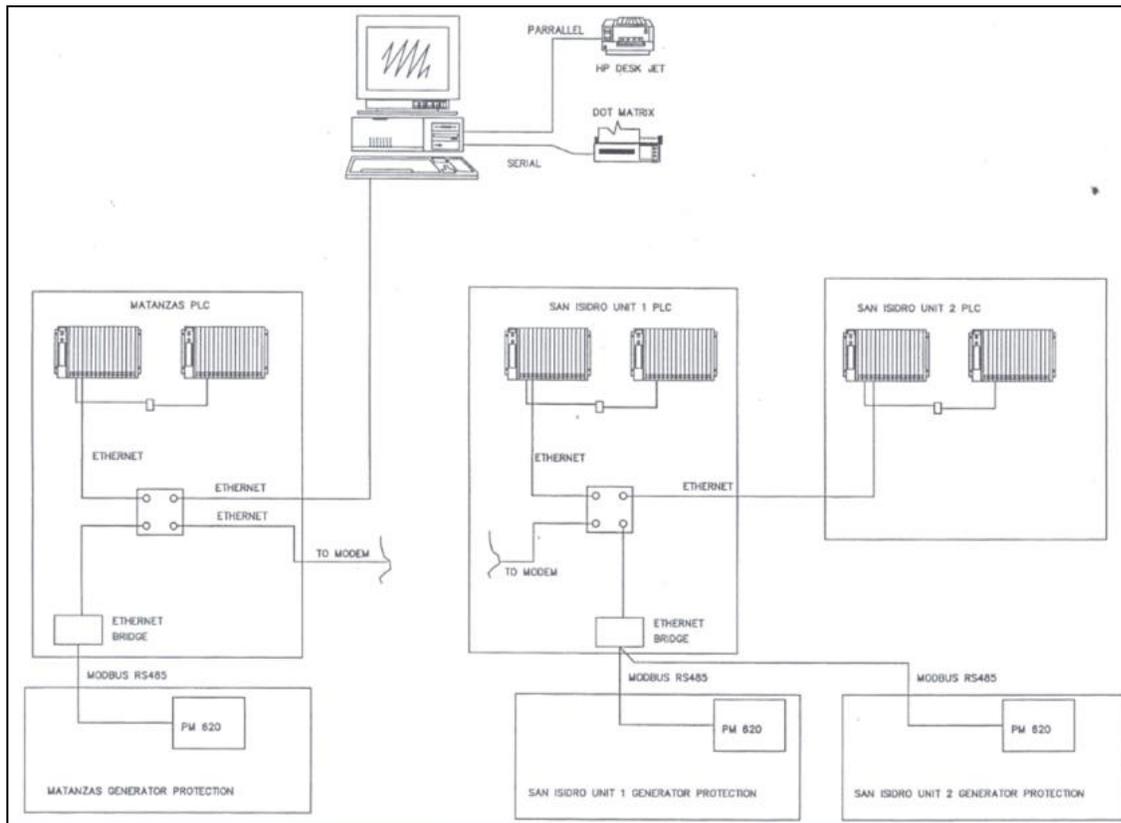
maestro/esclavo. El MODBUS permite el control de la red de dispositivos para el monitoreo de temperaturas, presiones, caudal, entre otros.

El protocolo de comunicación MODBUS TCP/IP se usa para la conexión del ordenador de supervisión (HMI) con la red remota (RTU). Generalmente el protocolo estándar MODBUS es empleado en paquetes de sistemas SCADA para el control de redes. El sistema Ethernet o MODBUS TCP/IP transfiere datos desde los registradores utilizando FTP o en tiempo real.

El servidor de comunicaciones permitirá al usuario:

- Monitoreo del estado de las comunicaciones con el registrador en cualquier puerto serie, un máximo de 8 puertos y una conexión Ethernet.
- Configurar bases de datos locales y remotos.
- Configurar servidores locales y remotos.
- MODBUS TCP/IP funciona a través del puerto Ethernet.
- Activar y desactivar puertos.
- Añadir, editar y suprimir registradores.
- Restringir el acceso de usuarios a las funciones administrativas utilizando un sistema de contraseñas.
- Registrarse en bases de datos o conexiones de clientes, cliente local u OPC.
- Cliente OPC: aplicación de software para la interfaz de tiempo real entre servidores y clientes. La información que proviene del servidor de comunicaciones, que cumple con OPC, utiliza un método estándar para el intercambio de datos uniforme. El cliente OPC puede exportar comunicaciones en tiempo real hacia otras aplicaciones.

Figura 18. **Sistema de comunicación de la central hidroeléctrica Matanzas y San Isidro**



Fuente: Power, 2012.

2.4.1. **Primer nivel de control**

Este nivel jerárquico de control se realiza en forma local para dispositivos primarios como lo son válvulas, motores, interruptores, entre otros. La mayoría de estos dispositivos son utilizados en mantenimiento y emergencia, y son manejados por dispositivos del segundo nivel jerárquico de control, dependiendo si el selector se encuentra en posición local o remota. Si el

dispositivo no se encuentra en modo de operación remoto este tendrá su respectivo bloqueo lógico en el controlador asociado.

Los dispositivos para el primer nivel de control son:

- Equipo primario de generación (turbina, generador, interruptores, transformadores de potencia, equipo de medida y protección).
- Bombas, compresores, válvulas y compuertas.
- Tableros de control y mando local.
- Instrumentación para unidades generadoras, transformadores, válvulas, compresores, bombas y compuertas.
- Tableros de control y mandos locales.
- Sistemas auxiliares AC/DC de la planta.
- UPS
- Sistema de alarma contra incendio de la planta.

2.4.2. Segundo nivel de control

Este nivel jerárquico de control ejecuta sobre dispositivos primarios automatizados, así como para el regulador de la turbina, regulador de voltaje, relés de protección, entre otros. El arranque o paro de estos equipos puede ser iniciado desde el HMI o desde las secuencias programadas en los propios controladores dependiendo si los selectores se encuentran en la posición local o remota.

La interfaz hombre-máquina de la planta hidroeléctrica Matanzas y San Isidro, únicamente tiene habilitadas opciones de monitoreo de temperaturas, presiones y otros parámetros para el control automático en repuesta a mensajes de alarma, control del regulador de velocidad, control del regulador de voltaje, arranque y paro de los generadores, control de compuerta de admisión y verificación del estado de la comunicación hacia el PLC.

Los dispositivos del segundo nivel de control son:

- PLC y computador de unidades generadoras.
- Regulador de voltaje y sistema de excitación de las unidades generadoras.
- Regulador de velocidad.
- Controlador de servicios generales y auxiliares de la planta.
- Sistemas de medida y protección.

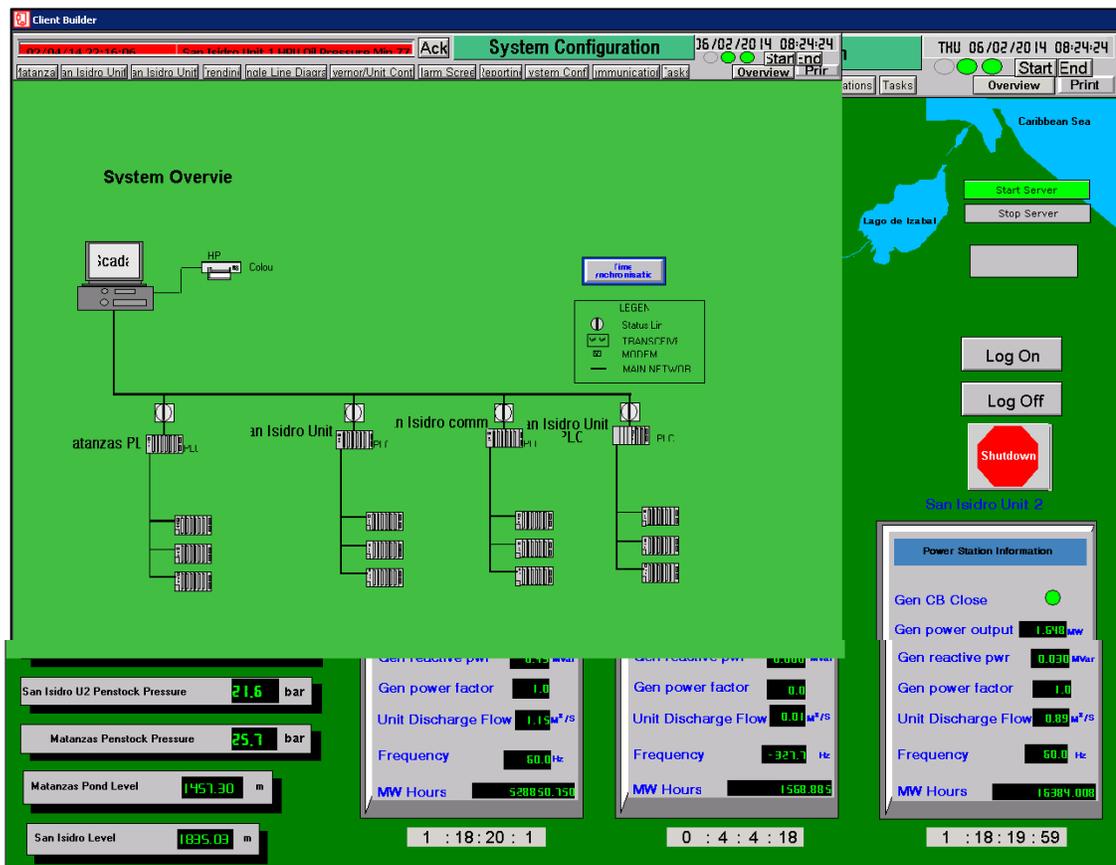
2.4.3. Tercer nivel de control

Este nivel jerárquico de control es ejecutado desde la sala de operaciones Matanzas y compete a la operación de toda la planta. En este nivel de control existe dependencia a la posición de los selectores de modo de control de las unidades generadoras, equipos asociados a servicios auxiliares, filtros y compuertas.

El control para ambas plantas Matanzas y San Isidro, cuenta con las siguientes características:

- Red Ethernet con protocolo de comunicación TCP/IP.
- Acceso remoto para operación y consulta.
- HMI trabajando bajo plataforma Windows.
- Gestión y supervisión del complejo hidroeléctrico a partir de registros de eventos, alarmas y control de parámetros.

Figura 19. Configuración del sistema de control



Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

2.5. Operación de las unidades generadoras a través del SCADA

Para realizar el proceso de arranque de las máquinas a través del SCADA se debe escoger el modo de operación en los selectores de la máquina. Los selectores se encuentran ubicados en la sala de control Matanzas y proporcionan las señales necesarias para que el controlador del proceso determine su modo de operación. El controlador de la unidad permitirá el control a través del SCADA, cuando los selectores se encuentren en auto/remoto.

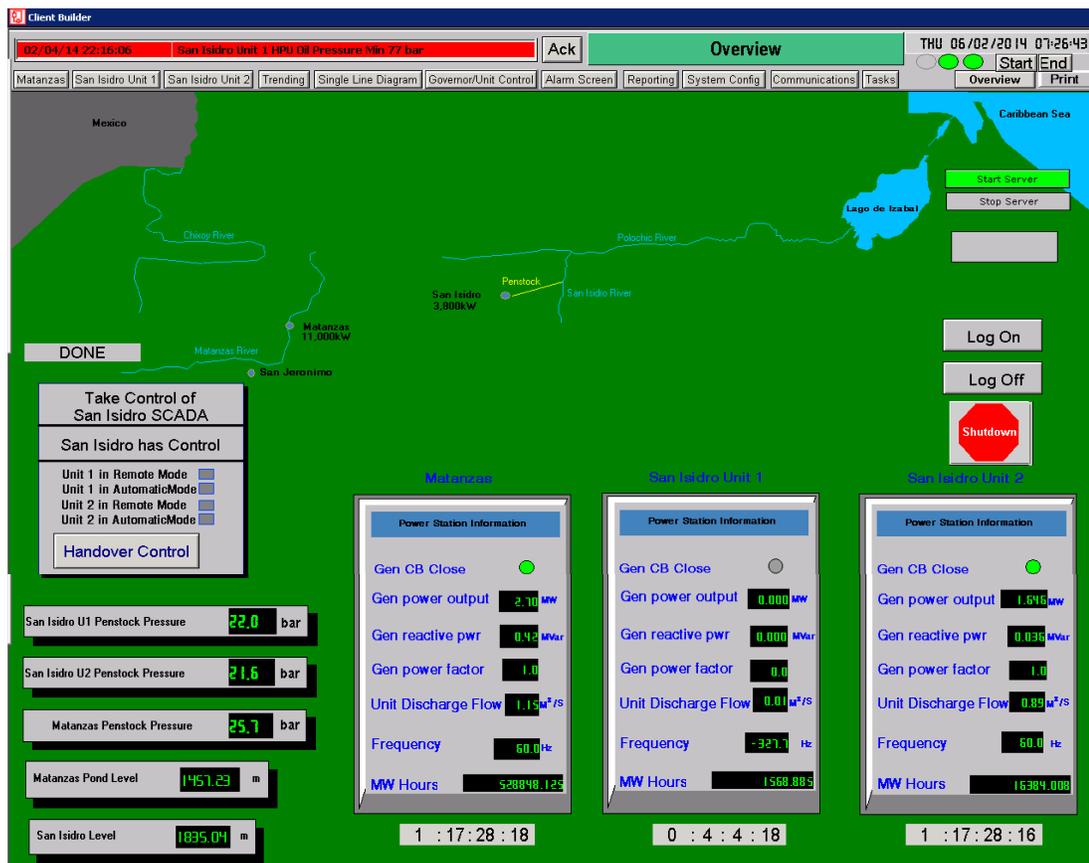
2.5.1. Monitoreo y control de los generadores síncronos

La configuración del sistema consiste en una PC ubicada en sala de control Matanzas y otra ubicada en sala de control San Isidro, la cual puede ser controlada en forma remota o local. El SCADA tiene asignado un usuario administrador y un usuario para el operador, esto determina el nivel de acceso/control en el sistema. Existen cinco niveles de acceso en el sistema:

- 0 – No acceso: el usuario solo tendrá acceso a la primera pantalla.
- 1 – el usuario tiene acceso a la primera pantalla y a la pantalla de alarmas.
- 2 – el usuario tiene acceso a pantallas en las que no exista opciones de control, únicamente como observador.
- 3 – el usuario tiene acceso a toda la información de la planta y las pantallas de control, como operador.
- 4 – el usuario tiene acceso a todas las pantallas a nivel operador y a todas las pantallas compartidas y de procesos de usuarios, como administrador.
- 5 – el usuario tiene acceso a todas las pantallas, como desarrollador.

A continuación en la figura 20, se presenta la pantalla principal de supervisión de la planta hidroeléctrica Matanzas y San Isidro, esta cuenta con diversas pantallas para monitoreo y control de las unidades generadoras.

Figura 20. Pantalla principal del SCADA



Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

- Matanzas
 - Protecciones, (*Protection Faults*) muestra el estado de las protecciones del generador Matanzas (Protección diferencial de transformador, relé buchholtz, protección de falla a tierra en la barra, protección de nivel de aceite, temperatura en devanado, aceite y núcleo, etc.)
 - Generador, (*Generator Overview*) muestra temperaturas en cojinetes, devanados, núcleo, sistema de enfriamiento, presión de aceite entre otras.
 - Turbina, (*Turbine Overview*) muestra el porcentaje de apertura de las agujas, estado de deflectores, válvula principal, válvula *by-pass*, presión de tubería, sistema de enfriamiento y HPU.
 - Compuerta de admisión, (*Intake Gate*) muestra el estado de la compuerta de admisión, diferencial de alarma por basura en rejas y control de apertura/cierre de compuerta de admisión.
 - Arranque, (*Startup*) muestra las etapas y control de arranque de la unidad.
 - Permisivas, (*Permissives*) muestra el estado general de las condiciones para el arranque y operación de la unidad generadora.
 - Paro normal, (*Shutdown*) muestra las etapas y control de paro de la unidad generadora.

- San Isidro 1 y 2
 - Protecciones, (*Protection Faults*) muestra el estado de las protecciones del generador 1 de San Isidro (Protección diferencial de transformador, relé buchholtz, protección de falla a tierra en la

- barra, protección de nivel de aceite, temperatura en devanado, aceite y núcleo, entre otros).
 - Generador, (*Generator Overview*) muestra temperaturas y vibraciones en cojinetes, devanados, núcleo, sistema de enfriamiento, presión de aceite entre otras.
 - Turbina, (*Turbine overview*) muestra el porcentaje de apertura de las agujas, estado de deflectores válvula principal, válvula by-pass, presión de tubería, sistema de enfriamiento y HPU.
 - Compuerta de admisión, (*Intake Gate*) muestra el estado de la compuerta de admisión, diferencial de alarma por basura en rejas y control de apertura/cierre de compuerta de admisión.
 - Arranque, (*Startup*) muestra las etapas y control de arranque de la unidad.
 - Permisivas, (*Permissives*) muestra el estado general de las condiciones para el arranque y operación de la unidad generadora.
 - Paro normal, (*Shutdown*) muestra las etapas y control de paro de la unidad generadora.
- Tendencias. *Trending*
 - Matanzas MW & MVAR: muestra datos históricos de potencia activa y potencia reactiva de unidad Matanzas.
 - Nivel de presa Matanzas: muestra datos históricos de nivel en presa Matanzas.
 - Temperaturas Matanzas: muestra datos históricos de temperaturas del generador Matanzas.
 - San Isidro U1 MW & MVAR: muestra datos históricos de potencia activa y potencia reactiva de la unidad 1 de San Isidro.

- San Isidro U2 MW & MVAR: muestra datos históricos de potencia activa y potencia reactiva de la unidad 2 de San Isidro.
 - Temperaturas San Isidro unidad 1: muestra datos históricos de temperaturas del generador 1 de San Isidro.
 - Temperaturas San Isidro unidad 2: muestra datos históricos de temperaturas del generador 2 de San Isidro.
 - Nivel de presa San Isidro: muestra datos históricos de nivel en presa San Isidro.
- Diagrama unifilar
 - Matanzas: despliega datos de voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, energía activa, energía reactiva y diagrama unifilar en Matanzas.
 - San Isidro: despliega datos de voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, energía activa, energía reactiva y diagrama unifilar en San Isidro.
- Gobernador/unidad de control
 - Unidad de control: permite la selección de control de planta a través de factor de potencia o potencia reactiva para las unidades Matanzas & San Isidro (control del regulador de voltaje).
 - Gobernador de control Matanzas: permite la selección de control del generador Matanzas a través de potencia activa o nivel de presa, además permite definir los *set point* para el nivel de presa y potencia activa, apertura de agujas (regulador de velocidad de turbina).

- Gobernador de control San Isidro 1: permite la selección de control del generador 1 San Isidro a través de potencia activa o nivel de presa, además permite definir los *set point* para el nivel de presa y potencia activa, apertura de agujas (regulador de velocidad de turbina).
- Gobernador de control San Isidro 2: permite la selección de control del generador 2 San Isidro a través de potencia activa o nivel de presa, además permite definir los *set point* para el nivel de presa y potencia activa, apertura de agujas (regulador de velocidad de turbina).
- Pantalla de alarmas: control de datos históricos de alarmas.
- Reportes: permite generar reportes de acuerdo a parámetros definidos por el usuario.
- Configuración del sistema: permite observar el diagrama del sistema de comunicación de Matanzas y San Isidro.
- Comunicaciones: muestra el estado de la comunicación hacia los PLC Matanzas y San Isidro, permite habilitar/deshabilitar la comunicación.

Desde la pantalla permisiva se debe verificar el cumplimiento de todas las condiciones para el arranque. Las barras que tienen un punto rojo deben permanecer en gris, el resto deben estar en color verde.

2.5.2. Condiciones de arranque desde un paro completo de la unidad generadora Matanzas

- Permisivas de arranque Núm. 1:
 - Sincronización de la señal de funcionamiento automático o sincronización de la señal de funcionamiento automático manual.
 - Sincronización de señal AC MCB: cerrada.
 - Sincronización de señal DC MCB: cerrada.
 - Panel de protección VTMCB: cerrado.
 - Bloqueo mecánico del generador: operado.
 - Bloqueo eléctrico del generador: operado.
 - Falla del interruptor de bloqueo del generador operado.
 - Panel de generador MCB's: cerrado.
 - Falla de la fuente de protección del generador.
 - Nivel de aceite en cojinete DE del generador: alto.
 - Nivel de aceite en cojinete DE del generador: bajo.
 - Nivel de aceite en cojinete NDE del generador: alto.
 - Nivel de aceite en cojinete NDE del generador: bajo.
 - Detección de incendios en generador 1.
 - Detección de incendios en generador 2.
 - Nivel de aceite en HPU: bajo.
 - Nivel de aceite en HPU: muy bajo.
 - Falla en fusible del ventilador del transformador principal.
 - Interruptor general de protección del motor del ventilador del transformador principal: abierto.
 - Alarma en relé buchholtz del transformador principal.
 - Alarma de alto nivel de aceite en transformador principal.
 - Alarma de bajo nivel de aceite en transformador principal.

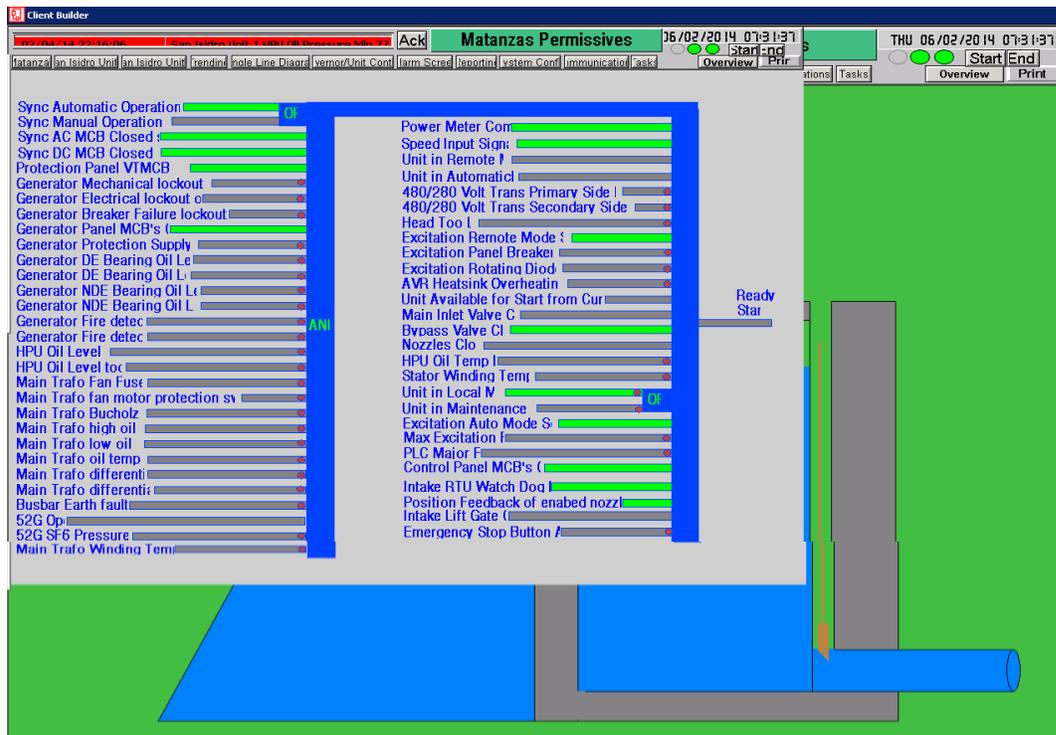
- Permisivas de arranque Núm. 2:
 - Disparo por diferencial en transformador principal
 - Falla diferencial en 0074transformador principal
 - Disparo por falla a tierra en barra
 - Abierto 52G
 - Baja presión de SF₆ en 52G
 - Alarma de temperatura en transformador principal
 - Comunicación del medidor de potencia: OK
 - Señal de entrada velocidad: OK
 - Unidad en modo remoto
 - Unidad en modo automático
 - Transmisión lado primario 480/280 V MCB abierto
 - Transmisión lado secundario 480/280 V MCB abierto
 - Nivel de presa demasiado baja
 - Modo remoto de excitación seleccionado
 - Falla en disyuntores del panel de excitación
 - Falla de excitación en diodos giratorios
 - Alarma de sobrecalentamiento en disipador AVR
 - Unidad disponible para arranque desde la etapa actual
 - Válvula principal de entrada cerrada
 - Válvula bypass cerrada
 - Agujas cerradas
 - Temperatura de aceite de HPU alta
 - Temperatura en devanados de estator alta
 - Unidad en modo local
 - Unidad en modo mantenimiento
 - Modo automático de excitación seleccionado

- Permisivas de arranque Núm. 3:
 - Compuerta principal: abierta
 - Falla de máxima excitación
 - Sistema de sincronización: en manual o automático
 - Temperatura en devanado del transformador principal OK
 - Nivel de presa: OK
 - Falla mayor en PLC
 - Panel de control MCB's: cerrado
 - Señal de entrada velocidad: OK
 - Perro guardián RTU de admisión saludable
 - Retroalimentación de la posición de las agujas habilitadas saludable
 - Botón de paro de emergencia: aplicado

- Condiciones de secuencia de arranque 1
 - Paso 1 unidad lista
 - Paso 2 tiempos de precaución
 - Paso 2 presiones de aceite > 42 bar
 - Paso 2 flujos de aceite en cojinete DE: OK
 - Paso 2 presiones de aceite en cojinete DE: OK
 - Paso 2 flujos de aceite en cojinete NDE: OK
 - Paso 2 presiones de aceite en cojinete NDE: OK
 - Paso 2 flujos de agua en devanados: OK
 - Paso 2 puntos de interrupción remota
 - Paso 3 puntos de interrupción remota
 - Paso 4 presiones en tubería de distribución OK
 - Paso 4 operada la válvula "by-pass"

- Paso 4 operada la válvula de entrada
 - Paso 4 puntos de interrupción remota
 - Paso 5 sistemas de freno no aplicado
 - Paso 5 sistemas de freno liberados
 - Paso 5 no existen altas presiones de aceite en cojinete DE
 - Paso 5 no existen altas presiones de aceite en cojinete NDE
 - Paso 5 velocidad del generador > 98 %
-
- Condiciones de secuencia de arranque 2
 - Paso 5 puntos de interrupción remota
 - Paso 6 velocidad > 101 %
 - Paso 6 puntos de interrupción remota
 - Paso 7 interruptor de sincronización de generador: cerrado
 - Paso 8 Potencia activa > potencia activa mínima requerida

Figura 21. Permisivas de arranque generador Matanzas



Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

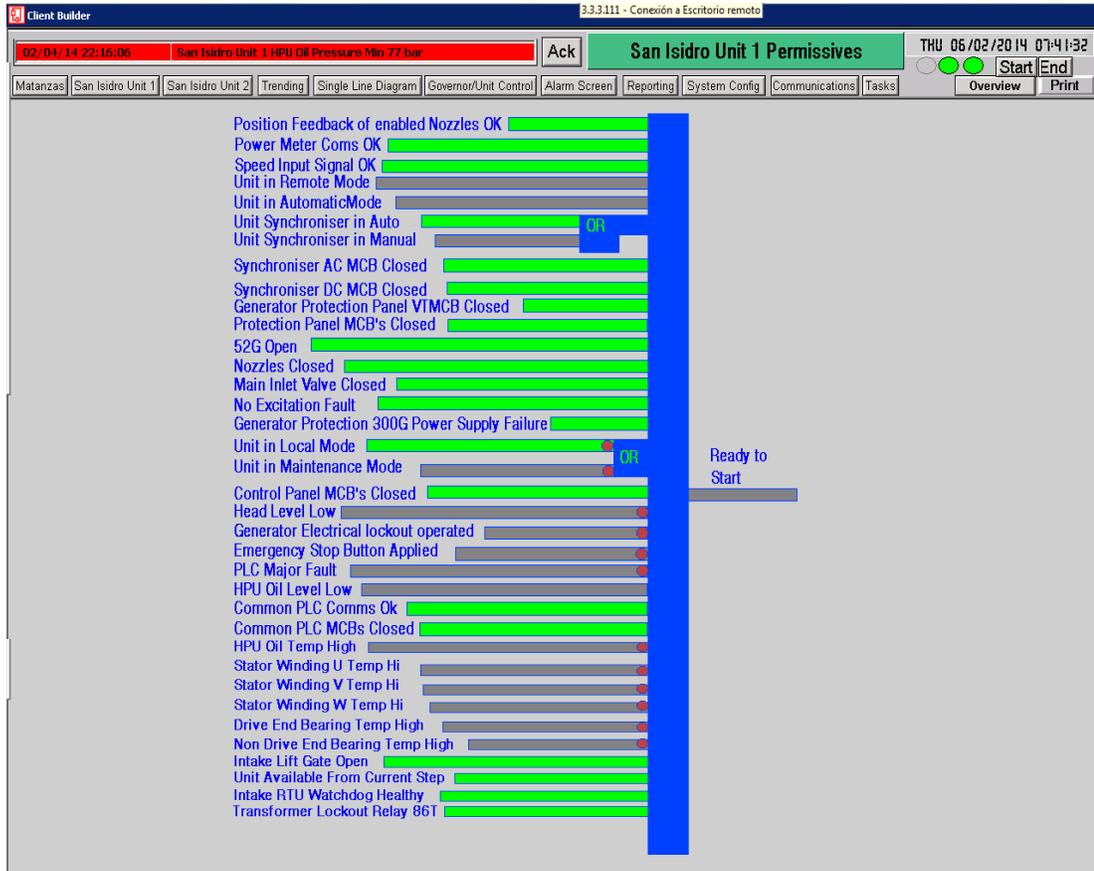
2.5.3. Condiciones de arranque desde un paro completo de las unidades generadoras San Isidro

- Permisivas de arranque Núm. 1:
 - Retroalimentación de la posición de las agujas habilitadas saludable.
 - Comunicación del medidor de potencia: OK.
 - Señal de entrada velocidad: OK.
 - Unidad en modo remoto.
 - Unidad en modo automático.

- Sincronizador de unidad en automático.
 - Sincronizador de unidad en manual.
 - Sincronización de señal AC MCB cerrada.
 - Sincronización de señal DC MCB cerrada.
 - Panel de protección VTMCB cerrado.
 - Panel de protección MCB's cerrado.
- Permisivas de arranque Núm. 2:
 - Abierto 52G.
 - Agujas cerradas.
 - Válvula principal de entrada cerrada.
 - Falla de excitación.
 - Falla de la fuente de protección del generador 300 G.
 - Unidad en modo local.
 - Unidad en modo mantenimiento.
 - Panel de control MCB's cerrado.
 - Nivel de presa demasiado baja.
 - Bloqueo eléctrico del generador operado.
 - Botón de paro de emergencia aplicado.
- Permisivas de arranque Núm. 3:
 - Falla mayor en PLC
 - Nivel de aceite en HPU baja
 - Comunicaciones del PLC común OK
 - MCB's del PLC común cerrado
 - Temperatura de aceite en HPU alta
 - Temperatura en devanado de estator U alta

- Temperatura en devanado de estator V alta
 - Temperatura en devanado de estator W alta
 - Alta temperatura en cojinete DE
 - Alta temperatura en cojinete NDE
 - Compuerta principal abierta
 - Unidad disponible para arranque desde la etapa actual
 - Perro guardián RTU de admisión saludable
 - Bloqueo de relé 86T de transformador
-
- Condiciones de secuencia de arranque 1
 - Paso 1 puntos de interrupción remota
 - Paso 2 velocidad > 101 %
 - Paso 2 puntos de interrupción remota
 - Paso 3 interruptor de sincronización de generador cerrado
 - Paso 4 Potencia activa > potencia activa mínima requerida

Figura 22. Permisivas de arranque generador 1 de San Isidro



Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

2.5.4. Arranque de los generadores

La secuencia de arranque de los generadores Matanzas y San Isidro, consiste en nueve pasos y sus respectivas transiciones. Una vez que la secuencia ha alcanzado un paso determinado, debe cumplirse una serie de condiciones para pasar al próximo paso, estas se detallan en los capítulos 3 y 4. En el SCADA, los pasos se muestran en forma de cajas mientras que las transiciones tienen una flecha señalando el paso correspondiente.

Si se selecciona el modo paso a paso, para el proceso de arranque, se pueden utilizar puntos de interrupción *breakpoints* a lo largo de la secuencia. Esto significa que una vez que la secuencia alcanza determinado paso, no puede pasar al siguiente a menos que se libere el punto de interrupción.

En cumplimiento a estos prerequisites debe vigilarse estrictamente de acuerdo a la etapa a la que se quiera llevar la máquina: girando, energizada o sincronizada a la red.

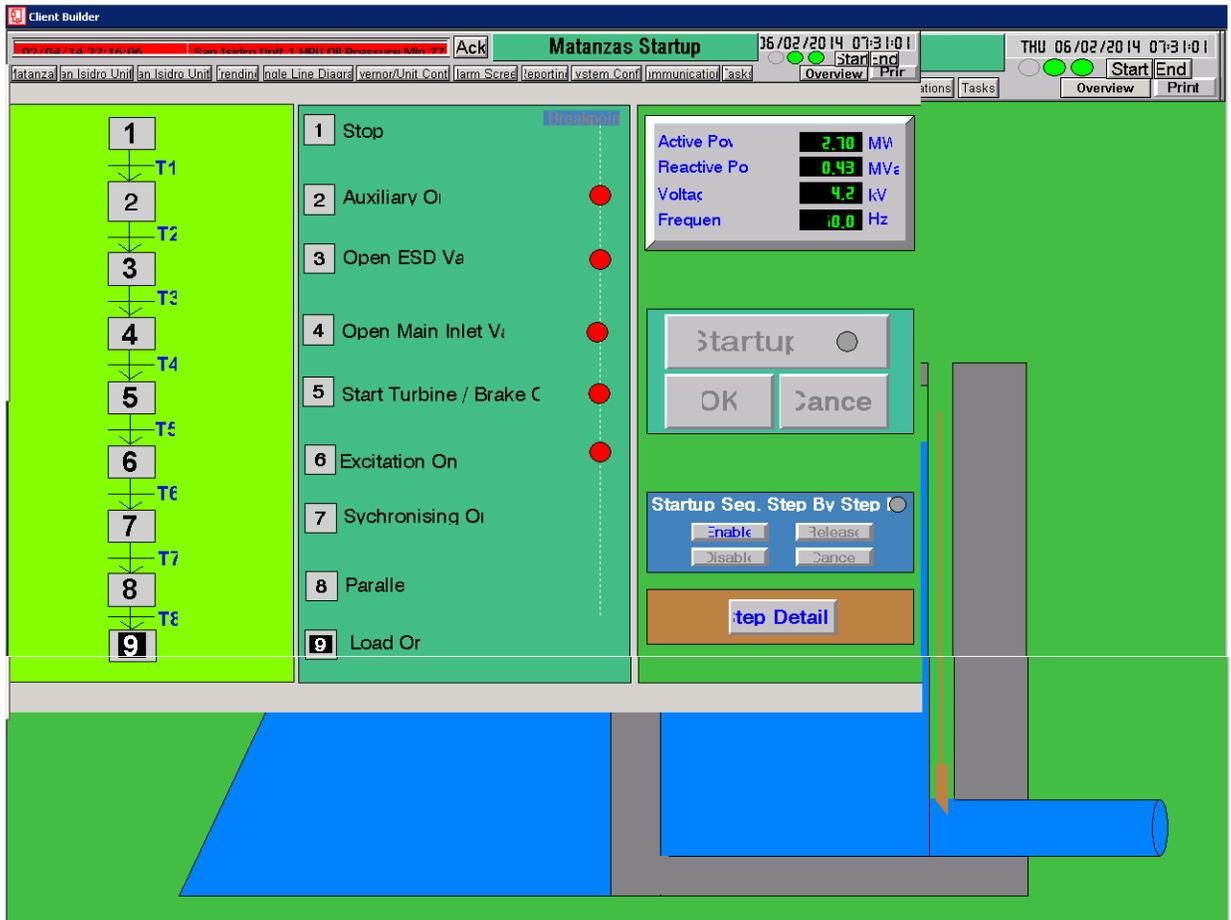
Una vez se cumplan estas condiciones se procede en la pantalla arranque, si se quiere realizar este en forma manual, y paso a paso se presiona habilitar en la ventana titulada: arranque en modo paso a paso, de lo contrario los pasos se realizan en forma automática.

Tabla II. **Etapas de arranque del generador Matanzas**

NÚMERO DE ETAPA EN LA PANTALLA DEL SCADA	MUESTRA EN LA PANTALLA DE ARRANQUE DE UNIDAD MATANZAS
0	Condiciones de arranque listas, se desactiva el sistema de calentadores del devanado.
1	Abierta válvula del sistema de enfriamiento.
2	Sistemas auxiliares encendidos, frenos aplicados.
3	Válvula ESD abierta.
4	Abierta válvula esférica.
5	Inicia rotación de turbina/frenos desaplicados.
6	Excitación encendida.
7	Sincronización encendida.
8	Unidad en paralelo al sistema / energizada / interruptor de generador cerrado.
9	Potencia activa mínima / toma de carga MW.

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Arranque del generador Matanzas



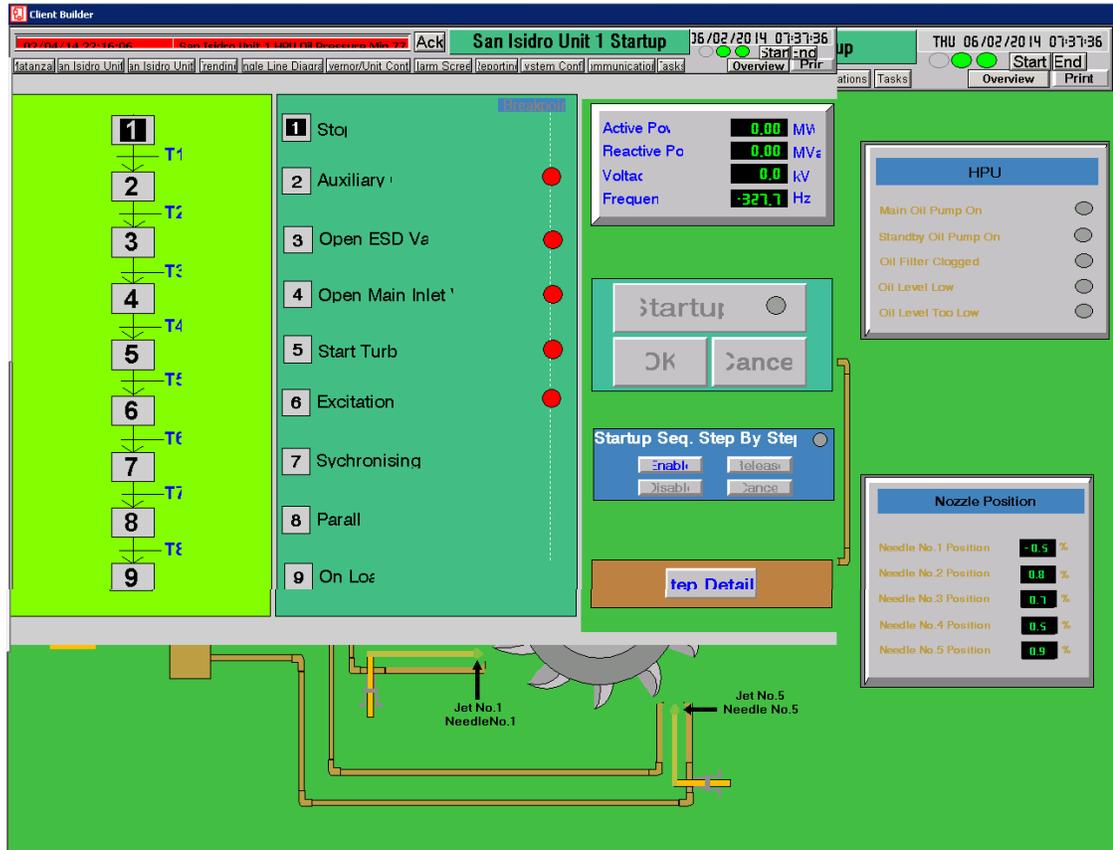
Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

Tabla III. **Etapas de arranque de los generadores de San Isidro**

NÚMERO DE ETAPA EN LA PANTALLA DEL SCADA	MUESTRA EN LA PANTALLA DE ARRANQUE DE UNIDADES SAN ISIDRO
0	Condiciones de arranque listas, se desactiva el sistema de calentadores del devanado.
1	Sistemas auxiliares encendidos.
2	Válvula ESD abierta.
3	Abierta válvula esférica.
4	Inicia rotación de turbina.
5	Excitación encendida.
6	Sincronización encendida.
7	Unidad en paralelo al sistema / energizada / interruptor de generador: cerrado.
8	Potencia activa mínima / toma de carga MW.

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Arranque del generador 1 San Isidro



Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

2.5.5. Paro de los generadores

La secuencia de paro normal del generador Matanzas consiste en nueve pasos, y siete pasos para los generadores de San Isidro y sus respectivas transiciones. Una vez que la secuencia ha alcanzado un paso determinado, debe cumplirse una serie de condiciones para pasar al próximo paso, estas condiciones se detallan en los capítulos 3 y 4.

La secuencia de paro de emergencia se inicia automáticamente desde el sistema de protección de la unidad, cuando el bloqueo eléctrico 86E o bloqueo mecánico 86M se activan. La diferencia principal entre las secuencias de paro normal y paro de emergencia es que la secuencia de paro de emergencia se salta algunos pasos, el interruptor del generador se abre inmediatamente cuando inicia la secuencia.

La máquina se puede parar normalmente, siempre y cuando no esté activada la protección o secuencia del paro de emergencia. Esto se realiza de forma automática cuando se presiona el botón de paro de emergencia cuando ocurre alguna falla en la unidad.

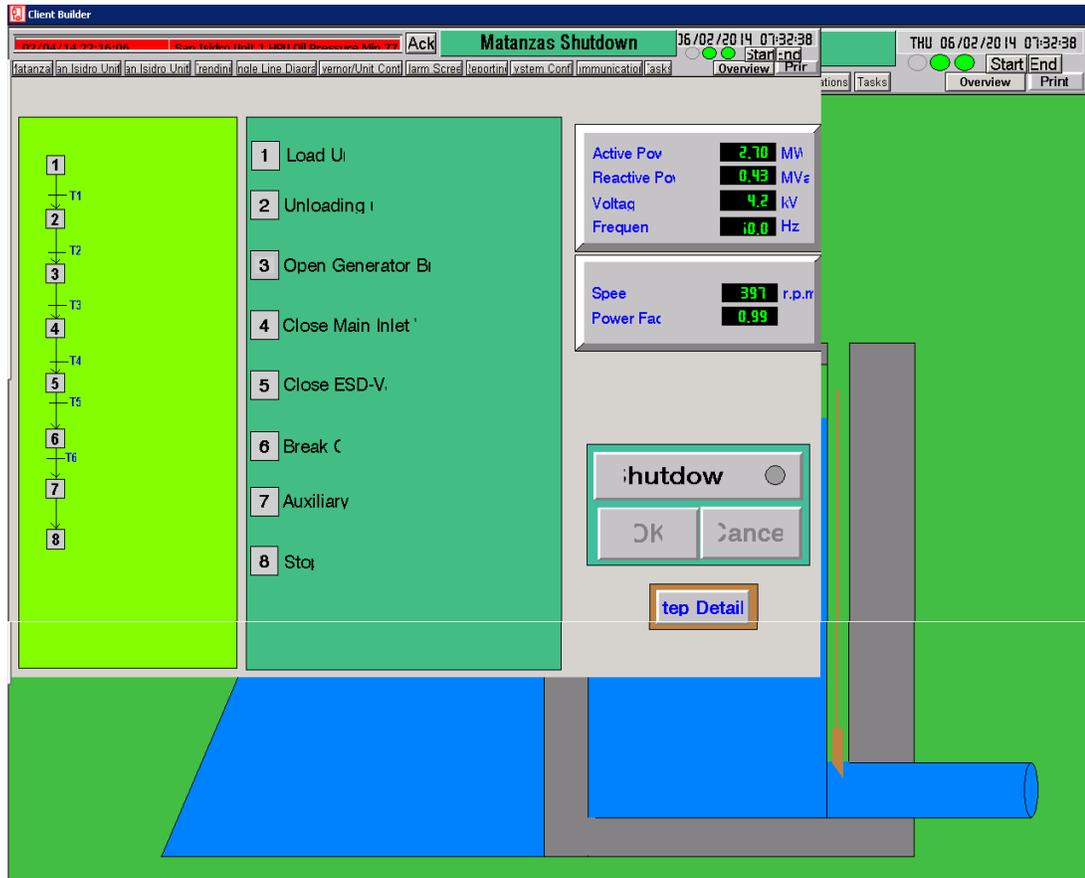
Para realizar un paro normal de la máquina se debe ingresar a la ventana paro normal, dentro de esta ventana se presiona el botón parar y se confirma con *OK*. Una vez realizada esta acción el proceso de paro automático es similar al proceso seguido para arrancar la máquina. A continuación se presentan las etapas mostradas en la pantalla del SCADA para el paro normal y de emergencia. En capítulos posteriores se hará referencia a estas etapas.

Tabla IV. **Etapas de paro normal del generador Matanzas**

NÚMERO DE ETAPA EN LA PANTALLA DEL SCADA	MUESTRA EN LA PANTALLA DE PARO NORMAL DE UNIDAD MATANZAS
1	Unidad con carga.
2	Retirando carga a la unidad (potencia activa < 5%, potencia reactiva < 5%).
3	Interruptor de generador abierto.
4	Cerrada válvula esférica (regulador desenergizado, velocidad < 70%, posición del distribuidor 0%).
5	Válvula ESD cerrada.
6	Frenos aplicados, velocidad < 27%.
7	Sistemas auxiliares apagados, se activa sistema de calentadores del devanado.
8	Cerrada la válvula del sistema de enfriamiento.
9	Paro total de la unidad.

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Paro normal del generador Matanzas



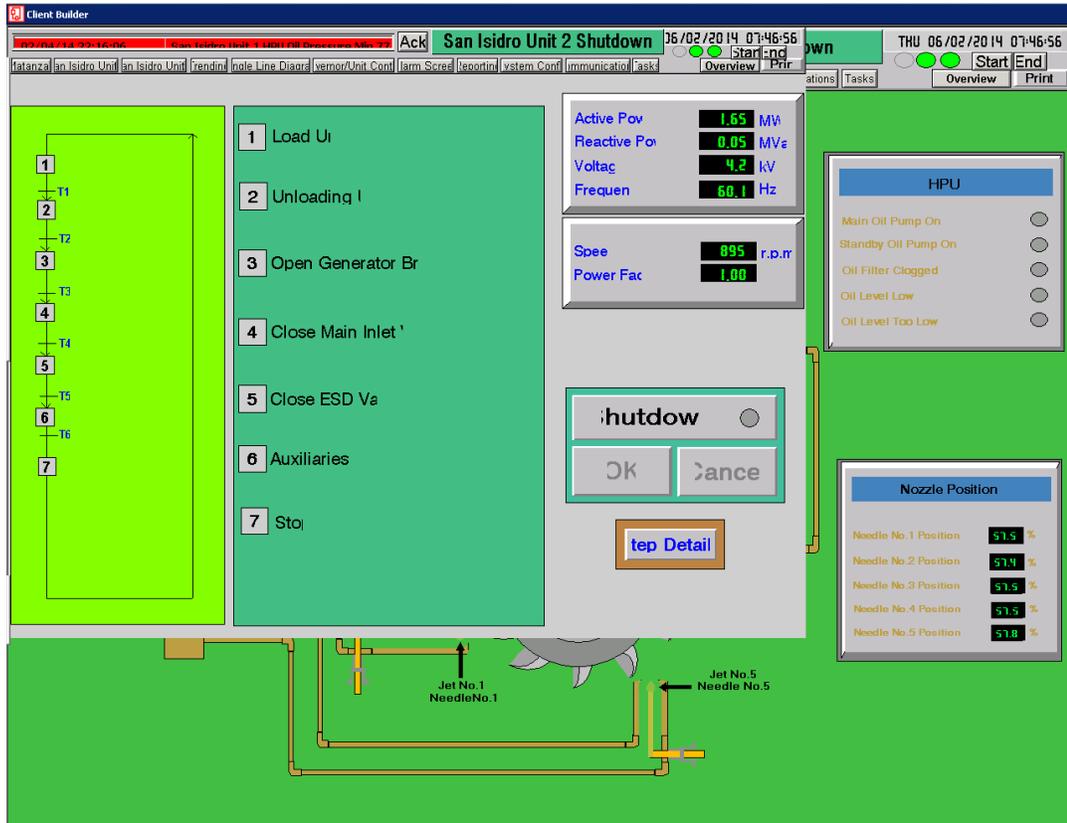
Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

Tabla V. **Etapas de paro normal de los generadores de San Isidro**

NÚMERO DE ETAPA EN LA PANTALLA DEL SCADA	MUESTRA EN LA PANTALLA DE PARO NORMAL DE UNIDADES SAN ISIDRO
1	Unidad con carga.
2	Retirando carga a la unidad (potencia activa < 5 %, potencia reactiva < 5 %).
3	Interruptor de generador abierto.
4	Cerrada válvula esférica (regulador des energizado, velocidad < 60 %, posición del distribuidor 0 %).
5	Válvula ESD cerrada.
6	Sistemas auxiliares apagados, se activa sistema de calentadores del devanado.
7	Paro total de la unidad.

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Paro normal del generador 2 de San Isidro



Fuente: SCADA hidroeléctrica Matanzas.

Tabla VI. **Etapas de paro de emergencia del generador Matanzas**

NÚMERO DE ETAPA EN LA PANTALLA DEL SCADA	MUESTRA EN LA PANTALLA DE PARO DE EMERGENCIA DE UNIDAD MATANZAS
0	Presiona botón de paro de emergencia, activado bloqueo eléctrico 86E.
1	Retirando carga a la unidad (potencia activa < 5 %, potencia reactiva < 5 %).
2	Interruptor de generador abierto.
3	Cerrada válvula esférica (regulador des energizado, velocidad < 70 %, posición del distribuidor 0 %).
4	Válvula ESD cerrada.
5	Frenos aplicados, velocidad < 27 %.
6	Sistemas auxiliares apagados, se activa sistema de calentadores del devanado.
7	Cerrada la válvula del sistema de enfriamiento.
8	Paro de emergencia de la unidad.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Etapas de paro de emergencia de los generadores de San Isidro**

NÚMERO DE ETAPA EN LA PANTALLA DEL SCADA	MUESTRA EN LA PANTALLA DE PARO DE EMERGENCIA DE UNIDADES SAN ISIDRO
0	Presiona botón de paro de emergencia, activado bloqueo eléctrico 86E.
1	Retirando carga a la unidad (potencia activa < 5%, potencia reactiva < 5%).
2	Interruptor de generador abierto.
3	Cerrada válvula esférica (regulador des energizado, velocidad < 60%, posición del distribuidor 0%).
4	Válvula ESD cerrada.
5	Sistemas auxiliares apagados, se activa sistema de calentadores del devanado.
6	Paro de emergencia de la unidad.

Fuente: elaboración propia.

3. OPERACIÓN Y CONTROL DE LOS GENERADORES

En este capítulo se desarrollará una serie de tablas en las cuales se explicará el control de las unidades Matanzas y San Isidro, con el objetivo de facilitar la comprensión de la operación y funcionamiento de los generadores.

Las tablas descriptivas presentadas en este capítulo incluyen procedimientos de mando de las máquinas y diversas acciones que se realizan, ya sea en el arranque o en el paro de las unidades. Los cuadros están basados en las etapas realizadas a través del SCADA.

3.1. Control de etapas de los generadores

Las siguientes tablas muestran las etapas seguidas por los generadores para el proceso de arranque y paro, indicando las órdenes que se activan en cada etapa y las acciones que debe realizar la máquina en caso de incumplimiento de alguna de las condiciones predeterminadas.

A continuación se define cada uno de los campos a utilizar en la tabla.

- **Etapas:** en este campo se registrará la numeración de la etapa en curso. Es toda situación en la cual el comportamiento de un sistema con relación a sus entradas y salidas es constante en el tiempo, caracterizada por un estado específico del autómata y el controlador lógico programado.

- Condición solicitada: se define como una condicionante para conseguir la etapa actual.
- Tiempo de transición 1: es el tiempo de espera en minutos, para que la transición en el GRAFCET verifique el cumplimiento de las condiciones de la etapa en curso.
- Opción alternativa 1: aquella que realiza el sistema en caso de incumplimiento de las condiciones de la etapa en curso.
- Orden: la explicación de las acciones de cada etapa.
- Resultado de la orden: el fin de una etapa, la cual tendrá como resultado un efecto sobre el sistema.
- Tiempo de transición 2: el tiempo de espera, en minutos, para el cumplimiento de la etapa en curso.
- Opción alternativa 2: diferente en caso de no cumplirse las acciones o condiciones de la etapa actual.

PE = paro de emergencia

PN = paro Normal

S = envío de señal

B E (#) = retorno a la etapa E (#)

3.2. Arranque de unidad Matanzas

A continuación se describe la secuencia de arranque del generador Matanzas.

Tabla VIII. Secuencia de arranque del generador Matanzas

ARRANQUE UNIDAD MATANZAS						
ETAPA	CONDICIONES	OPCIÓN ALTERNATIVA 1	ORDEN	RESULTADO	TIEMPO DE TRANSICIÓN 1	OPCIÓN ALTERNATIVA 2
E(0)	Se cumplen permisivas de arranque y condiciones de la LISTA 1.	No inicia la secuencia de arranque.	Verifica permisiva y condiciones de la LISTA 1.	Continúa la secuencia de arranque de la máquina y procede la etapa 1.	Indefinido	No cumple con las permisivas y condiciones de la LISTA 1 permanece en la etapa 0.
E(1)	Finaliza la etapa 0.	Espera el cumplimiento de condiciones de la LISTA 1.	Operador abre válvula del sistema de enfriamiento.	Encendida la bomba del sistema de enfriamiento, presión y caudal adecuado, filtros en buen estado.	0.8 minutos	B E(0), S
E(2)	Finaliza la etapa 1, sistemas auxiliares encendidos, y freno aplicado.	Envío de señal de frenos aplicados o B E (1) por medio de PN.	Abre la válvula ESD.	Verifica la seguridad en el proceso de arranque.	0.1 minutos	B E(0), S
E(3)	Finaliza la etapa 2, válvula ESD abierta, freno aplicado.	Envío de señal de frenos aplicados o B E (1) por medio de PN.	Inicia apertura de válvula esférica.	Flujo de agua en tubería normal, verificar que el freno aún esté aplicado.	1 minuto	B E(0), S
E(4)	Finaliza la etapa 3, el freno continúa aplicado.	E(0) por medio de PN o aplica los frenos.	Libera el sistema de frenos, enciende el sistema de lubricación forzada.	Inicia la rotación de la turbina, libera los frenos, inicia lubricación forzada.	1 minuto	B E(0), S, PN
E(5)	Finaliza la etapa 4, velocidad > 98% (392 rpm.) de la velocidad de sincronismo.	E (0) por medio de PN o PE.	Turbina alcanza velocidad de sincronismo (400 rpm.).	La máquina se encuentra rotando a velocidad de sincronismo (400 rpm.).	Indefinido	B E(0), S, PN, PE

Continuación de la tabla VIII.

E(6)	Finaliza la etapa 5, se cumplen las condiciones de la LISTA 2.	Espera cumplimiento de condiciones de la LISTA 2 y permanece en la etapa 5.	Sistema de excitación activo. Velocidad de turbina > 98% de la nominal (392 rpm.)	Sistema de excitación del generador activo, regulador de voltaje encendido.	1 minuto	B E(5), S
E(7)	Finaliza la etapa 6, sistema de sincronización activo, se cumplen las condiciones de la LISTA 3.	Espera cumplimiento de condiciones de la LISTA 3. Luego de 5 minutos la unidad no sincroniza se bloquea el sistema de sincronización y se aborta el arranque por medio de PN.	Sincronizar generador a la red de energía eléctrica. Velocidad de turbina > 101% de la nominal (405 rpm.).	La máquina se encuentra sincronizada a la red de energía eléctrica.	1.5 minutos	B E(0), S, PN
E(8)	Finaliza la etapa 7, Voltaje de generador > 70% del voltaje nominal, interruptor de sincronización del generador cerrado, se cumplen las condiciones de la LISTA 4.	Se abre el interruptor de sincronización del generador y regresa a la etapa 0 por medio de PN.	Unidad energizada con voltaje nominal en las terminales.	La máquina se encuentra energizada con voltaje en terminales y sincronizada a la red de energía eléctrica.	0.5 minutos	B E(0), S, PN
E(9)	Finaliza la etapa 8. Potencia activa mínima > 0.	Regresa a la etapa E(8).	Verificar funcionamiento de la máquina conectada a la red de energía eléctrica.	Se verifica que la sincronización sea exitosa y se selecciona un valor de potencia de acuerdo a las condiciones hidrológicas actuales.	5 minutos	B E(8), S
E(10)	Finaliza la etapa 9	Regresa a la etapa E(0), por medio del PE si se observa funcionamiento anormal.	Generador en estado estable.	La máquina opera correctamente de acuerdo a las condiciones y parámetros de la red de energía eléctrica.	Indefinido	B E(0), S, PE

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Lista de condiciones para el arranque

Si el selector se encuentra en modo manual/local, se debe dar la orden en cada etapa para dar continuidad a la secuencia de arranque en el HMI ubicado en la unidad de control.

Lista 1 (condiciones desde que la máquina está parada)

- Secuencia de paro inactiva.
- Voltajes de control disponibles.
- Voltajes de servicios auxiliares en estado normal (480 V_{AC}).
- Selectores en su posición normal.
- Selector de modo mantenimiento no aplicado.
- Turbina lista para iniciar rotación.
- Nivel de aceite en cojinete NDE: normal.
- Nivel de aceite en cojinete DE: normal.
- Relés de protección de generador: reiniciados.
- Sistema de freno: listo.
- Sistema de lubricación: listo.
- Regulador de velocidad: listo.
- Válvula esférica y deflectores cerrados y listos.
- Regulador de voltaje, sistema de excitación del generador: listo.
- Sistema de enfriamiento: listo.
- Sistema de HPU: listo.
- Interruptor de sincronización del generador: listo.
- Distribuidor: completamente cerrado.
- Caudal y presión del sistema de enfriamiento y flujo de agua en la turbina normal.
- Ecuilibración de tubería Penstock: lista.

- Posición de deflectores: cerrado.
- Condiciones de arranque de unidades generadoras: verificadas y listas.
- Nivel de presa: OK.

Lista 2 (condiciones con el rotor de la máquina girando)

- Secuencia de paro no activada
- Voltajes de control disponibles
- Voltajes de servicios auxiliares en estado normal (480 V_{AC}).
- Selectores en su posición normal
- Relés de protección de generador: reiniciados
- Sistema de freno: listo
- Regulador de voltaje, sistema de excitación del generador: listo
- Interruptor de sincronización del generador: listo

Lista 3 (condiciones con la máquina sincronizada al sistema)

- Sincronización: lista
- Generador sincronizado: listo

Lista 4 (condiciones con la máquina energizada, con voltaje en terminales)

- No existe secuencia de paro activada
- Voltajes de control disponibles
- Voltajes de servicios auxiliares en estado normal (480 V_{AC})
- Selectores en su posición normal
- Relés de protección de generador: reiniciados
- Freno: listo
- Interruptor de sincronización del generador: listo

3.3. Paro normal de unidad Matanzas

A continuación se muestra la secuencia de paro normal del generador Matanzas.

Tabla IX. Secuencia de paro normal del generador Matanzas

PARO NORMAL DE UNIDAD MATANZAS						
ETAPA	CONDICIONES	OPCIÓN ALTERNATIVA 1	ORDEN	RESULTADO	TIEMPO DE TRANSICIÓN 1	OPCIÓN ALTERNATIVA 2
E(0)	No se encuentra activa ninguna secuencia de paro distinta al paro normal.	Se activará otra de las secuencias de paro.	Se verifica que se pueda realizar el paro normal.	La máquina realiza el paro normal si y solo si no se encuentra activa otra secuencia de paro.	Indefinido	Se elige una secuencia de paro diferente al paro normal.
E(1)	Inicia la secuencia de paro normal.	No se ejecuta la secuencia de paro normal.	Se da orden de cerrar álabes móviles e inyectores.	Se retira la carga del generador (potencia activa < 2.80%, potencia reactiva < 0.7%).	3 minutos	S, PE
E(2)	Finaliza la etapa 1, generador sin carga.	PE	Abre interruptor de generador.	Se desenergiza la máquina de la red de energía eléctrica.	1 minuto	S, PE
E(3)	Finaliza etapa 2, interruptor de generador abierto.	PE	Máquina energizada (estado estable).	El rotor del generador disminuye su velocidad. Existe voltaje en las terminales del estator.	5 minutos	
E(4)	Finaliza la etapa 3, se apaga regulador de voltaje, inicia cierre de válvula esférica.	PE	Se desenergiza la máquina, regulador inactivo. Posición del distribuidor 0%.	El generador se encuentra desenergizado.	1 minuto	S, PE
E(5)	Finaliza la etapa 4, velocidad < 27% (107 rpm.) de la nominal, posición del distribuidor 0%.	PE	Rotor de generador girando.	Máquina rotando, velocidad < 27% (rpm.). Voltaje en terminales del estator = 0, válvula esférica cerrada.	3 minutos	

Continuación de la tabla IX.

E(6)	Finaliza la etapa 5, sistemas auxiliares encendidos.	PE	Cierra la válvula ESD.	Verifica la seguridad en el proceso de paro normal, válvula ESD cerrada.	0,5 minutos	S, PE
E(7)	Finaliza la etapa 6, enciende el sistema de lubricación forzada, posición de distribuidor 0%, velocidad < 27% (107 rpm.) de la nominal.	PE, S	Envío de señal para aplicar los frenos.	Los frenos están aplicados.	1.5 minutos	S
E(8)	Finaliza la etapa 7, se apagan los sistemas auxiliares, se apaga sistema de lubricación forzada, se libera el freno.	PE, S	Apagar sistemas auxiliares, sistema de lubricación forzada, liberar frenos.	Sistemas auxiliares y sistema de lubricación forzada apagados. Freno liberado.	1 minuto	S
E(9)	Finaliza la etapa 8, se cierra la válvula del sistema de enfriamiento.	PE, S	Se cierra la válvula del sistema de enfriamiento.	Apagadas las bombas del sistema de enfriamiento, filtros en buen estado.	2 minutos	S
E(10)	Finaliza la etapa 9.		PARO NORMAL (Estado estable).	La máquina se encuentra completamente detenida y lista para proceder a arrancarla.	Indefinido	

Fuente: elaboración propia.

3.3.1. Lista de condiciones de paro normal

La secuencia de paro normal se debe iniciar en caso que se necesite recuperar nivel, en caso de falla o comportamiento anormal de un equipo o por mantenimiento.

- La temperatura de aceite del HPU está por encima de su límite máximo.
- Interruptor de bloqueo del generador por falla: operado.

- Señal del usuario desde la interfaz local o remoto para detener la unidad.
- Bloqueo eléctrico del generador: operado.
- Bloqueo mecánico del generador: operado.
- La secuencia ha permanecido en el paso 3 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 4 y paso 5 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 6 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 7 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 8 y paso 9 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- Nivel de presa demasiado bajo.
- Disparo de tipo eléctrico del generador.
- Orden de disparo mecánico combinado.
- Temperatura del sistema de admisión de aire: alta.
- Temperatura del sistema de salida de aire: alta.
- Sistema en paralelo e interruptor 52G: abiertos.

3.4. Paro de emergencia de unidad Matanzas

A continuación se describe la secuencia de paro de emergencia del generador Matanzas.

Tabla X. **Secuencia de paro de emergencia del generador Matanzas**

PARO DE EMERGENCIA DE UNIDAD MATANZAS				
ETAPA	CONDICIONES	ORDEN	RESULTADO	TIEMPO DE TRANSICIÓN 1
E(0)	Se dio la orden automática o el operador en sala de control presiona el botón de paro de emergencia.	Secuencia de paro de emergencia ACTIVA (estado estable).	La máquina aún se encuentra conectada a la red de energía eléctrica.	Indefinido
E(1)	Se activa correctamente la secuencia de paro de emergencia, se activa relé de bloqueo eléctrico 86E.	Abrir interruptor de campo, cerrar álabes móviles (deflector), cierra agujas de generador.	Se retira la carga del generador (potencia activa < 2.80%, potencia reactiva < 0.7%), abierto interruptor de campo.	2 segundos
E(2)	Generador sin carga.	Abre interruptor de generador.	Se desenergiza la máquina de la red de energía eléctrica.	2 segundos
E(3)	Interruptor de generador completamente abierto.	Máquina energizada (estado estable), apagar y bloquear regulador de velocidad.	El rotor del generador se encuentra rotando, disminuyendo la velocidad. Regulador de velocidad bloqueado y apagado.	5 segundos
E(4)	Finaliza la etapa 3, se apaga regulador de voltaje, inicia cierre de válvula esférica.	Se desenergiza la máquina, regulador inactivo. Posición del distribuidor 0%.	El generador se encuentra desenergizado.	
E(5)	Finaliza la etapa 1, 2 y 4 velocidad < 27% (107 rpm.) de la nominal, posición del distribuidor 0%.	Se cierra limitador de apertura.	Se corta el flujo de agua de entrada a la turbina, válvula esférica cerrada.	3 minutos
E(6)	Finaliza la etapa 5, sistemas auxiliares encendidos.	Cierra la válvula ESD.	Verifica la seguridad en el proceso de paro normal, válvula ESD cerrada.	0.5 minuto

Continuación de la tabla X.

E(7)	Finaliza la etapa 6, enciende el sistema de lubricación forzada, posición de distribuidor 0%, velocidad < 1% de la nominal.	Envío de señal para aplicar los frenos.	Los frenos están aplicados.	1,5 minutos
E(8)	Finaliza la etapa 7, se apagan los sistemas auxiliares, se apaga sistema de lubricación forzada, se libera el freno.	Apagar sistemas auxiliares, sistema de lubricación forzada, liberar frenos.	Sistemas auxiliares y sistema de lubricación forzada apagados. Freno liberado.	1 minuto
E(9)	Finaliza la etapa 8, se cierra la válvula del sistema de enfriamiento.	Se cierra la válvula del sistema de enfriamiento.	Apagadas las bombas del sistema de enfriamiento, filtros en buen estado.	2 minutos
E(10)	Finaliza la etapa 9.	PARO DE EMERGENCIA (Estado estable), desbloqueo de relé 86E.	La máquina se encuentra completamente detenida y lista para proceder a revisarla.	Indefinido

Fuente: elaboración propia.

- En el paro de emergencia no existen acciones alternativas por incumplimiento de alguna de las etapas, ya que es un tipo de paro extremo debido a una situación de emergencia. El incumplimiento de alguna de las etapas conlleva tomar acciones rápidas por parte del ingeniero de la planta, quien hace necesario realizar la operación manualmente.
- Las etapas E (0), E (1), E (2) y E (3) mencionadas en la tabla XII son realizadas en forma simultánea. Una vez hayan finalizado las etapas E (0), E (1), E (2) y E (4) la secuencia de etapas continúa ejecutándose.

- No se tienen prerequisites para la ejecución de la secuencia de paro de emergencia ya que es una situación extrema la cual debe ser ejecutada de forma inmediata.
- Si desde cualquier otra secuencia o estado se da la orden de paro de emergencia, la secuencia iniciará desde cualquier etapa en la cual se haya dado la orden. Por ejemplo si se presiona el botón de paro de emergencia y en la secuencia previamente ejecutada únicamente se encuentra abierta la válvula esférica sin haber iniciado la rotación de la turbina, la secuencia de paro de emergencia comenzará a partir de la etapa E(4).

3.4.1. Lista de condiciones de paro de emergencia

- Disparo general de generador.
- La velocidad del generador es mayor que la velocidad máxima permitida.
- La presión del HPU está por debajo de los 42 bar durante el proceso de arranque.
- Falla mayor en PLC (diagnostico interno del PLC).
- Falla en posicionamiento de agujas.
- Sobre-velocidad de generador.
- Rotura de hilo en la realimentación de la aguja habilitada.
- Falla de excitación.
- Sobre-corriente en el sistema de excitación.
- Falla a tierra.
- Disparo del interruptor 52G.
- Abierto AVR_PT_MCB.
- Compuerta intake: cerrando.
- Compuerta intake: cerrada.

- Flujo de admisión: anormal.
- Accionamiento manual del botón de paro de emergencia.
- Opera el bloqueo eléctrico.
- Sobre-velocidad mecánica del generador.
- Perro guardián del PLC común no funciona correctamente.
- Disparo de relé 86L.
- Disparo de relé 94L.

3.5. Arranque de unidad 1 y 2 de San Isidro

A continuación se muestra la secuencia de arranque de los generadores 1 y 2 de San Isidro.

Tabla XI. **Secuencia de arranque de los generadores 1 y 2 de San Isidro**

ARRANQUE DE UNIDAD 1 Y 2 SAN ISIDRO						
ETAPA	CONDICIONES	OPCIÓN ALTERNATIVA 1	ORDEN	RESULTADO	TIEMPO DE TRANSICIÓN 1	OPCIÓN ALTERNATIVA 2
E(0)	Se cumplen las condiciones de la LISTA 1.	No inicia la secuencia de arranque de la máquina.	Se verifican permisivas y condiciones de la LISTA 1.	Continúa la secuencia de arranque de la máquina y procede la etapa 1.	Indefinido	No cumple con las permisivas y condiciones de la LISTA 1, permanece en la etapa 0
E(1)	Finaliza la etapa 0	Espera el cumplimiento de condiciones de la LISTA 1.	Se encienden los sistemas auxiliares, espera que el HPU tenga una presión entre 90 - 110 bar.	Encendidas los sistemas auxiliares, presión de HPU > 90 bar.	20 segundos	B E(0), S
E(2)	Finaliza la etapa 1, sistemas auxiliares encendidos.	B E (1) por medio de PN.	Abre la válvula ESD.	Verifica la seguridad en el proceso de arranque para abrir válvula ESD.	5 segundos	B E(0), S
E(3)	Finaliza la etapa 2, válvula ESD abierta.	B E (1) por medio de PN.	Inicia apertura de válvula esférica.	Válvula esférica abierta permite el ingreso de agua a la tubería.	50 segundos	B E(0), S

Continuación de la tabla XI.

E(4)	Finaliza la etapa 3.	E (0) por medio de PN.	Válvula esférica abierta.	Inicia la rotación de la turbina.	35 segundos	B E(0), S, PN
E(5)	Finaliza la etapa 4, velocidad > 98% (882 rpm.) de la velocidad de sincronismo.	E (0) por medio de PN o PE.	Turbina rota a velocidad de sincronismo (900 rpm.).	La máquina se encuentra rotando a velocidad de sincronismo (900 rpm.).	Indefinido	B E(0), S, PN, PE
E(6)	Finaliza la etapa 5, se cumplen las condiciones de la LISTA 2.	La máquina continúa esperando que se cumplan las condiciones de la LISTA 2 y permanece en la etapa 5.	Activa el sistema de excitación de la máquina. Velocidad de turbina > 98% de la nominal (882 rpm.).	Sistema de excitación del generador activo, regulador de voltaje encendido.	20 segundos	B E(5), S
E(7)	Finaliza la etapa 6, se activa el sistema de sincronización ., se cumplen las condiciones de la LISTA 3.	La máquina continúa esperando que se cumplan las de la LISTA 3, si al pasar 5 minutos si la unidad no sincroniza se bloquea el sincronizador y se aborta el arranque por medio de PN.	Sincronizar la unidad a la red de energía eléctrica. Velocidad de turbina > 101% de la nominal (909 rpm.).	La máquina se encuentra sincronizada a la red de energía eléctrica.	10 segundos	B E(0), S, PN
E(8)	Finaliza la etapa 7, Voltaje de generador > 70% del voltaje nominal, interruptor de sincronización del generador cerrado, se cumplen las condiciones de la LISTA 4.	Se abre el interruptor de sincronización del generador y regresa a la etapa 0 por medio de PN.	Unidad energizada con voltaje nominal en las terminales del generador.	La máquina se encuentra energizada con voltaje en terminales y sincronizada a la red de energía eléctrica.	5 segundos	B E(0), S, PN
E(9)	Finaliza la etapa 8. Potencia activa mínima > 0.	Regresa a la etapa E (8).	Verificar funcionamiento del generador conectado a la red de energía eléctrica.	Se verifica que la sincronización sea exitosa y se selecciona un valor de potencia de acuerdo a las condiciones hidrológicas.	15 segundos	B E(8), S
E(10)	Finaliza la etapa 9.	Regresa a la etapa E (0), por medio del PE si se observa funcionamiento anormal.	Generador en estado estable.	La máquina opera correctamente de acuerdo a las condiciones y parámetros de la red de energía eléctrica.	Indefinido	B E(0), S, PE

Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Lista de condiciones para el arranque

Lista 1 (condiciones desde que la máquina está parada)

- Secuencia de paro: inactiva
- Voltajes de control: disponibles
- Voltajes de servicios auxiliares en estado normal (480 V_{AC})
- Selectores en su posición normal
- Selector de modo mantenimiento: no aplicado
- Turbina lista para iniciar rotación
- Temperatura en cojinete NDE: normal
- Temperatura en cojinete DE: normal
- Relés de protección de generador: reiniciados
- Regulador de velocidad: listo
- Válvula esférica y deflectores: cerrados y listos
- Regulador de voltaje, sistema de excitación del generador: listo
- Sistema de HPU: listo
- Interruptor de sincronización del generador: listo
- Distribuidor: completamente cerrado
- Ecuación de tubería Penstock: lista
- Posición de deflectores: cerrado
- Condiciones de arranque de unidades generadoras verificadas y listas
- Nivel de presa: OK

Lista 2 (condiciones con el rotor de la máquina girando)

- Secuencia de paro: no activada
- Voltajes de control: disponibles

- Voltajes de servicios auxiliares en estado normal (480 V_{AC})
- Selectores en su posición normal
- Relés de protección de generador: reiniciados
- Regulador de voltaje, sistema de excitación del generador: listo
- Interruptor de sincronización del generador: listo

Lista 3 (condiciones con la máquina sincronizada al sistema)

- Sincronización: lista
- Generador sincronizado: listo

Lista 4 (condiciones con la máquina energizada, con voltaje en terminales)

- No existe secuencia de paro activada
- Voltajes de control: disponibles
- Voltajes de servicios auxiliares en estado normal (480 V_{AC})
- Selectores en su posición normal
- Relés de protección de generador: reiniciados
- Interruptor de sincronización del generador: listo.

3.6. Paro normal de unidad 1 y 2 de San Isidro

A continuación se muestra la secuencia de paro normal de los generadores 1 y 2 de San Isidro.

Tabla XII. **Secuencia de paro normal de los generadores 1 y 2 de San Isidro**

PARO NORMAL DE UNIDAD 1 Y 2 SAN ISIDRO						
ETAPA	CONDICIONES	OPCIÓN ALTERNATIVA 1	ORDEN	RESULTADO	TIEMPO DE TRANSICIÓN 1	OPCIÓN ALTERNATIVA 2
E(0)	No se encuentra activa ninguna secuencia de paro distinta al paro normal.	Se activará otra de las secuencias de paro.	Se verifica que se pueda realizar el paro normal.	La máquina realiza el paro normal si y solo si no se encuentra activa otra secuencia de paro.	Indefinido	Se elige una secuencia de paro diferente al paro normal
E(1)	Inicia la secuencia de paro normal.	No se ejecuta la secuencia de paro normal.	Se da orden de cerrar álabes móviles (cierra agujas de generador).	Se retira la carga del generador (potencia activa < 2.80%, potencia reactiva < 0.7%).	40 segundos	S, PE
E(2)	Finaliza la etapa 1, generador sin carga.	PE	Abre interruptor de generador.	Se desenergiza la máquina de la red de energía eléctrica.	10 segundos	S, PE
E(3)	Finaliza etapa 2, interruptor de generador completamente abierto.	PE	Máquina energizada (estado estable).	El rotor del generador se encuentra rotando, disminuyendo la velocidad. Existe voltaje en las terminales del estator.	Indefinido	
E(4)	Finaliza la etapa 3, se apaga regulador de voltaje, inicia cierre de válvula esférica.	PE	Se desenergiza la máquina, regulador inactivo. Posición del distribuidor 0%.	El generador se encuentra desenergizado.	3 minutos	S, PE

Continuación de la tabla XII.

E(5)	Finaliza la etapa 4, velocidad < 27% (243 rpm.) de la nominal, posición del distribuidor 0%.	PE	Rotor de generador girando.	La máquina se encuentra rotando, velocidad < 27% (rpm.). No se tiene voltaje en terminales del estator, válvula esférica cerrada.	10 segundos	
E(6)	Finaliza la etapa 5, sistemas auxiliares encendidos.	PE	Cierra la válvula ESD.	Verifica la seguridad en el proceso de paro normal, válvula ESD) cerrada.	5 segundos	S, PE
E(7)	Finaliza la etapa 6, se apagan los sistemas auxiliares.	PE, S	Apagar sistemas auxiliares, sistema de lubricación forzada.	Sistemas auxiliares apagados.	35 minutos	S
E(8)	Finaliza la etapa 7.		PARO NORMAL (Estado estable).	La máquina se encuentra completamente detenida y lista para proceder a arrancarla.	Indefinido	

Fuente: elaboración propia.

3.6.1. Lista de condiciones de paro normal

A continuación se muestra la lista de condiciones por las cuales la unidad generadora puede iniciar la secuencia de paro normal:

- La temperatura de aceite del HPU está por encima de su límite máximo.
- Interruptor de bloqueo del generador por falla: operado.
- Señal del usuario desde la interfaz local o remoto para detener la unidad.

- Bloqueo eléctrico del generador: operado.
- Bloqueo mecánico del generador: operado.
- La secuencia ha permanecido en el paso 3 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 4 y 5 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 6 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 7 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- La secuencia ha permanecido en el paso 8 y 9 durante un tiempo mayor que el tiempo máximo permitido.
- Nivel de presa demasiado bajo.
- Disparo de tipo eléctrico del generador.
- Orden de disparo mecánico combinado.
- Temperatura del sistema de admisión de aire: alta.
- Temperatura del sistema de salida de aire: alta.
- Sistema en paralelo e interruptor 52G: abiertos.

3.7. Paro de emergencia de unidad 1 y 2 de San Isidro

A continuación se muestra la secuencia de paro de emergencia de los generadores 1 y 2 de San Isidro.

Tabla XIII. **Secuencia de paro de emergencia de los generadores 1 y 2 de San Isidro**

PARO DE EMERGENCIA DE UNIDAD 1 Y 2 SAN ISIDRO				
ETAPA	CONDICIONES	ORDEN	RESULTADO	TIEMPO DE TRANSICIÓN 1
E(0)	Se dio la orden automática o el operador en sala de control presiona el botón de paro de emergencia.	Secuencia de paro de emergencia ACTIVA (estado estable).	La máquina aún se encuentra conectada a la red de energía eléctrica.	Indefinido
E(1)	Se activa correctamente la secuencia de paro de emergencia, se activa relé de bloqueo eléctrico 86E.	Abrir interruptor de campo, cerrar álabes móviles (deflector), cierra agujas de generador.	Se retira la carga del generador (potencia activa < 2.80%, potencia reactiva < 0.7%), abierto interruptor de campo.	2 segundos
E(2)	Generador sin carga.	Abre interruptor de generador.	Se desenergiza la máquina de la red de energía eléctrica.	2 segundos
E(3)	Interruptor de generador completamente abierto.	Máquina energizada (estado estable), apagar y bloquear regulador de velocidad.	El rotor del generador se encuentra rotando, disminuyendo la velocidad. Regulador de velocidad bloqueado y apagado.	5 segundos
E(4)	Finaliza la etapa 3, se apaga regulador de voltaje, inicia cierre de válvula esférica.	Se desenergiza la máquina, regulador inactivo. Posición del distribuidor 0%.	El generador se encuentra desenergizado.	
E(5)	Finaliza la etapa 1, 2 y 4 velocidad < 27% (243 rpm.) de la nominal, posición del distribuidor 0%.	Se cierra limitador de apertura.	Se corta el flujo de agua de entrada a la turbina, válvula esférica cerrada.	3 minutos

Continuación de la tabla XIII.

E(6)	Finaliza la etapa 5, sistemas auxiliares encendidos.	Cierra la válvula ESD.	Verifica la seguridad en el proceso de paro normal, válvula ESD cerrada.	5 segundos
E(7)	Finaliza la etapa 6, se apagan los sistemas auxiliares.	Apagar sistemas auxiliares, sistema de lubricación forzada.	Sistemas auxiliares apagados.	35 minutos
E(8)	Finaliza la etapa 7.	PARO DE EMERGENCIA (Estado estable), desbloqueo de relé 86E.	La máquina se encuentra completamente detenida y lista para proceder a revisarla.	Indefinido

Fuente: elaboración propia.

- En el paro de emergencia no existen acciones alternativas por incumplimiento de alguna de las etapas, ya que es un tipo de paro extremo debido a una situación de emergencia. El incumplimiento de alguna de las etapas conlleva tomar acciones rápidas por parte del ingeniero de la planta, quien informa la necesidad de realizar la operación manualmente.
- Las etapas E (0), E (1), E (2) y E (3) mencionadas en la tabla XV son realizadas en forma simultánea. La etapa E (4) se ejecutará sí y solo si la etapa E (3) se da por culminada. Una vez hayan finalizado las etapas E (0), E (1), E (2) y E (4), la secuencia de etapas continúa ejecutándose.

- No se tienen prerequisites para la ejecución de la secuencia de paro de emergencia, ya que es una situación extrema, la cual debe ser ejecutada de forma inmediata.
- Si desde cualquier otra secuencia o estado se da la orden de paro de emergencia, la secuencia iniciará desde cualquier etapa en la cual se haya dado la orden. Por ejemplo, si se presiona el botón de paro de emergencia y en la secuencia previamente ejecutada, únicamente se encuentra abierta la válvula esférica sin haber iniciado la rotación de la turbina, la secuencia de paro de emergencia comenzará a partir de la etapa E(4).

3.7.1. Lista de condiciones de paro de emergencia

- Disparo general del generador.
- La velocidad del generador es mayor que la velocidad máxima permitida.
- La presión del HPU está por debajo de los 89 bar durante el proceso de arranque.
- Falla mayor en PLC (diagnóstico interno del PLC).
- Falla en posicionamiento de agujas.
- Sobrevelocidad de generador.
- Rotura de hilo en la realimentación de la aguja habilitada.
- Falla de excitación.
- Sobrecorriente en el sistema de excitación.
- Falla a tierra.
- Disparo del interruptor 52G.
- Abierto AVR_PT_MCB.
- Compuerta intake: cerrando.
- Compuerta intake: cerrada.

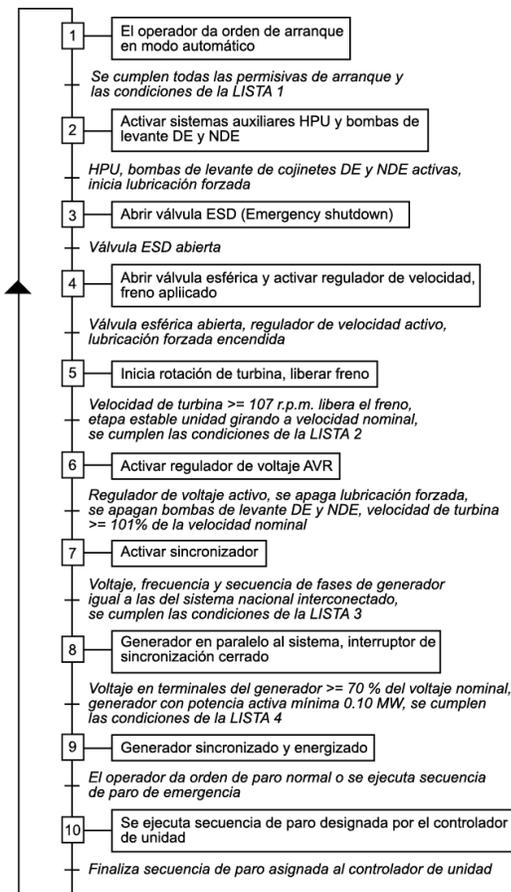
- Flujo de admisión: anormal.
- Accionamiento manual del botón de paro de emergencia.
- Opera el bloqueo eléctrico.
- Sobrevelocidad mecánica del generador.
- Perro guardián del PLC común: no funciona correctamente.
- Disparo de relé 86L.
- Disparo de relé 94L.

4. GRAFCET Y ANÁLISIS DE FALLAS

4.1. GRAFCET 1 nivel 1 arranque del generador Matanzas

A continuación, a través de las siguientes figuras, se presenta el análisis de fallas por niveles de arranque del generador Matanzas y San Isidro.

Figura 27. GRAFCET 1 nivel 1 arranque del generador Matanzas



Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Aclaraciones del GRAFCET 1

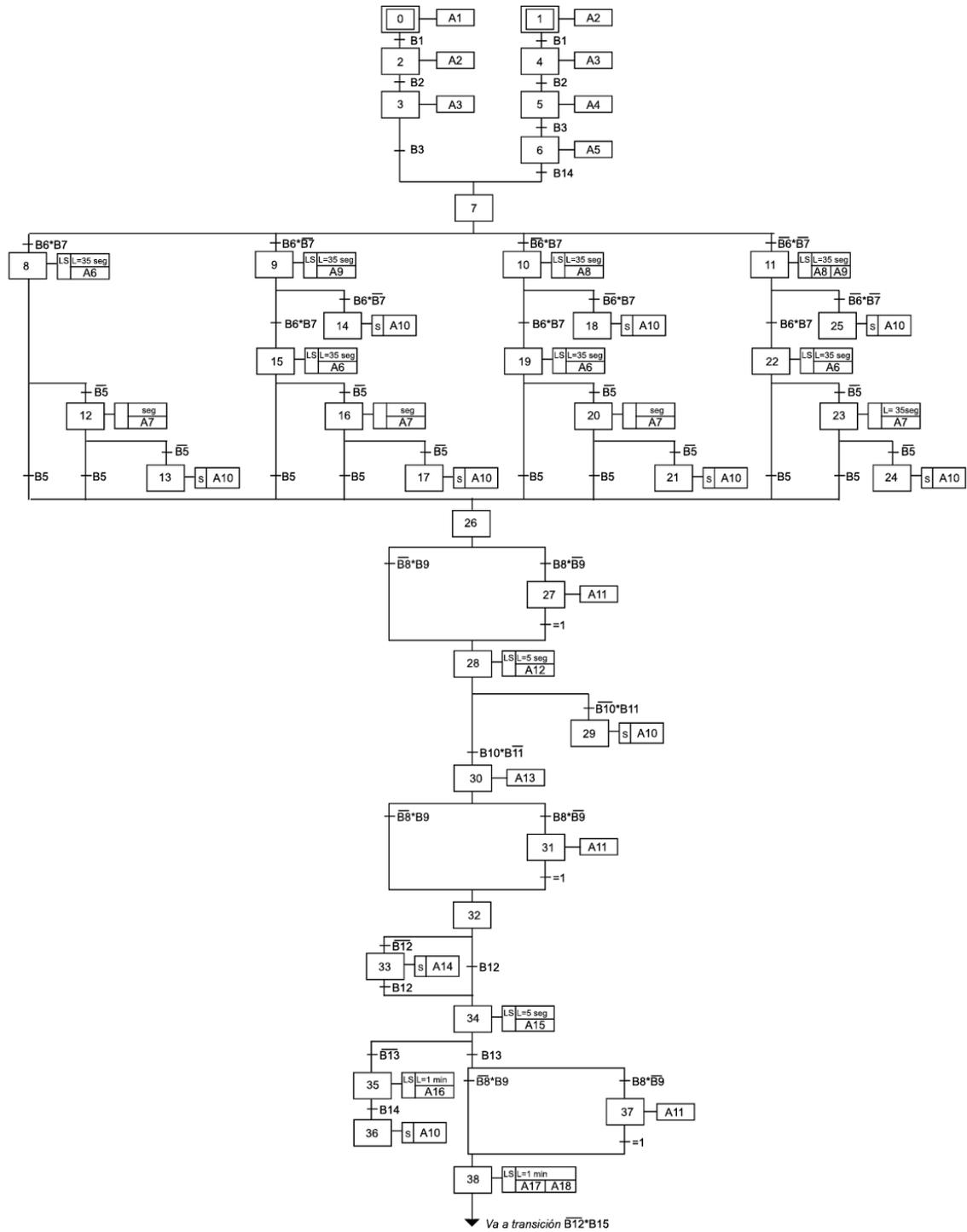
- En la etapa 1, el operador selecciona el modo de arranque en automático, ya que si selecciona el modo paso a paso o modo manual, el controlador de unidad no continuará a la siguiente etapa, para continuar, el operador deberá dar la orden.
- En cualquier etapa, el programa SCADA da la opción de seleccionar el modo paso a paso, si el operador selecciona esta opción deberá dar la orden de continuar a la siguiente etapa.
- Para que ocurra la transición entre las etapas 5 y 6 la velocidad de la turbina debe ser de 107 rpm, para que el controlador de unidad da orden de liberar el freno.
- La velocidad nominal de la turbina es de 400 rpm, para que ocurra la transición entre las etapas 5 y 6 la velocidad de la turbina debe ser ≥ 98 % de la velocidad nominal (392 rpm).
- La velocidad nominal de la turbina es de 400 rpm, para que ocurra la transición entre las etapas 6 y 7 la velocidad de la turbina debe ser ≥ 101 % de la velocidad nominal (404 rpm).
- El voltaje nominal del generador es de 4 160 voltios, para que ocurra la transición entre las etapas 8 y 9 es necesario que el voltaje sea $\geq 2 912$ voltios y no exista ningún tipo de falla (monofásica, bifásica o trifásica) registrada por el sistema de protecciones.

- La secuencia de arranque finaliza en la etapa 9; las etapas siguientes muestran cómo se ejecuta alguna secuencia de paro y regresa a la etapa 1.

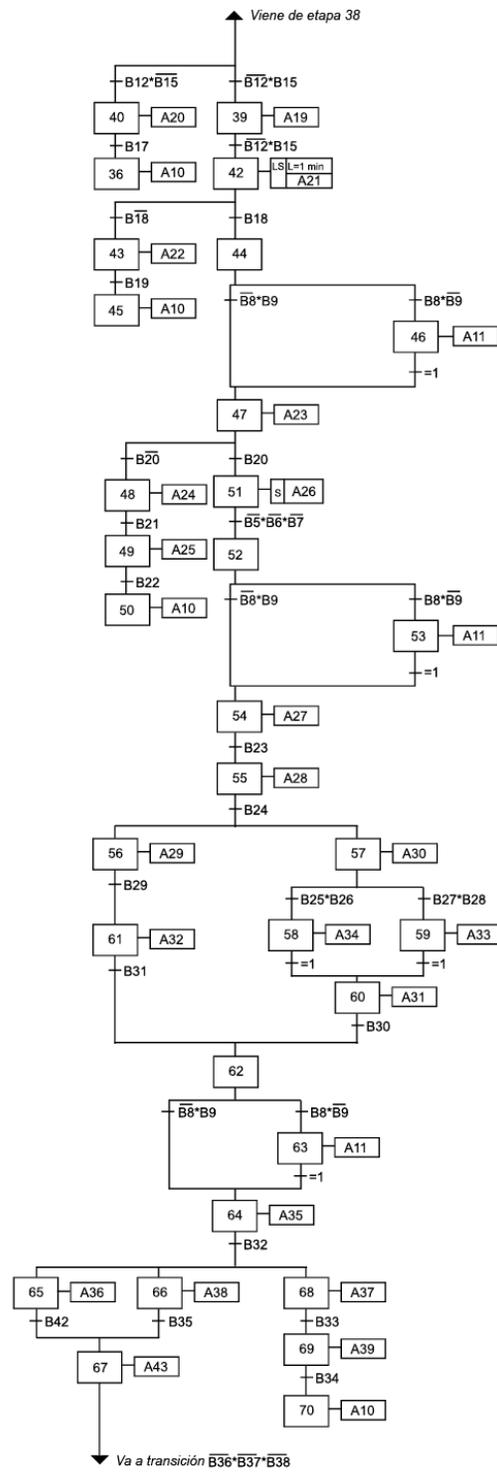
4.2. GRAFCET 2 nivel 2 arranque del generador Matanzas

A continuación se muestra el GRAFCET 2 nivel 2 arranque del generador Matanzas.

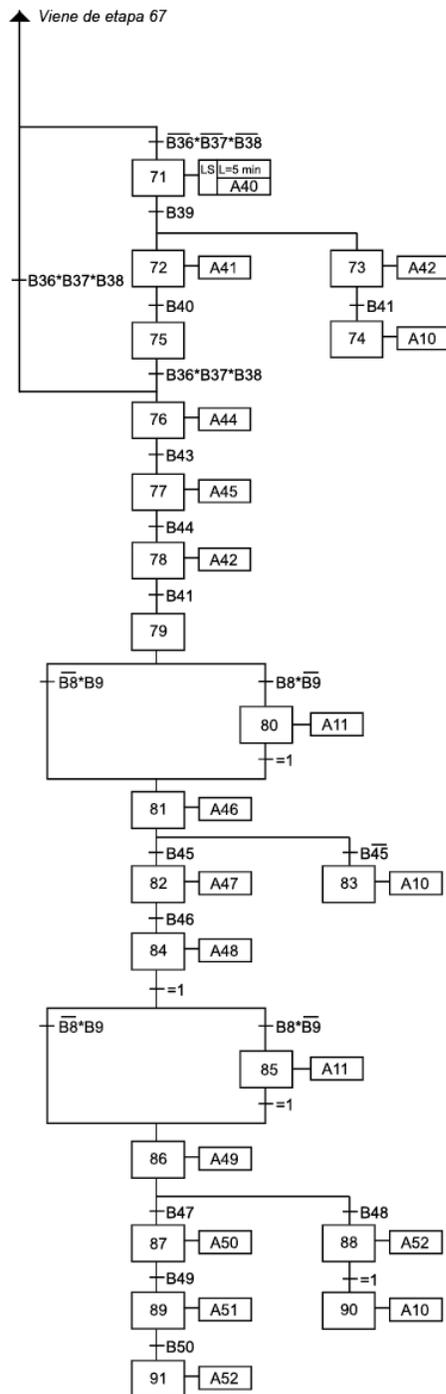
Tabla XIV. **GRAFNET 2 nivel 2 arranque del generador Matanzas**



Continuación de la tabla XIV.



Continuación de la tabla XIV.



Continuación de la tabla XIV.

ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
A1	El operador da orden al controlador de unidad de arrancar el generador en modo automático.
A2	El operador da orden al controlador de unidad de arrancar el generador en modo paso a paso.
A3	El operador abre válvula manual del sistema de enfriamiento y apaga el sistema de calentadores del devanado.
A4	El controlador de unidad verifica el cumplimiento de condiciones de la LISTA 1.
A5	El operador da orden al controlador de unidad de continuar a la siguiente etapa.
A6	Activar la bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A7	Activar la bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
A8	Activar bomba de levante del cojinete NDE.
A9	Activar bomba de levante del cojinete DE.
A10	El controlador de unidad dirige la máquina a la etapa 0 del arranque.
A11	El operador da orden al controlador de unidad de continuar a la siguiente etapa.
A12	El controlador de unidad verifica la seguridad en el proceso de arranque de la máquina.
A13	Válvula ESD (Emergency Shutdown) abierta.
A14	Aplicar frenos.
A15	Abrir válvula esférica.
A16	Cerrar válvula esférica.
A17	Activar lubricación forzada.
A18	Liberar freno.
A19	El controlador de unidad verifica el estado del regulador de velocidad.
A20	Ejecutar subprograma 1 de arranque de unidad Matanzas.
A21	Activar regulador de velocidad.
A22	Ejecutar subprograma 2 de arranque de unidad Matanzas.
A23	Etapa estable, unidad en marcha girando a velocidad nominal.
A24	El controlador de unidad verifica el cumplimiento de condiciones de la LISTA 2.
A25	El controlador de unidad ejecuta la secuencia de paro seleccionada.
A26	Apagar lubricación forzada.
A27	Activar regulador de voltaje (AVR).
A28	El operador presiona el botón para liberar fallas (fault reset) en panel AVR.
A29	El operador coloca los selectores del panel AVR en auto/remoto.
A30	El operador coloca los selectores del panel AVR en manual/local.
A31	El operador ajusta en modo manual el factor de potencia y la potencia reactiva del generador en el panel AVR de acuerdo a los límites de la curva de potencia.
A32	El controlador de unidad ajusta en automático manual el factor de potencia y la potencia reactiva del generador de acuerdo a los límites de la curva de potencia.
A33	Generador sobre-excitado (inductivo) entrega potencia reactiva al sistema nacional interconectado.
A34	Generador sub-excitado (capacitivo) absorbe potencia reactiva del sistema nacional interconectado.
A35	Activar sincronizador.
A36	El operador coloca el selector del panel de sincronización en posición automático.
A37	El operador coloca el selector del panel de sincronización en posición apagado.
A38	El operador coloca el selector del panel de sincronización en posición manual.
A39	El controlador de unidad da orden de ejecutar secuencia de paro de emergencia por sobre-velocidad.
A40	El controlador de unidad da orden de bloquear el sincronizador por exceder el límite de tiempo programado.
A41	El operador desbloquea el sincronizador.
A42	El controlador de unidad da orden de apagar el sincronizador.
A43	El controlador de unidad compara voltaje, frecuencia y secuencia de fases del generador y del sistema nacional interconectado.
A44	Cerrar interruptor de sincronización de generador.
A45	Etapa estable, generador sincronizado al sistema nacional interconectado.
A46	El controlador de unidad da orden de conectar en paralelo el generador al sistema nacional interconectado.
A47	Generador con voltaje y frecuencia nominal.
A48	Generado conectado en paralelo al sistema nacional interconectado.
A49	Etapa estable, generador con potencia activa mínima 0.10 MW.
A50	El operador ingresa el valor de potencia activa de acuerdo a las condiciones hidrológicas y los requerimientos del sistema nacional interconectado.
A51	Generador sincronizado y con voltaje en terminales.
A52	El controlador de unidad ejecuta alguna secuencia de paro.

Continuación de la tabla XIV.

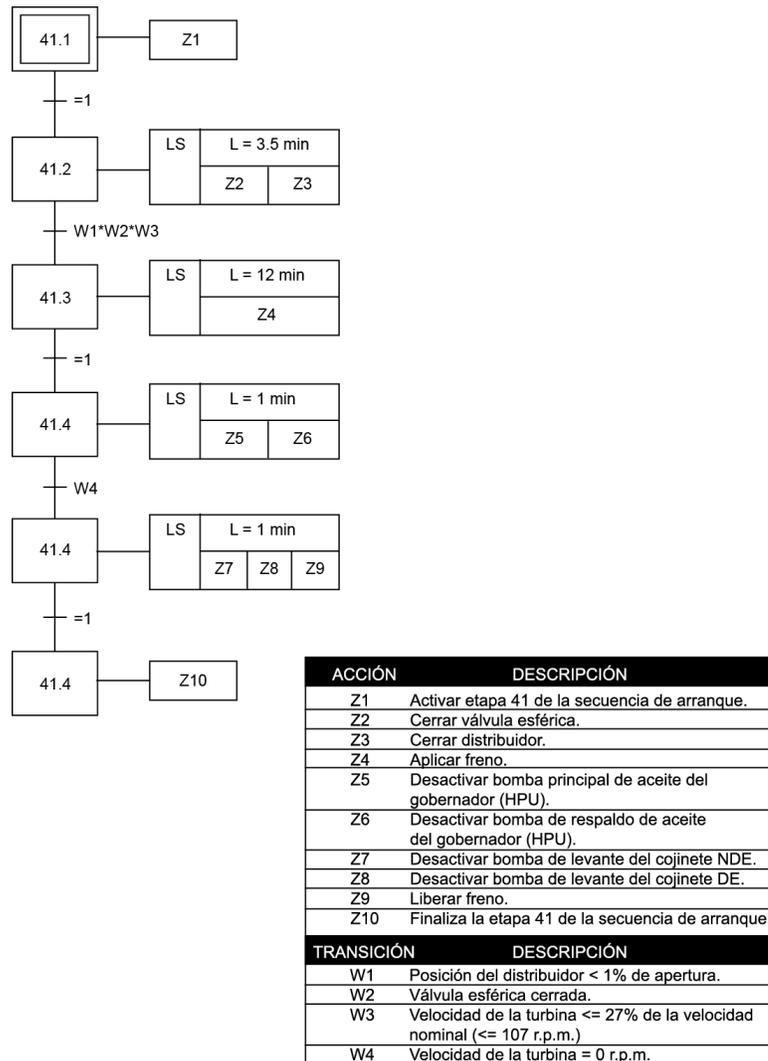
TRANCISIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	El controlador de unidad verifica la comunicación hacia el PLC.
B2	El controlador de unidad verifica el cumplimiento de las permisivas de arranque del generador.
B3	Se cumplen las condiciones de la LISTA 1.
B4	El controlador de unidad continúa con la secuencia de arranque.
B5	Sistema de HPU (unidad de alta presión) activo. Bomba principal y de respaldo de aceite del gobernador activas.
B6	Bomba de levante del cojinete NDE activa.
B7	Bomba de levante del cojinete DE activa.
B8	Secuencia de arranque paso a paso activa.
B9	Secuencia de arranque automático activa.
B10	Abrir válvula ESD (Emergency shutdown).
B11	Cerrar válvula ESD (Emergency shutdown).
B12	Freno aplicado.
B13	Válvula esférica abierta.
B14	Válvula esférica cerrada.
B15	Lubricación forzada activa.
B16	Regulador de velocidad desbloqueado.
B17	Finaliza la etapa 41
B18	Velocidad de la turbina > 98% de la velocidad nominal (> 392 r.p.m.)
B19	Finaliza la etapa 45
B20	Se cumplen las condiciones de la LISTA 2.
B21	El controlador de unidad ejecuta alguna secuencia de paro.
B22	Alguna secuencia de paro se encuentra activa.
B23	Regulador de voltaje encendido.
B24	Regulador de voltaje desbloqueado y listo.
B25	El generador absorbe potencia reactiva del sistema nacional interconectado.
B26	Factor de potencia del generador en adelanto.
B27	El generador entrega potencia reactiva al sistema nacional interconectado.
B28	Factor de potencia del generador en atraso.
B29	El controlador de unidad verifica ajustes de potencia reactiva y factor de potencia.
B30	El operador ajustó la potencia reactiva y el factor de potencia.
B31	El controlador de unidad ajustó la potencia reactiva y el factor de potencia.
B32	Sincronizador activo.
B33	Velocidad de la turbina $\geq 115\%$ de la velocidad nominal (≥ 460 r.p.m.)
B34	Secuencia de paro de emergencia activa.
B35	El operador ajustó el voltaje, la frecuencia y la secuencia de fases del generador igual a los parámetros del sistema nacional interconectado.
B36	El controlador de unidad verifica que el voltaje de generador sea igual al voltaje del sistema nacional interconectado.
B37	El controlador de unidad verifica que la frecuencia de generador sea igual a la frecuencia del sistema nacional interconectado.
B38	El controlador de unidad verifica que la secuencia de fases de generador sea igual a la secuencia de fases del sistema nacional interconectado.
B39	Sincronizador bloqueado.
B40	Sincronizador desbloqueado.
B41	Sincronizador apagado.
B42	El controlador de unidad ajustó el voltaje, la frecuencia y la secuencia de fases del generador igual a los parámetros del sistema nacional interconectado.
B43	Interruptor de sincronización del generador cerrado.
B44	Se cumplen las condiciones de la LISTA 3.
B45	Voltaje en terminales del generador $\geq 70\%$ del voltaje nominal (≥ 2.90 KV), no existe falla monofásica, bifásica o trifásica.
B46	Se cumplen las condiciones de la LISTA 4.
B47	Potencia activa mínima = 0.10 MW
B48	No se ingresó valor de potencia activa.
B49	Valor de potencia activa ingresado ≥ 1.10 MW.
B50	Alguna secuencia de paro se encuentra activa.

Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

4.2.1. Subprograma 1 de arranque

A continuación se presenta el subprograma 1 de arranque.

Tabla XV. Subprograma 1 de arranque

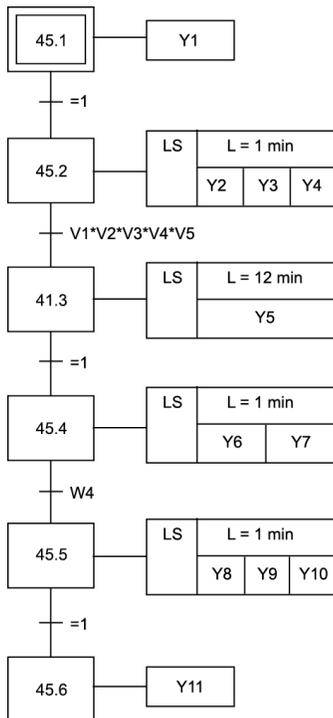


Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

4.2.2. Subprograma 2 de arranque

A continuación se presenta el subprograma 2 de arranque.

Tabla XVI. Subprograma 2 de arranque



ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
Y1	Activar etapa 45 de la secuencia de arranque.
Y2	Apagar regulador de velocidad.
Y3	Cerrar válvula esférica.
Y4	Cerrar distribuidor
Y5	Aplicar freno.
Y6	Desactivar bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
Y7	Desactivar bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
Y8	Desactivar bomba de levante del cojinete NDE.
Y9	Desactivar bomba de levante del cojinete DE.
Y10	Liberar freno.
Y11	Finaliza la etapa 45 de la secuencia de arranque.
TRANSICIÓN	DESCRIPCIÓN
V1	Regulador de velocidad apagado.
V2	Válvula esférica cerrada.
V3	Posición del distribuidor < 1% de apertura nominal (<= 107 r.p.m.)
V4	Velocidad de la turbina <= 27% de la velocidad nominal (<= 107 r.p.m.)
V5	Presión en bombas de levante de cojinetes NDE y DE normal.
V6	Velocidad de la turbina = 0 r.p.m.

Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

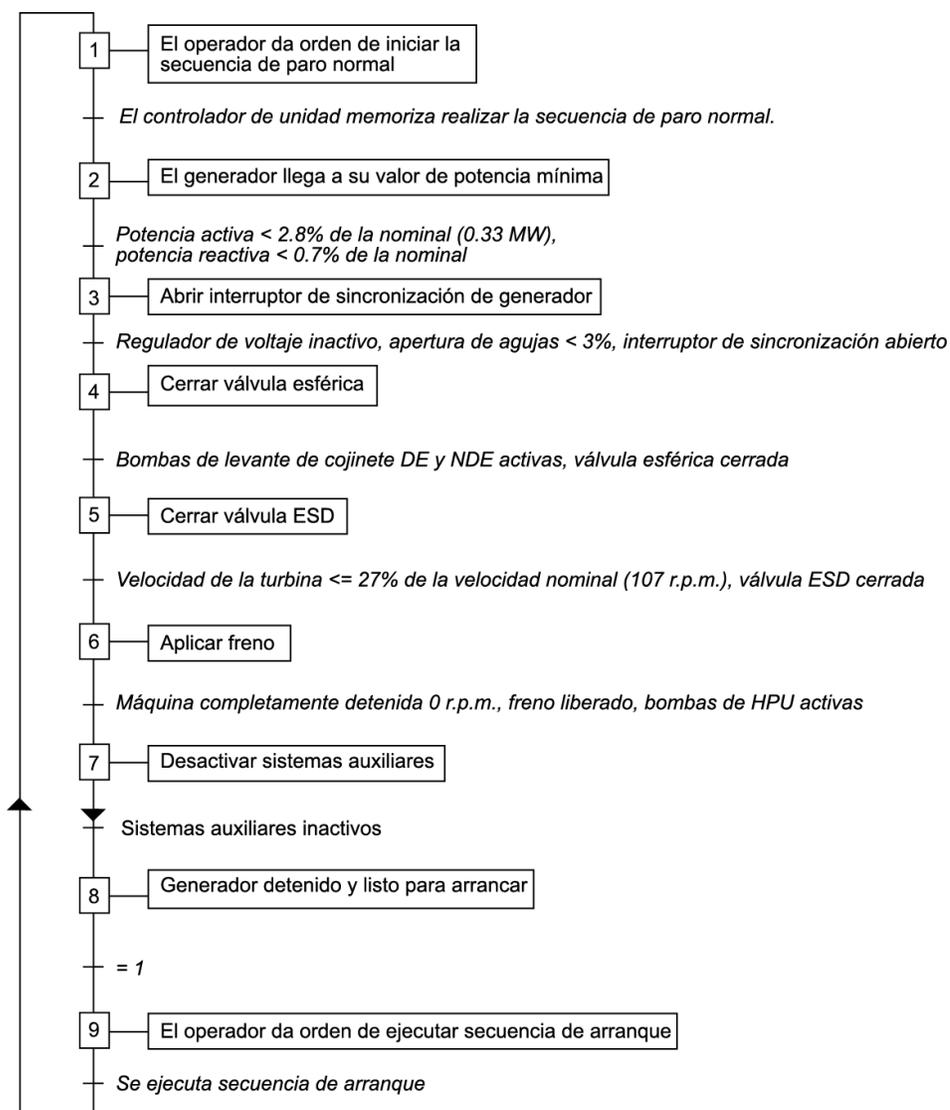
4.2.3. Aclaraciones del GRAFCET 2

- Las etapas memorizadas por el controlador de unidad en modo automático son inhabilitadas cuando se da orden de ejecutar alguna de las secuencias de paro.
- Las etapas de inicio del GRAFCET 2 son mutuamente excluyentes, al seleccionar la secuencia de arranque en modo automático iniciará por la etapa 0, no puede seleccionarse en modo manual desde la etapa 1 y viceversa.
- Si existe una falla en la secuencia de arranque el controlador de unidad da orden de llevar la secuencia a la etapa 0. Se iniciará nuevamente la secuencia de arranque si y solo si el operador da la orden.
- Cuando se da la orden de iniciar la secuencia de arranque en el modo paso a paso, las órdenes de continuar a la siguiente etapa se realizan desde el SCADA.
- Cuando se da la orden de iniciar la secuencia de arranque en el modo manual, las órdenes de continuar a la siguiente etapa se realizan desde el HMI ubicado en la unidad de control.
- Para dar continuidad a la secuencia de arranque en modo automático todos los selectores de los equipos auxiliares, regulador de voltaje y sincronizador, deben estar en su posición normal (se recomienda que todos los selectores estén en modo automático).

4.3. GRAFCET 3 nivel 1 paro normal del generador Matanzas

A continuación se muestra el GRAFCET 3 nivel 1 paro normal del generador Matanzas.

Tabla XVII. GRAFCET 3 nivel 1 paro normal del generador Matanzas



Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

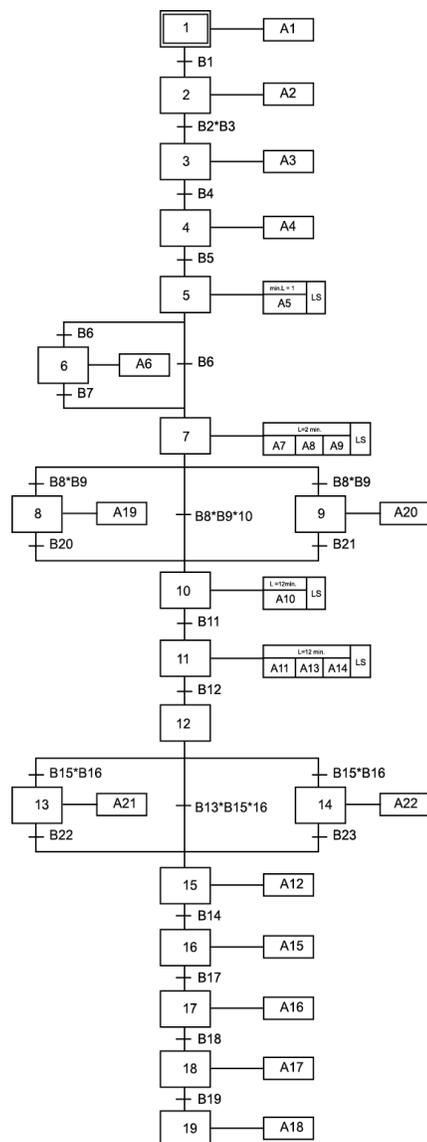
4.3.1. Aclaraciones del GRAFCET 3

- La secuencia de paro normal se realiza en forma automática, no se tiene opción para realizar en modo paso a paso.
- Si los selectores de la unidad de control se encuentran en automático la orden de paro normal se realiza desde el SCADA, en caso que se encuentren en manual, la orden de paro normal se realiza desde el HMI ubicado en la unidad de control.
- La secuencia de paro normal finaliza en la etapa 8, la siguiente, muestra cómo se ejecuta la secuencia de arranque luego que la máquina está detenida con el objetivo de cerrar el ciclo del proceso.

4.4. GRAFCET 4 nivel 2 paro normal del generador Matanzas

A continuación se muestra el GRAFCET 4 nivel 2 paro normal del generador Matanzas.

Tabla XVIII. GRAFCET 4 nivel 2 paro normal del generador Matanzas



ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
A1	El operador da orden al controlador de unidad de iniciar
A2	secuencia de paro normal.
A3	El controlador de unidad da orden de llevar el generador
A4	a su valor de potencia mínima.
A5	Desactivar regulador de voltaje (sistema de excitación AVR).
A6	Desactivar regulador de velocidad, cerrar agujas y
A7	álabes móviles.
A8	Abrir interruptor de sincronización de generador.
A9	El controlador de unidad da orden de ejecutar secuencia
A10	de paro de emergencia.
A11	Cerrar válvula esférica.
A12	Activar bomba de levante de cojinete DE.
A13	Activar bomba de levante de cojinete NDE.
A14	Cerrar válvula ESD.
A15	Aplicar freno.
A16	Liberar freno.
A17	Activar bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A18	Activar bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
A19	Apagar sistemas auxiliares.
A20	Unidad completamente detenida y lista para arrancar.
A21	El operador cierra la válvula manual del sistema de enfriamiento.
A22	El operador da orden de iniciar secuencia de arranque.
TRANSICIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	El controlador de unidad memoriza la secuencia de paro normal.
B2	Potencia activa <= 2.80% de la potencia nominal (0.33 MW).
B3	Potencia reactiva <= 0.70% de la potencia nominal (0.01 MVar).
B4	Regulador de voltaje inactivo (sistema de excitación AVR).
B5	Regulador de velocidad inactivo, agujas con un valor <= 3% de apertura.
B6	Interruptor de sincronización abierto.
B7	Secuencia de paro de emergencia activa.
B8	Bomba de levante de cojinete DE activa.
B9	Bomba de levante de cojinete NDE activa.
B10	Válvula esférica cerrada.
B11	Válvula ESD (Emergency shutdown) cerrada.
B12	Velocidad de la turbina <= 27% de la velocidad nominal (107 r.p.m.).
B13	Freno aplicado.
B14	Velocidad de la turbina igual a 0 r.p.m., freno liberado.
B15	Bomba principal de aceite del gobernador (HPU) activa, nivel de aceite y presión en su rango nominal (47 – 54 bar).
B16	Bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU) activa, nivel de aceite y presión en su rango nominal (47 – 54 bar).
B17	Sistemas auxiliares inactivos.
B18	Finalizó secuencia de paro normal del generador.
B19	Presión y caudal del sistema de enfriamiento 0 bar y 0 m3/hora, respectivamente.
B20	Presión en bomba de levante de cojinete DE en su rango nominal (60 – 160 bar).
B21	Presión en bomba de levante de cojinete NDE en su rango nominal (90 – 90 bar).
B22	Presión en bomba principal de aceite del gobernador en su rango nominal (47 – 54 bar).
B23	Presión en bomba de respaldo de aceite del gobernador en su rango nominal (47 – 54 bar).

Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

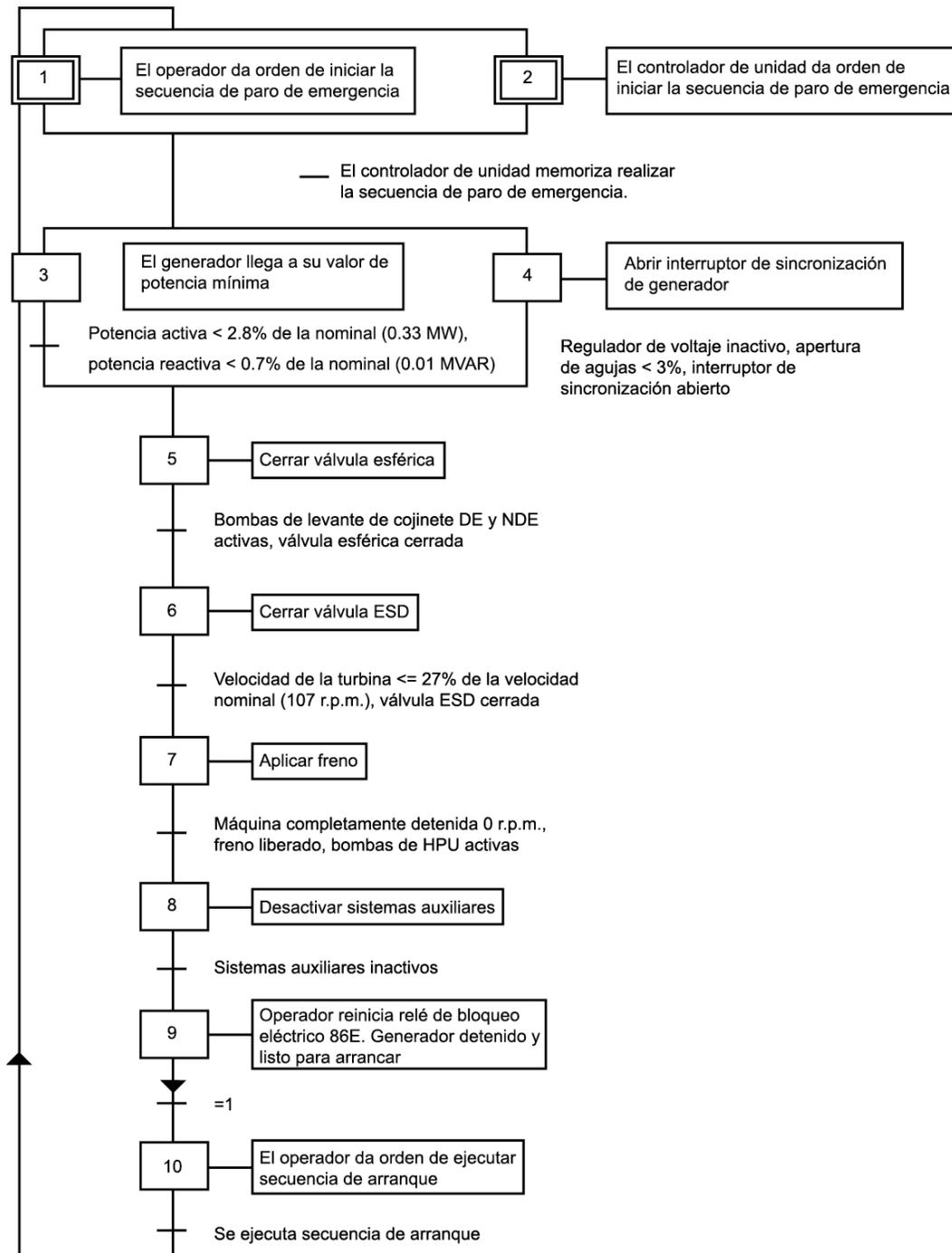
4.4.1. Aclaraciones del GRAFCET 4

- La secuencia de paro de emergencia a la cual se hace referencia en la etapa 6 del GRAFCET 4 será detallada en el siguiente apartado.
- La ejecución de un paro de emergencia puede ser realizada en cualquier etapa del paro normal, en caso de detectar alguna falla en el proceso.
- Las etapas subsiguientes a la etapa 1 son realizadas en forma automática por el controlador de unidad, independientemente que los selectores de la unidad de control se encuentren en modo automático o manual.
- Si los selectores de la unidad de control se encuentran en modo automático la orden de iniciar la secuencia de paro normal se realiza desde el SCADA, en caso que los selectores se encuentren en modo manual la orden de iniciar la secuencia de paro normal se realiza desde el HMI ubicado en la unidad de control.

4.5. GRAFCET 5 nivel 1 paro de emergencia del generador Matanzas

A continuación se muestra el GRAFCET 5 nivel 1 paro de emergencia del generador Matanzas.

Tabla XIX. **GRAF CET 5 nivel 1 paro de emergencia del generador Matanzas**



Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

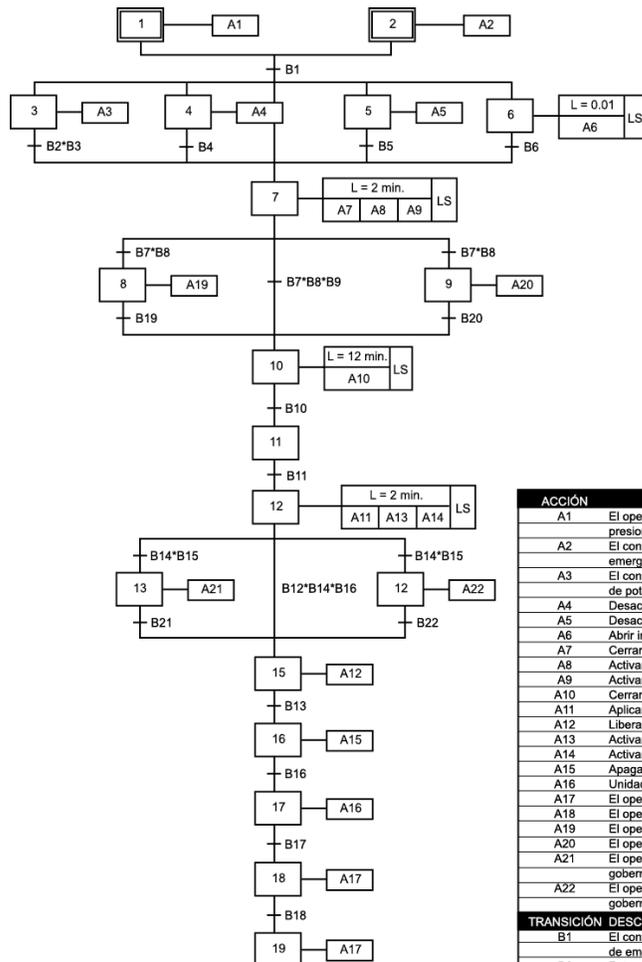
4.5.1. Aclaraciones del GRAFCET 5

- La etapa 1 es de realización manual, el operador debe activar a voluntad el paro de emergencia cuando se detecte alguna falla que amerite realizar dicha secuencia (inciso 3.4.1, lista de condiciones de paro de emergencia).
- Luego de activar la etapa 1, o que se haya activado automáticamente la etapa 2, procede una transición que siempre se cumple, ya que el objetivo del paro de emergencia es precisamente proteger el generador frente a eventualidades que puedan poner en riesgo el equipo.
- El paro de emergencia puede darse en cualquier etapa del arranque y, también se puede dar al ocurrir alguna falla en el paro normal.

4.6. GRAFCET 6 nivel 2 paro de emergencia del generador Matanzas

A continuación se muestra el GRAFCET 6 nivel 2 paro de emergencia del generador Matanzas.

Tabla XX. **GRAF CET 6 nivel 2 paro de emergencia del generador Matanzas**



ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
A1	El operador da orden de iniciar secuencia de paro de emergencia presionando el botón.
A2	El controlador de unidad da orden de iniciar secuencia de paro de emergencia por alguna falla detectada.
A3	El controlador de unidad da orden de llevar el generador a su valor de potencia mínima.
A4	Desactivar regulador de voltaje (sistema de excitación AVR).
A5	Desactivar regulador de velocidad, cerrar agujas y álabes móviles.
A6	Abrir interruptor de sincronización de generador.
A7	Cerrar válvula esférica.
A8	Activar bomba de levante de cojinete DE.
A9	Activar bomba de levante de cojinete NDE.
A10	Cerrar válvula ESD.
A11	Aplicar freno.
A12	Liberar freno.
A13	Activar bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A14	Activar bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
A15	Apagar sistemas auxiliares.
A16	Unidad completamente detenida y lista para arrancar.
A17	El operador cierra la válvula manual del sistema de enfriamiento.
A18	El operador da orden de iniciar secuencia de arranque.
A19	El operador activa en forma manual la bomba de levante de cojinete DE.
A20	El operador activa en forma manual la bomba de levante de cojinete NDE.
A21	El operador activa en forma manual la bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A22	El operador activa en forma manual la bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
TRANSICIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	El controlador de unidad memoriza realizar la secuencia de paro de emergencia.
B2	Potencia activa $\leq 2.80\%$ de la potencia nominal (0.33 MW).
B3	Potencia reactiva $\leq 0.70\%$ de la potencia nominal (0.01 MVar).
B4	Regulador de voltaje inactivo (sistema de excitación AVR).
B5	Regulador de velocidad inactivo, agujas con un valor $\leq 3\%$ de apertura.
B6	Interruptor de sincronización abierto.
B7	Bomba de levante de cojinete DE activa.
B8	Bomba de levante de cojinete NDE activa.
B9	Válvula esférica cerrada.
B10	Válvula ESD (Emergency shutdown) cerrada.
B11	Velocidad de la turbina $\leq 27\%$ de la velocidad nominal (107 r.p.m.).
B12	Freno aplicado.
B13	Velocidad de la turbina igual a 0 r.p.m., freno liberado.
B14	Bomba principal de aceite del gobernador (HPU) activa, nivel de aceite y presión en su rango nominal (47 – 54 bar).
B15	Bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU) activa, nivel de aceite y presión en su rango nominal (47 – 54 bar).
B16	Sistemas auxiliares inactivos.
B17	Finalizó secuencia de paro de emergencia del generador.
B18	Presión y caudal del sistema de enfriamiento 0 bar y 0 m ³ /hora, respectivamente.
B19	Presión en bomba de levante de cojinete DE en su rango nominal (60 – 160 bar).
B20	Presión en bomba de levante de cojinete NDE en su rango nominal (30 – 90 bar).
B21	Presión en bomba principal de aceite del gobernador en su rango nominal (47 – 54 bar).
B22	Presión en bomba de respaldo de aceite del gobernador en su rango nominal (47 – 54 bar).

Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

4.6.1. Aclaraciones del GRAFCET 6

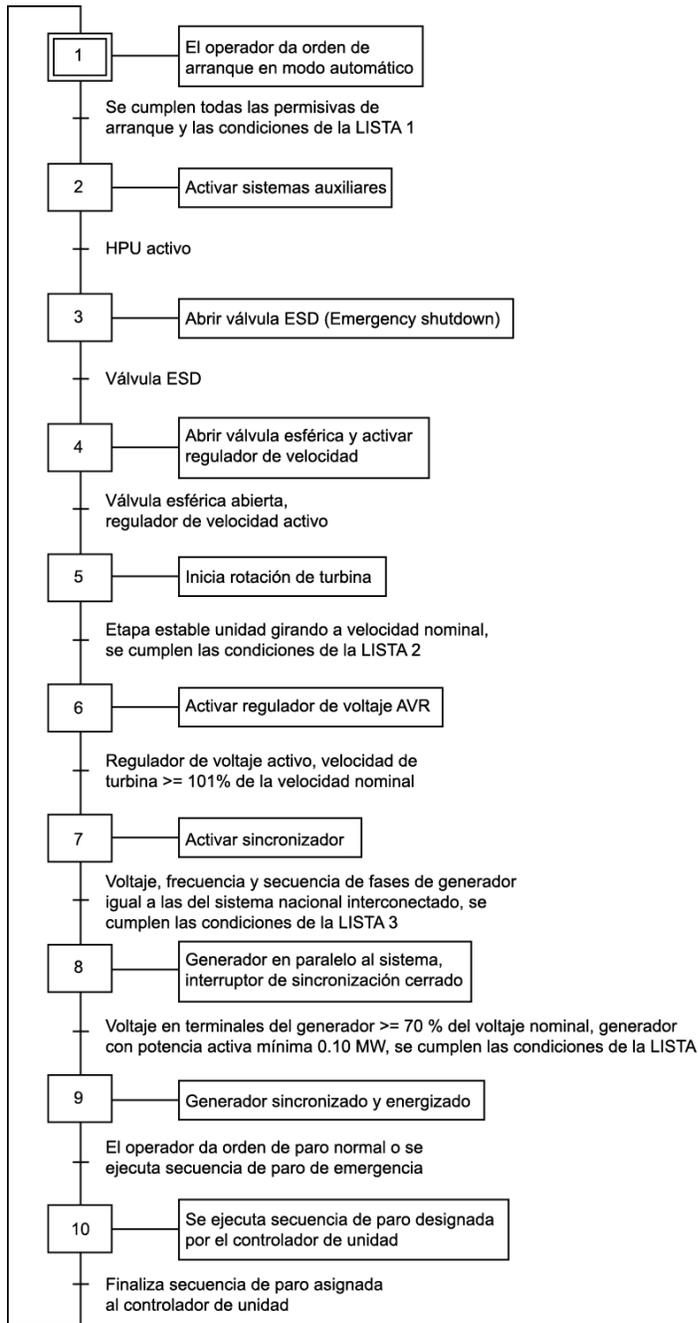
- Si en alguna de las etapas de la secuencia de paro de emergencia se quedara sin continuar a la siguiente etapa, será necesaria la intervención de ingenieros u operadores para dar solución al problema en forma manual y así dar continuidad a la secuencia.
- La etapa 1 del GRAFCET 6 debe ser activada voluntariamente en forma manual, únicamente cuando a criterio del ingeniero u operador se esté arriesgando la integridad de la máquina y los equipos.
- La etapa 2 del GRAFCET 6 se activa automáticamente, cuando el controlador de unidad detecta que existe algún riesgo durante la operación de la máquina (inciso 3.4.1, lista de condiciones de paro de emergencia).
- Las acciones A19 – A22 deben realizarse en caso de que las bombas no se activen en forma automática por una orden del controlador de unidad, en este caso el operador debe accionar de forma manual

4.7. GRAFCET 7 nivel 1 arranque de los generadores de San Isidro

A continuación se muestra el GRAFCET 7 nivel 1 arranque de los generadores de San Isidro.

Tabla XXI.

GRAF CET 7 nivel 1 arranque de los generadores de San Isidro



Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

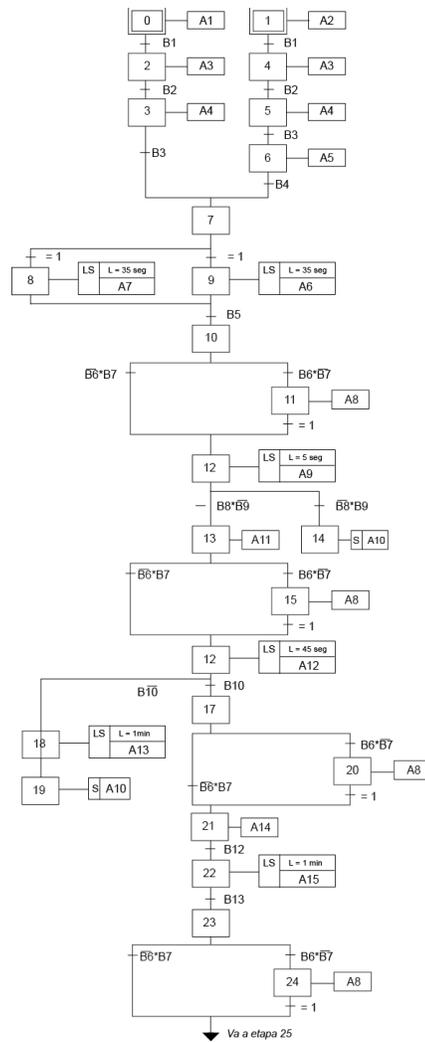
4.7.1. Aclaraciones del GRAFCET 7

- En la etapa 1, el operador selecciona el modo de arranque en automático, ya que si selecciona el modo paso a paso o modo manual el controlador de unidad no continuará a la siguiente etapa, para continuar el operador deberá dar la orden.
- En cualquier etapa el SCADA da la opción de seleccionar el modo paso a paso, si el operador selecciona esta opción deberá dar la orden de continuar a la siguiente etapa.
- La velocidad nominal de la turbina es de 900 rpm, para que ocurra la transición entre las etapas 5 y 6 la velocidad de la turbina debe ser \geq 98 % de la velocidad nominal (882 rpm.).
- La velocidad nominal de la turbina es de 900 rpm, para que ocurra la transición entre las etapas 6 y 7 la velocidad de la turbina debe ser \geq 101 % de la velocidad nominal (909 rpm.).
- El voltaje nominal del generador es de 4 160 voltios. Para que ocurra la transición entre las etapas 8 y 9 es necesario que el voltaje sea \geq 2 912 voltios y no exista ningún tipo de falla (monofásica, bifásica o trifásica) registrada por el sistema de protecciones.
- La secuencia de arranque finaliza en la etapa 9, las etapas siguientes muestran cómo se ejecuta alguna secuencia de paro y regresa a la etapa 1.

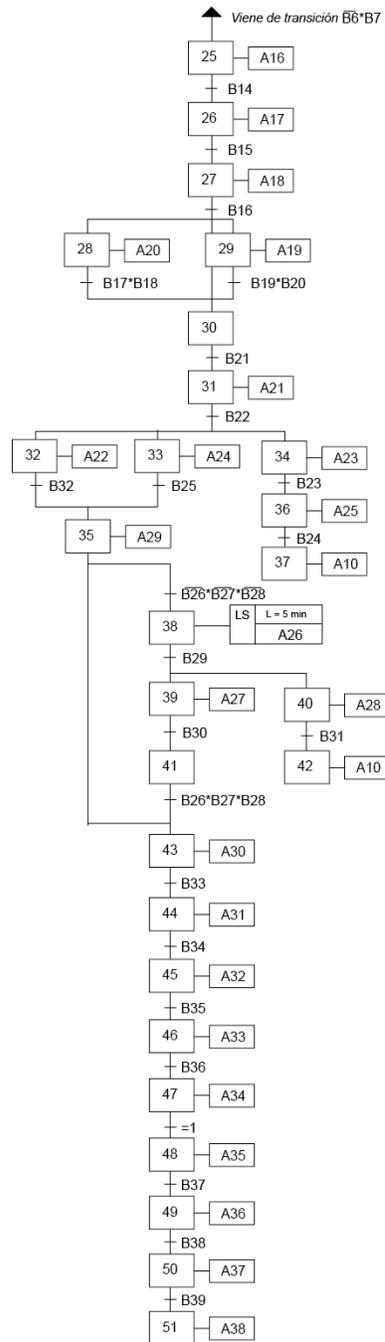
4.8. GRAFCET 8 nivel 2 arranque de los generadores de San Isidro

A continuación se muestra el GRAFCET 8 nivel 2 arranque de los generadores de San Isidro.

Tabla XXII. **GRAFCET 8 nivel 2 arranque de los generadores de San Isidro**



Continuación de la tabla XXII.



Continuación de la tabla XXII.

ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
A1	El operador da orden al controlador de unidad de arrancar el generador en modo automático.
A2	El operador da orden al controlador de unidad de arrancar el generador en modo paso a paso.
A3	El apaga el sistema de calentadores del devanado.
A4	El controlador de unidad verifica el cumplimiento de condiciones de la LISTA 1.
A5	El operador da orden al controlador de unidad de continuar a la siguiente etapa.
A6	Activar la bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A7	Activar la bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
A8	El operador da orden al controlador de unidad de continuar a la siguiente etapa.
A9	El controlador de unidad verifica la seguridad en el proceso de arranque de la máquina.
A10	El controlador de unidad da orden de enviar la máquina a la etapa 0 del arranque
A11	Válvula ESD (Emergency Shutdown) abierta.
A12	Abrir válvula esférica.
A13	Cerrar válvula esférica.
A14	El controlador de unidad verifica el estado del regulador de velocidad.
A15	Activar regulador de velocidad.
A16	Etapla estable, unidad en marcha girando a velocidad nominal.
A17	Activar regulador de voltaje (AVR).
A18	El controlador de unidad ajusta en automático manual el factor de potencia y la potencia reactiva del generador de acuerdo a los límites de la curva de potencia.
A19	Generador sobre-excitado (inductivo) entrega potencia reactiva al sistema nacional interconectado.
A20	Generador sub-excitado (capacitivo) absorbe potencia reactiva del sistema nacional interconectado.
A21	Activar sincronizador.
A22	El operador coloca el selector del panel de sincronización en posición automático.
A23	El operador coloca el selector del panel de sincronización en posición apagado.
A24	El operador coloca el selector del panel de sincronización en posición manual.
A25	El controlador de unidad da orden de ejecutar secuencia de paro de emergencia por sobre-velocidad.
A26	El controlador de unidad da orden de bloquear el sincronizador por exceder el límite de tiempo programado.
A27	El operador desbloquea el sincronizador.
A28	El controlador de unidad da orden de apagar el sincronizador.
A29	El controlador de unidad compara voltaje, frecuencia y secuencia de fases del generador y del sistema nacional interconectado.
A30	Cerrar interruptor de sincronización de generador.
A31	Etapla estable, generador sincronizado al sistema nacional interconectado.
A32	El controlador de unidad da orden de conectar en paralelo el generador al sistema nacional interconectado.
A33	Generador con voltaje y frecuencia nominal.
A34	Generado conectado en paralelo al sistema nacional interconectado.
A35	Etapla estable, generador con potencia activa mínima 0.10 MW.
A36	El operador ingresa el valor de potencia activa de acuerdo a las condiciones hidrológicas y los requerimientos del sistema nacional interconectado.
A37	Generador sincronizado y con voltaje en terminales.
A38	El controlador de unidad ejecuta alguna secuencia de paro.

Continuación de la tabla XXII.

TRANSICIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	El controlador de unidad verifica la comunicación hacia el PLC.
B2	El controlador de unidad verifica el cumplimiento de las permisivas de arranque del generador.
B3	Se cumplen las condiciones de la LISTA 1.
B4	El controlador de unidad continúa con la secuencia de arranque.
B5	Sistema de HPU (unidad de alta presión) activo. Bomba principal y de respaldo de aceite del gobernador activas.
B6	Secuencia de arranque paso a paso activa.
B7	Secuencia de arranque automático activa.
B8	Abrir válvula ESD (Emergency shutdown).
B9	Cerrar válvula ESD (Emergency shutdown).
B10	Válvula esférica abierta.
B11	Válvula esférica cerrada.
B12	Regulador de velocidad desbloqueado.
B13	Velocidad de la turbina > 98% de la velocidad nominal (> 882 r.p.m.)
B14	Velocidad de la turbina > 101% de la velocidad nominal (> 909 r.p.m.)
B15	Regulador de voltaje desbloqueado y listo.
B16	El controlador de unidad verifica ajustes de potencia reactiva y factor de potencia.
B17	El generador absorbe potencia reactiva del sistema nacional interconectado.
B18	Factor de potencia del generador en adelanto.
B19	El generador entrega potencia reactiva al sistema nacional interconectado.
B20	Factor de potencia del generador en atraso.
B21	El controlador de unidad ajustó la potencia reactiva y el factor de potencia.
B22	Sincronizador activo.
B23	Velocidad de la turbina \geq 115% de la velocidad nominal (\geq 460 r.p.m.)
B24	Secuencia de paro de emergencia activa.
B25	El operador ajustó el voltaje, la frecuencia y la secuencia de fases del generador igual a los parámetros del sistema nacional interconectado.
B26	El controlador de unidad verifica que el voltaje de generador sea igual al voltaje del sistema nacional interconectado.
B27	El controlador de unidad verifica que la frecuencia de generador sea igual a la frecuencia del sistema nacional interconectado.
B28	El controlador de unidad verifica que la secuencia de fases de generador sea igual a la secuencia de fases del sistema nacional interconectado.
B29	Sincronizador bloqueado.
B30	Sincronizador desbloqueado.
B31	Sincronizador apagado.
B32	El controlador de unidad ajustó el voltaje, la frecuencia y la secuencia de fases del generador igual a los parámetros del sistema nacional interconectado.
B33	Interruptor de sincronización del generador cerrado.
B34	Se cumplen las condiciones de la LISTA 3.
B35	Voltaje en terminales del generador \geq 70% del voltaje nominal (\geq 2.90 KV), no existe falla monofásica, bifásica o trifásica.
B36	B36 Se cumplen las condiciones de la LISTA 4.
B37	Potencia activa mínima = 0.10 MW
B38	Valor de potencia activa ingresado \geq 0.40 MW.
B39	Alguna secuencia de paro se encuentra activa.

Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

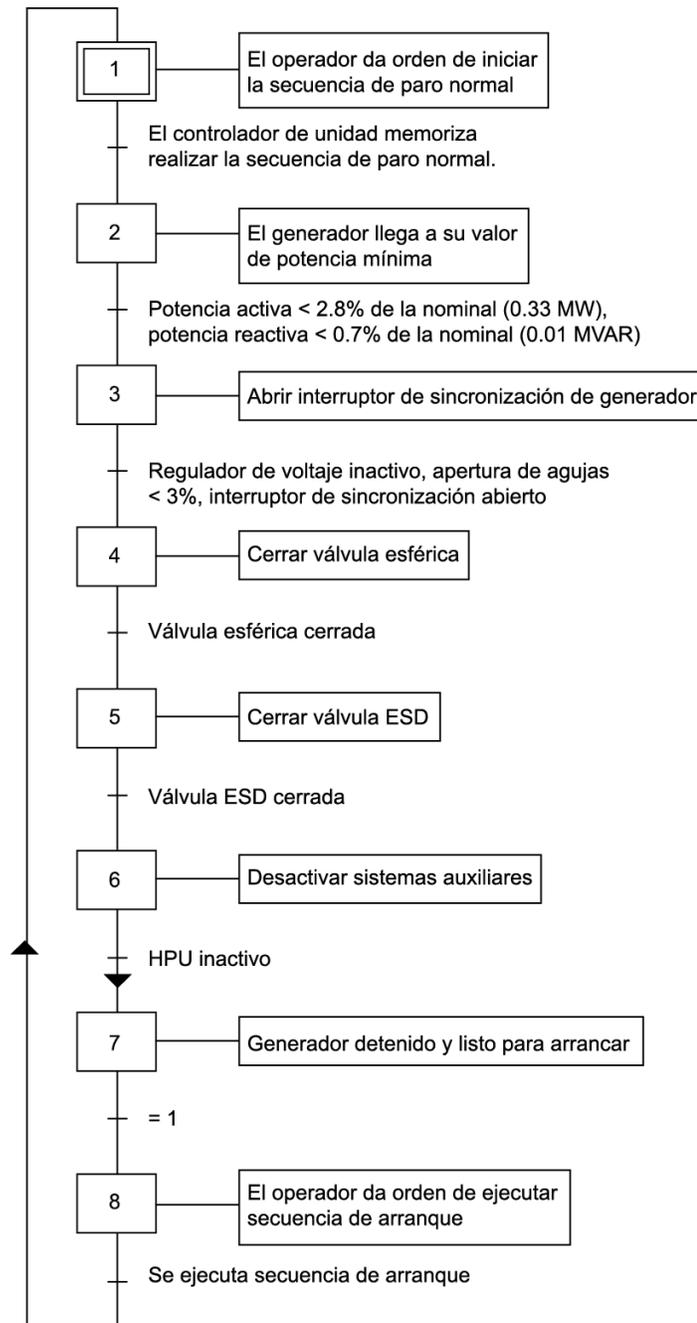
4.8.1. Aclaraciones del GRAFCET 8

- Las etapas memorizadas por el controlador de unidad en modo automático son inhabilitadas cuando se da orden de ejecutar alguna de las secuencias de paro.
- Las etapas de inicio del GRAFCET 8 son mutuamente excluyentes, al seleccionar la secuencia de arranque en modo automático iniciará por la etapa 0, no puede seleccionarse en modo manual desde la etapa 1 y viceversa.
- Si existe una falla en la secuencia de arranque, el controlador de unidad da orden de llevar la secuencia a la etapa 0. Se iniciará nuevamente la secuencia de arranque sí y solo si el operador da la orden.
- Cuando se da la orden de iniciar la secuencia de arranque en el modo paso a paso, las órdenes de continuar a la siguiente etapa se realizan desde el SCADA.
- Cuando se da la orden de iniciar la secuencia de arranque en el modo manual, las órdenes de continuar a la siguiente etapa se realizan desde el HMI ubicado en la unidad de control.

4.9. GRAFCET 9 nivel 1 paro normal de los generadores de San Isidro

A continuación se muestra el GRAFCET 9 nivel 1 paro normal de los generadores de San Isidro.

Tabla XXIII. **GRAF CET 9 nivel 1 paro normal de los generadores de San Isidro**



Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

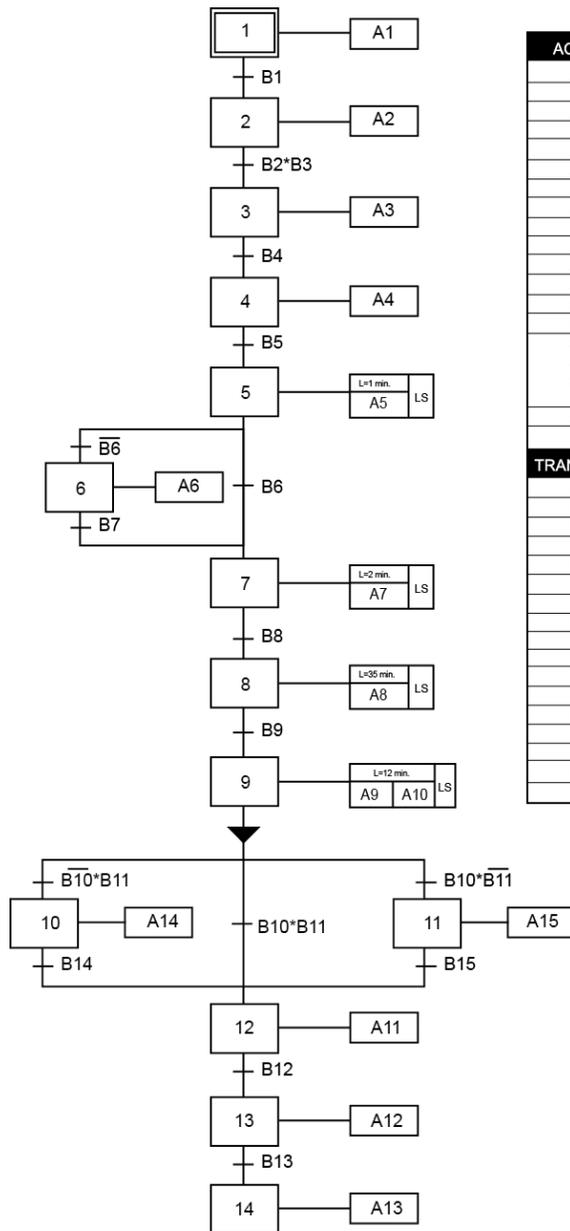
4.9.1. Aclaraciones del GRAFCET 9

- La secuencia de paro normal se realiza en forma automática, no se tiene opción para realizar en modo paso a paso.
- Si los selectores de la unidad de control se encuentran en automático la orden de paro normal se realiza desde el SCADA, en caso que se encuentren manual, la orden de paro normal se realiza desde el HMI ubicado en la unidad de control.
- La secuencia de paro normal finaliza en la etapa 7, en la siguiente, muestra como se ejecuta la secuencia de arranque luego que la máquina está detenida con el objetivo de cerrar el ciclo del proceso.

4.10. GRAFCET 10 nivel 2 paro normal de los generadores de San Isidro

A continuación se muestra GRAFCET 10 nivel 2 paro normal de los generadores de San Isidro.

Tabla XXIV. **GRAF CET 10 nivel 2** paro normal de los generadores de San Isidro



ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
A1	El operador da orden al controlador de unidad de iniciar secuencia de paro normal.
A2	El controlador de unidad da orden de llevar el generador a su valor de potencia mínima.
A3	Desactivar regulador de voltaje (sistema de excitación AVR).
A4	Desactivar regulador de velocidad, cerrar agujas y álabes móviles.
A5	Abrir interruptor de sincronización de generador.
A6	El controlador de unidad da orden de ejecutar secuencia de paro de emergencia.
A7	Cerrar válvula esférica.
A8	Cerrar válvula ESD.
A9	Activar bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A10	Activar bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
A11	Apagar sistemas auxiliares.
A12	Unidad completamente detenida y lista para arrancar.
A13	El operador da orden de iniciar secuencia de arranque.
A14	El operador activa en forma manual la bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A15	El operador activa en forma manual la bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
TRANSICIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	El controlador de unidad memoriza la secuencia de paro normal.
B2	Potencia activa <= 2.80% de la potencia nominal (0.33 MW).
B3	Potencia reactiva <= 0.70% de la potencia nominal (0.01 MVar).
B4	Regulador de voltaje inactivo (sistema de excitación AVR).
B5	Regulador de velocidad inactivo, agujas con un valor <= 3% de apertura.
B6	Interruptor de sincronización abierto.
B7	Secuencia de paro de emergencia activa.
B8	Válvula esférica cerrada.
B9	Válvula ESD (Emergency shutdown) cerrada.
B10	Bomba principal de aceite del gobernador (HPU) activa.
B11	Bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU) activa.
B12	Sistemas auxiliares inactivos.
B13	Finalizó secuencia de paro normal del generador.
B14	Presión en bomba principal de aceite del gobernador en su rango nominal (89 – 110 bar).
B15	Presión en bomba de respaldo de aceite del gobernador en su rango nominal (89 – 110 bar).

Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

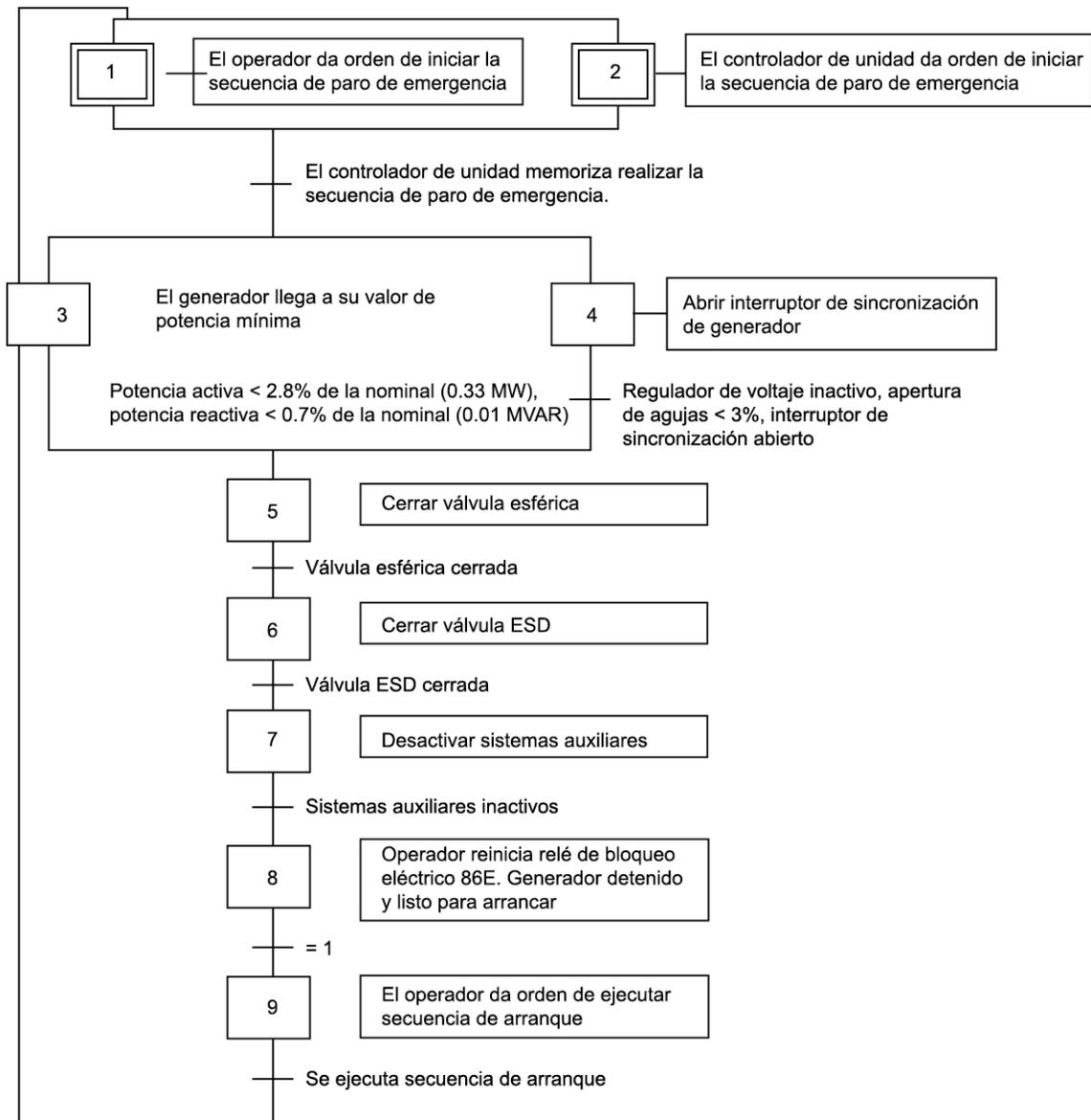
4.10.1. Aclaraciones del GRAFCET 10

- La ejecución de un paro de emergencia puede ser realizada en cualquier etapa del paro normal, en caso de detectar alguna falla en el proceso.
- Las etapas subsiguientes a la etapa 1 son realizadas en forma automática por el controlador de unidad, independientemente que los selectores de la unidad de control se encuentren en modo automático o manual.
- Si los selectores de la unidad de control se encuentran en modo automático, la orden de iniciar la secuencia de paro normal se realiza desde el SCADA, en caso que los selectores se encuentren en modo manual, la orden de iniciar la secuencia de paro normal se realiza desde el HMI ubicado en la unidad de control.

4.11. GRAFCET 11 nivel 1 paro de emergencia de los generadores de San Isidro

A continuación se muestra GRAFCET 11 nivel 1 paro de emergencia de los generadores de San Isidro.

Tabla XXV. **GRAF CET 11 nivel 1 paro de emergencia de los generadores de San Isidro**



Fuente: elaboración propia, con GRAFCET.

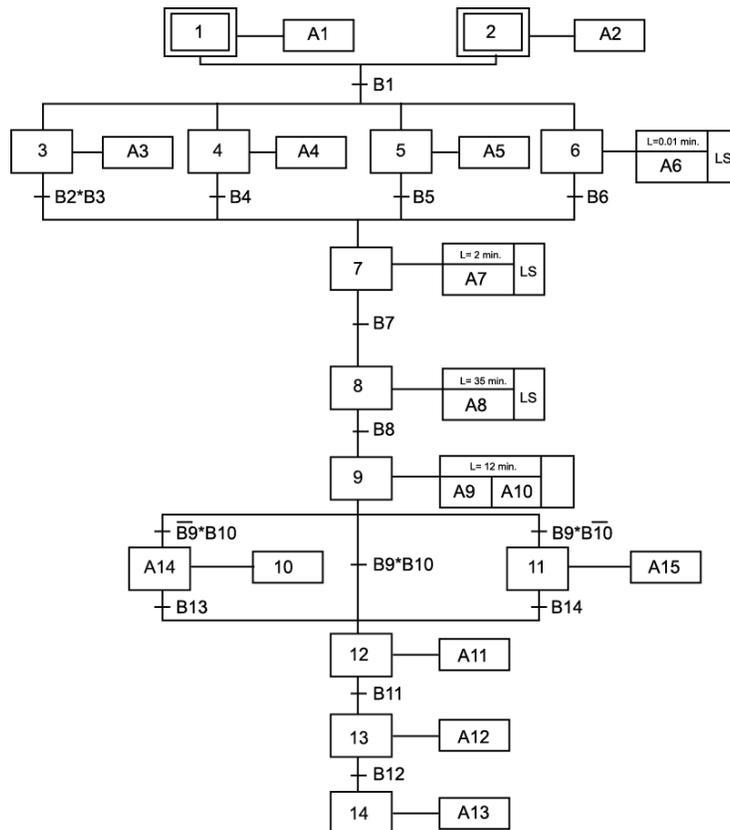
4.11.1. Aclaraciones del GRAFCET 11

- La etapa 1 es de realización manual, el operador debe activar a voluntad el paro de emergencia cuando se detecte alguna falla que amerite realizar dicha secuencia (inciso 3.4.1, lista de condiciones de paro de emergencia).
- Luego de activar la etapa 1 o que se haya activado automáticamente la etapa 2, procede una transición que siempre se cumple, ya que el objetivo del paro de emergencia es, precisamente, proteger el generador frente a eventualidades que puedan poner en riesgo el equipo.
- El paro de emergencia puede darse en cualquier etapa del arranque y, también se puede dar al ocurrir alguna falla en el paro normal.

4.12. GRAFCET 12 nivel 2 paro de emergencia de los generadores de San Isidro

A continuación se muestra GRAFCET 12 nivel 2 paro de emergencia de los generadores de San Isidro.

Tabla XXVI. **GRAFSET 12 nivel 2 paro de emergencia de los generadores de San Isidro**



ACCIÓN	DESCRIPCIÓN
A1	El operador da orden de iniciar secuencia de paro de emergencia presionando el botón. Cerrar válvula esférica.
A2	El controlador de unidad da orden de iniciar secuencia de paro de emergencia por alguna falla detectada.
A3	El controlador de unidad da orden de llevar el generador a su valor de potencia mínima.
A4	Desactivar regulador de voltaje (sistema de excitación AVR).
A5	Desactivar regulador de velocidad, cerrar agujas y álabes móviles.
A6	Abrir interruptor de sincronización de generador.
A7	Cerrar válvula esférica.
A8	Cerrar válvula ESD.
A9	Activar bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A10	Activar bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
A11	Apagar sistemas auxiliares.
A12	Unidad completamente detenida y lista para arrancar.
A13	El operador da orden de iniciar secuencia de arranque.
A14	El operador activa en forma manual la bomba principal de aceite del gobernador (HPU).
A15	El operador activa en forma manual la bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU).
TRANSICIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	El controlador de unidad memoriza realizar la secuencia de paro de emergencia.
B2	Potencia activa $\leq 2.80\%$ de la potencia nominal (0.33 MW).
B3	Potencia reactiva $\leq 0.70\%$ de la potencia nominal (0.01 MVar).
B4	Regulador de voltaje inactivo (sistema de excitación AVR).
B5	Regulador de velocidad inactivo, agujas con un valor $\leq 3\%$ de apertura.
B6	Interruptor de sincronización abierto.
B7	Válvula esférica cerrada.
B8	Válvula ESD (Emergency shutdown) cerrada.
B9	Bomba principal de aceite del gobernador (HPU) activa.
B10	Bomba de respaldo de aceite del gobernador (HPU) activa.
B11	Sistemas auxiliares inactivos.
B12	Finalizó secuencia de paro de emergencia del generador.
B13	Presión en bomba principal de aceite del gobernador en su rango nominal (89 – 110 bar).
B14	Presión en bomba de respaldo de aceite del gobernador en su rango nominal (89 – 110 bar).

4.12.1. Aclaraciones del GRAFCET 12

- Si en alguna de las etapas de la secuencia de paro de emergencia se quedará sin continuar a la siguiente, será necesaria la intervención de ingenieros u operadores para dar solución al problema en forma manual y así dar continuidad a la secuencia.
- La etapa 1 del GRAFCET 12 debe ser activada voluntariamente en forma manual, únicamente cuando a criterio del ingeniero u operador se esté arriesgando la integridad de la máquina y los equipos.
- La etapa 2 del GRAFCET 12 se activa automáticamente, cuando el controlador de unidad detecta que existe algún riesgo durante la operación de la máquina (inciso 3.4.1, lista de condiciones de paro de emergencia).
- Las acciones A14 – A15 deben realizarse en caso que las bombas no se activen en forma automática por una orden del controlador de unidad, en este caso, el operador debe accionar de forma manual.

4.13. Análisis de fallas utilizando GRAFCET

Se utilizarán los GRAFCET para analizar fallas en el arranque y en el paro de las máquinas. El objetivo es mejorar la confiabilidad operacional para impulsar el establecimiento de nuevas tecnologías que faciliten la optimización industrial de ambas plantas.

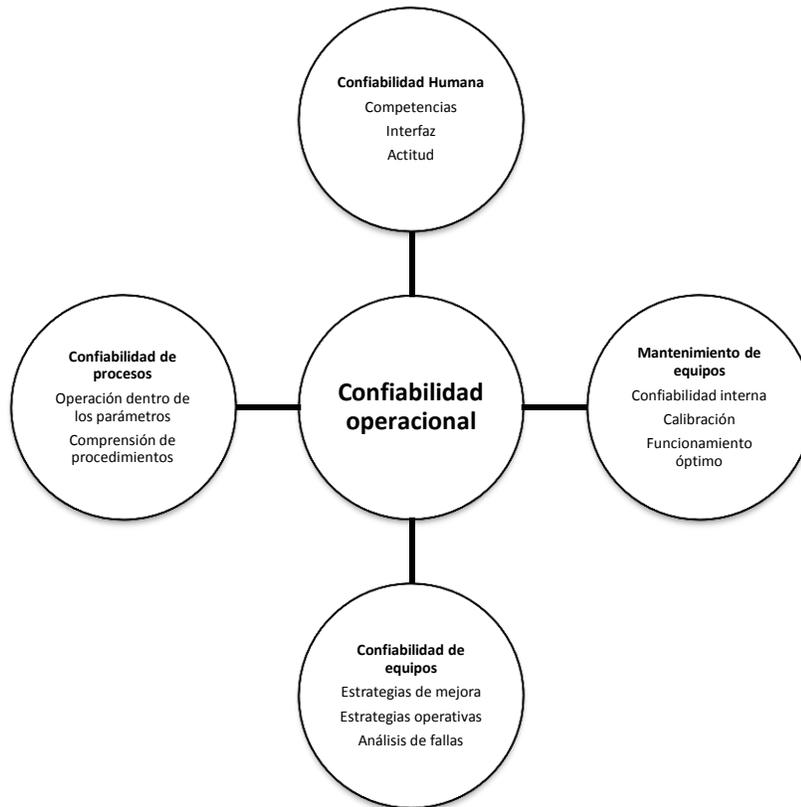
La interrupción en la secuencia de arranque, de paro normal y en algunas ocasiones, el paro de emergencia de los generadores, puede ocurrir por la presencia de bloqueos. De acuerdo a su origen, las fallas pueden ser:

- Eléctrica: el elemento de protección envía señal al relé 86E y al HMI.
- Mecánica: el elemento de protección envía señal al relé 86E, 86M y al HMI.
- Del automatismo: envía señal de paro rápido o paro de emergencia.
- Instrumentación: alarmas al HMI, envía señal al relé 86E.
- Hidráulica: dependiendo de la gravedad se activa el paro normal o paro de emergencia.
- Humana: falla del operador.
- Mantenimiento programado o no programado.

4.13.1. Análisis de confiabilidad en la operación

El fin del análisis de confiabilidad en la operación de los generadores es cambiar las actividades correctivas y reactivas no programadas, ya que tienen un alto costo. Las actividades preventivas planeadas dependen de objetivos, situación actual e historial de equipos y control de costos.

Figura 28. **Análisis de confiabilidad operacional**



Fuente: elaboración propia.

4.13.2. **Análisis de causa raíz**

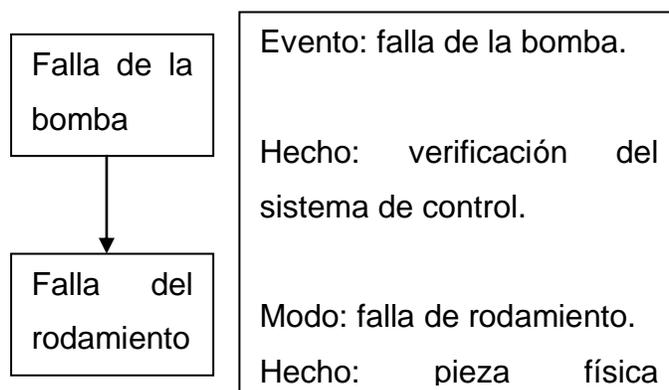
Con este método se mitiga la probabilidad de aplicar esfuerzos indisciplinados en la operación, como se da en varias ocasiones con el método prueba y error, buscando la causa más obvia para todas las situaciones. La experiencia ha demostrado que este método es caro e inefectivo.

El árbol lógico permite representar gráficamente las relaciones causa-efecto y descubrir la causa raíz, por ejemplo, se presenta el siguiente caso:

Luego de finalizar el mantenimiento mayor se pide autorización al AMM para arrancar la unidad. Se verifican las permisivas de arranque y al momento de iniciar la secuencia se produce un ruido del lado del cojinete NDE.

En seguida, el personal insiste en comenzar con una falla en la bomba que inyecta el fluido hidráulico al cojinete. El evento dura aproximadamente 40 minutos, para llegar a la solución. Implementando los diagramas funcionales el tiempo del evento se puede reducir a 5 minutos, mejorando la efectividad operacional. En la figura 29 se muestra el árbol lógico utilizado.

Figura 29. **Árbol lógico de falla**



Fuente: elaboración propia.

En ese preciso momento la lógica de la situación fue razonada únicamente como se muestra en la figura 29. La causa raíz del problema fue que el selector de mando de la bomba se encontraba en la posición apagado. Se necesitaron 40 minutos para llegar a la solución, por la falta de un procedimiento ante fallas.

4.13.3. Análisis de causa raíz con GRAFCET

Ahora implementamos el GRAFCET como un árbol lógico para encontrar la causa raíz.

Tabla XXVII. **Árbol lógico para encontrar causa raíz**

<ul style="list-style-type: none">• GRAFCET 2, etapa 7, transición $B6 \cdot \overline{B7}$. Se observa que la transición B6 se encuentra negada.• GRAFCET 2, etapa 10, acción A8. El autómatas solicita activación de la bomba de levante del cojinete NDE. Se dirige a la unidad de control y se observa que en el RACK1, SLOT12, SALIDA DIGITAL 2, que corresponde a la señal de arranque de la bomba de aceite del cojinete NDE de generador. Observamos que esta se encuentra inactiva.• La acción A8 del GRAFCET manda a activar la bomba de levante del cojinete NDE, sí y solo, si el selector se encuentra en posición encendida.• GRAFCET 2, TRANSICIÓN $B6 \cdot \overline{B7}$, ETAPA 18, ACCIÓN A10. Falla eléctrica, el elemento de protección envía señal al relé 86E y al HMI.

Fuente: elaboración propia.

Al analizar la verdadera causa raíz, se determina que el mecanismo de falla debe ser catalogado como falla humana. Durante el mantenimiento el área

de instrumentación y control realizó pruebas en las RTD del cojinete NDE, por seguridad colocó el selector en la posición de apagado.

El operador y el instrumentista no realizaron una inspección previa para verificar que todo se encontrara en óptimas condiciones para el arranque. A través del GRAFCET se puede reducir el tiempo para análisis de falla y los errores humanos por falta de procedimientos, utilizando este proceso, el evento se reduce a 5 minutos.

Con este ejemplo se demuestra que al emplear un proceso disciplinado se puede evitar realizar acciones innecesarias que perjudican la confiabilidad de operación. Para este caso no se tiene confiabilidad humana, ni de procesos.

Por medio del análisis causa raíz se busca que los eventos no se presenten nuevamente, explorando el ¿cómo ocurre? y ¿por qué ocurre? Para este caso pueden existir tres posibilidades del porqué.

- Falta de procedimientos
- Entrenamiento inadecuado
- Inadecuada identificación de los equipos

Por lo tanto, se pretende prevenir la recurrencia de este caso y se realizan las siguientes recomendaciones:

- Implementar los diagramas funcionales normalizados en el arranque de la máquina.
- Entrenar al personal para utilizar el método causa raíz a través del GRAFCET.

- Validar los procedimientos, garantizando que la identificación de equipos coincida con las etiquetas que tienen actualmente.

4.13.4. Riesgos en operación

Los riesgos, accidentes o problemas operativos, surgen como consecuencia de una desviación de las variables del proceso que realiza el autómata. La desviación de estas variables respecto a los parámetros normales de operación de los generadores, llevará a alguna de las secuencias de los GRAFCET.

4.13.5. Matriz de evaluación de riesgos

- Análisis de riesgos: identificación de factores de riesgo para la operación de los generadores. Definir la causa y el efecto, nos servirá como guía para la toma de decisiones o acciones a través del GRAFCET.
- Riesgo: evento probable cuya ocurrencia produce daños a las personas o equipos.
- Consecuencias: mide el nivel o grado de severidad que los daños pueden causar a las personas o equipos durante un evento ocurrido en operación.

Tabla XXVIII. **Nivel de consecuencia de falla en operación**

CONSECUENCIA	C	DESCRIPCIÓN
LEVE	1	Daño leve no detiene la operación
SERIA	2	Puede producir daños, detiene la operación
GRAVE	4	Catastrófico, es inoperable

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Clasificación de las consecuencias**

CONSECUENCIA	PÉRDIDAS EN QUETZALES
1	10 000 – 100 000
2	100 000 – 500 000
3	500 000 – 1 000 000
4	1 000 000 o mas

Fuente: elaboración propia.

- Exposición: corresponde a un valor que representa el número de veces que el operador se expone a un evento en un período determinado.

Tabla XXX. **Nivel de exposición del operador**

EXPOSICIÓN DEL OPERADOR	E
ANUAL - SEMESTRAL	1
TRIMESTRAL - MENSUAL	2
SEMANAL	3
DIARIA	4

Fuente: elaboración propia.

- Probabilidad: frecuencia de ocurrencia de un evento en operación, se representa con una escala de categorías que corresponden a la ocurrencia de este hecho.

Tabla XXXI. **Probabilidad de falla**

PROBABILIDAD	P
CASI IMPROBABLE	1
PUEDE OCURRIR	2
OCURRE REGULARMENTE	3
OCURRE LA MAYOR PARTE DE LAS VECES	4

Fuente: elaboración propia.

- Magnitud de riesgo: permite evaluar y jerarquizar los riesgos en forma cuantitativa, en función de su consecuencia, exposición y probabilidad.

Tabla XXXII. **Magnitud de riesgo en operación**

MAGNITUD DE RIESGO	MR
GRAVE	8 A 16
SERIO	4 A 7
LEVE	1 A 3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Magnitud de riesgo en operación**

		MATRIZ GRAVEDAD DE RIESGO			
P	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4
		1	2	3	4
		C			

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El lenguaje de especificación GRAFCET permite comprender, de forma sencilla, las secuencias realizadas por el PLC, añadiendo aspectos formales y de comportamiento en la operación de la central hidroeléctrica.
2. Los gráficos funcionales de control de etapas y transiciones deben ser utilizados por los ingenieros de diseño, ingenieros de mantenimiento y operarios, como un medio de comunicación estándar de los sistemas automatizados.
3. En los casos de estudio, la utilización de GRAFCET permite especificar el comportamiento del autómeta.
4. Los diagramas GRAFCET son útiles para encontrar redundancias en los automatismos que no cuentan con información suficiente, para dar solución a eventualidades en forma rápida y eficaz.
5. Por medio de los GRAFCET se pueden detectar fallas en los distintos modos de accionamiento de las máquinas durante su operación.
6. La descripción de los procesos de arranque y de paro de los generadores a través del GRAFCET, ofrece una herramienta de apoyo para la toma de decisiones y análisis de los procesos de la central hidroeléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el presente trabajo de graduación para el entrenamiento de operarios, con el objetivo de ofrecer una percepción global sobre el control de las máquinas, y así adquirir una comprensión de las posibles fallas que puedan presentarse en los procesos de arranque, paro normal y paro de emergencia de los generadores.
2. Evaluar la implementación de un lenguaje de especificación estandarizado del autómata, con nuevos conceptos que permitan obtener una descripción estructurada y jerárquica de todos los procesos operativos realizados por los equipos de la central hidroeléctrica.
3. Evaluar la factibilidad técnico/económica de simulación y puesta en funcionamiento de los GRAFCET de arranque y de paro de los generadores, ante una planificación a futuro de modernización de los automatismos.
4. Reducir la posibilidad de fallas por factores humanos y mejorar los niveles de seguridad de la central hidroeléctrica, implementando gráficos funcionales de control de etapas y transiciones en los procesos del autómata.
5. Actualizar y mejorar el presente trabajo de graduación con base en los diversos procesos de modernización que sufra la central hidroeléctrica durante su existencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Enel Green Power - Planta Hidroeléctrica Matanzas y San Isidro. (12 de 03 de 2013). *Procedimientos operativos. Paro normal y de emergencia en modo manual-local de las unidades generadoras 1 y 2 San Isidro*. San Gerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. [en línea] <http://www.enelgreenpower.com/es-ES/mxca/power_plants/plants/guatemala/matanzas_sanisidro/> [Consulta: marzo de 2013].
2. _____. *Procedimientos operativos. Arranque y sincronización en modo manual-local de unidad generadora Matanzas*. San Gerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. [en línea] <http://www.enelgreenpower.com/es-ES/mxca/power_plants/plants/guatemala/matanzas_sanisidro/> [Consulta: marzo de 2013].
3. _____. *Procedimientos operativos. Arranque y sincronización en modo autoremoto de unidad generadora Matanzas*. San Gerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. [en línea] <http://www.enelgreenpower.com/es-ES/mxca/power_plants/plants/guatemala/matanzas_sanisidro/> [Consulta: marzo de 2013].

4. _____. *Procedimientos operativos. Paro normal y de emergencia en modo manual-local de unidad generadora Matanzas.* San Gerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. [en línea] <http://www.enelgreenpower.com/es-ES/mxca/power_plants/plants/guatemala/matanzas_sanisidro/> [Consulta: marzo de 2013].
5. _____. *Procedimientos operativos. Arranque y sincronización en modo manual-local de las unidades generadoras 1 y 2 San Isidro.* San Gerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. [en línea] <http://www.enelgreenpower.com/es-ES/mxca/power_plants/plants/guatemala/matanzas_sanisidro/> [Consulta: marzo de 2013].
6. _____. *Procedimientos operativos. Arranque y sincronización en modo auto-remoto de las unidades generadoras 1 y 2 San Isidro.* San Gerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. [en línea] <http://www.enelgreenpower.com/es-ES/mxca/power_plants/plants/guatemala/matanzas_sanisidro/> [Consulta: marzo de 2013].
7. Enel Green Power. *Historia de Enel y Políticas.* Plantas Hidroeléctricas Matanzas San Isidro. San Gerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. [en línea] <http://www.enelgreenpower.com/es-ES/mxca/power_plants/plants/guatemala/matanzas_sanisidro/> [Consulta: marzo de 2013].

8. GRAFCET. [en línea]. <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/grafcet_transparencias.pdf> [Consulta: octubre de 2014].
9. IEC 60868 GRAFCET. [en línea]. <<http://infostore.saiglobal.com/store/details.aspx?ProductID=626447>> [Consulta: septiembre de 2014].
10. Ingeniero Borda y Asociados. Introducción al GRAFCET. [en línea]. <www.ingeborda.com.ar/biblioteca/BibliotecaInternet/ArticulosTecnicosdeConsulta/RedesdeDatos/Protocolos/GRAFCET/introducciónalGRAFCET> [Consulta: enero de 2014].
11. International Electrotechnical Commission. [en línea]. <http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60848%7Bed3.0%7BDb.pdf> [Consulta: enero de 2014].
12. NUÑEZ SARAVIA, Oscar Manuel. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. [en línea]. <<http://www.fao.org/forestry/19365-010848adf6d209e8bc37ba922374fc824.pdf>> [Consulta: enero de 2014].
13. SFCEDIT. Dibujar GRAFCET - InfoPLC. GRAFCET - InfoPLC: [en línea]. <<http://stephane.dimeglio.free.fr/sfcedit/en/index.html>> [Consulta: enero de 2014].
14. Universidad Politécnica de Madrid. Diagramas GRAFCET. de Diagramas GRAFCET. [en línea]. <http://www.elai.upm.es/moodle/pluginfile.php/1171/mod_resource/content/0/GrafcetAmpliacion.pdf> [Consulta: enero de 2014].

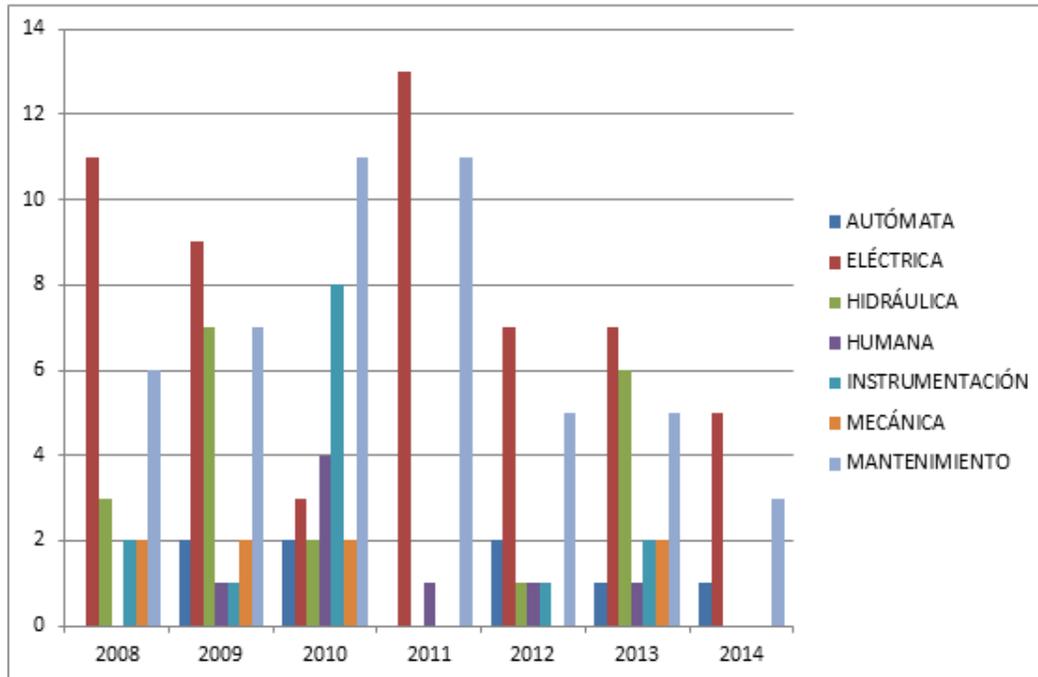
APÉNDICES

Apéndice 1. Tasa de fallas del generador Matanzas

	MATRIZ DE TASA DE FALLAS POR MODO DE FALLA										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	HITÓRICO POR MODO DE FALLA			
AUTÓMATA	0	2	2	0	2	1	1				8
ELECTRICA	11	9	3	13	7	7	5				55
HIDRÁULICA	3	7	2	0	1	6	0				19
HUMANA	0	1	4	1	1	1	0				8
INSTRUMENTACIÓN	2	1	8	0	1	2	0				14
MECÁNICA	2	2	2	0	0	2	0				8
MANTENIMIENTO	6	7	11	11	5	5	3				48
HITÓRICO POR AÑO	24	29	32	25	17	24	9				160

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Tasa de fallas del generador Matanzas



Fuente: elaboración propia.

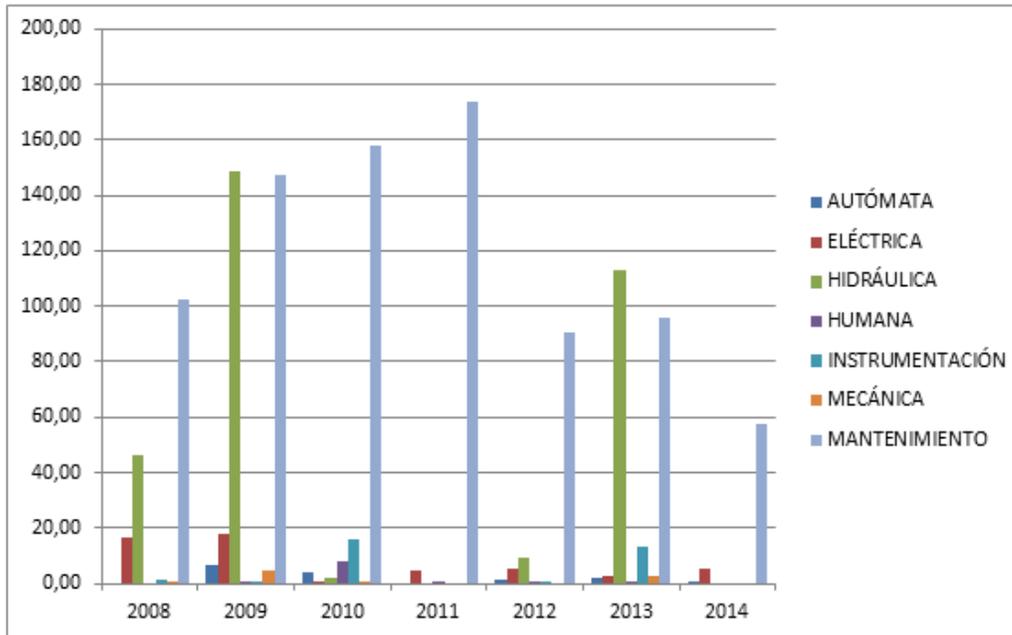
Apéndice 3. Duración de fallas del generador Matanzas

MATRIZ DE DURACIÓN DE FALLAS EN MINUTOS POR MODO DE FALLA

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	HISTÓRICO POR MODO DE FALLA
AUTÓMATA	0.00	6.55	3.80	0.00	1.52	1.75	0.72	14.33
ELÉCTRICA	16.52	17.78	0.47	4.68	5.02	3.00	5.20	52.67
HIDRÁULICA	46.38	148.80	1.73	0.00	8.97	113.17	0.00	319.05
HUMANA	0.00	0.10	7.73	0.13	0.17	0.35	0.00	8.48
INSTRUMENTACIÓN	1.15	0.45	16.05	0.00	0.37	12.97	0.00	30.98
MECÁNICA	0.47	4.42	0.33	0.00	0.00	2.70	0.00	7.92
MANTENIMIENTO	102.73	147.48	157.73	173.87	90.43	95.95	57.38	825.58
HISTÓRICO POR AÑO	167.25	325.58	187.85	178.68	106.47	229.88	63.30	1259.02

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Duración de fallas del generador Matanzas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Duración promedio de fallas operativas**

	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS	TIEMPO PROMEDIO OPERATIVO	TIEMPO PROMEDIO FUERA DE SERVICIO	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	TIEMPO PROMEDIO FUERA DE CONTROL
AUTÓMATA	1.14	8640.00	48.03	48	0.03
ELÉCTRICA	7.86	8640.00	72.13	72	0.13
HIDRÁULICA	2.71	8639.99	120.76	120	0.76
HUMANA	1.14	8640.00	6.02	6	0.02
INSTRUMENTACIÓN	2.00	8640.00	12.07	12	0.07
MECÁNICA	1.14	8640.00	72.02	72	0.02
MANTENIMIENTO	6.86	8639.97	121.97	120	1.97
	0.14	378.00	2.83	2.81	0.02

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Análisis de fallas operativas P.H. Matanzas y San Isidro usando GRAFCET**

Nomenclatura:

- **G#**: especifica el número de GRAFCET, utilizado en el análisis de fallas.
- **E#**: especifica el número de etapa en el GRAFCET, utilizado en el análisis de fallas.
- **E# - E#**: especifica el rango de etapas en el GRAFCET, utilizado en el análisis de fallas.
- **A#**: especifica el número de acción en el GRAFCET, utilizado en el análisis de fallas.
- **A# - A#**: especifica el rango de acciones en el GRAFCET, utilizado en el análisis de fallas.

- **B#:** especifica el número de transición en el GRAFCET, utilizado en el análisis de fallas.
- **B# - B#:** especifica el rango de transiciones en el GRAFCET, utilizado en el análisis de fallas.
- **PERMISIVAS:** especifica que esta ruta del GRAFCET se incluye en las permisivas de arranque.

PRESA MATANZAS Y SAN ISIDRO												
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R	
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	COMPUE RTA DE ADMISIÓN	FINAL DE CARRERA SEÑAL DE ABIERTA	CILINDRO COMPUERTA 3	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2	
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4	
		FINAL DE CARRERA SEÑAL ACTIVAR HPU	CILINDRO COMPUERTA 3	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2	
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4	
		FINAL DE CARRERA SEÑAL DE CERRADA	CILINDRO COMPUERTA 3	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2	
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4	
				MECÁNICA	FUGA DE ACEITE	TORNILLOS, VÁLVULAS O EMPAQUES EN MAL ESTADO	FUNCIONAMIENTO ANORMAL DEL GOVERNADOR	2	2	1	4	
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	HPU	SELECTOR BOMBA 1/BOMBA 2	PANEL AC SERVICIOS AUXILIARES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO ACTIVA LA BOMBA	1	3	1	3	
		MEDIDOR DE TEMPERATURA DE ACEITE	RTD EN HPU	MECÁNICA	ALTA TEMPERATURA	ACEITE EN MAL ESTADO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	1	2
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	3	2	6	
		MEDIDOR DE PRESIÓN DE ACEITE	SENSOR EN HPU	MECÁNICA	ALTA PRESIÓN	ALTA PRESIÓN DEL FLUIDO EN ACUMULADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	1	6	
				MECÁNICA	BAJA PRESIÓN	BAJA PRESIÓN DEL FLUIDO EN ACUMULADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE	2	3	1	6	

PRESA MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
							GENERADOR				
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	3	2	6
		MEDIDOR DE NIVEL DE ACEITE	SENSOR EN HPU	MECÁNICA	ALTO NIVEL	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	1	6
				MECÁNICA	BAJO NIVEL	BAJO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	1	6
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	3	2	6
		BOMBA PRINCIPAL	HPU	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
							MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTÓN. FUGAS POR DESGASTE	2	2	2
		SELECTOR ENCENDIDA/APAGADA	PANEL AC SERVICIOS AUXILIARES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO ACTIVA LA BOMBA	1	3	1	3
		BOMBA DE RESPALDO	HPU	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE, AFECTA EL RENDIMIENTO DE LA BOMBA	2	2	2	8
								MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTÓN. FUGAS POR DESGASTE	2	2
		SELECTOR ENCENDIDA/APAGADA	PANEL AC SERVICIOS AUXILIARES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO ACTIVA LA BOMBA	1	3	1	3
		ACUMULADOR/TANQUE DE	HPU	MECÁNICA	FALLA ES DISPOSITIVO DE ELEVACIÓN DE	SOBRE PRESIÓN	FALLA DE OTROS COMPONENTES	2	1	1	2

PRESA MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
		ACEITE			PRESIÓN						
		FILTROS DE ACEITE	HPU	MECÁNICA	OBSTRUCCIÓN EN FILTROS	INGRESO DE PÁRTICULAS DURANTE LA SUCCIÓN	BAJA PRESIÓN DEL FLUIDO HIDRÁULICO	2	1	2	4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	RTU COMUNICACIONES	SELECTOR LOCAL/REMOTO	RTU	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO REMOTO	1	2	1	2
		LIMPIAR JAS ENCENDIDO/PAGADO	RTU	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	DAÑO EN FIBRA ÓPTICA	MAL FUNCIONAMIENTO	1	2	2	4
		COMPUTAR ABIERTA/CERRADA	RTU	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	DAÑO EN FIBRA ÓPTICA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
		ABRIR/CERRAR/PARRAR COMPUTAR 1 PRINCIPAL	RTU	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	DAÑO EN FIBRA ÓPTICA	MAL FUNCIONAMIENTO	1	2	2	4
		ABRIR/CERRAR/PARRAR COMPUTAR 2 BYPASS	RTU	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	DAÑO EN FIBRA ÓPTICA	MAL FUNCIONAMIENTO	1	2	2	4
		ABRIR/CERRAR/PARRAR COMPUTAR 3 ADMISIÓN	RTU	AUTÓMATA	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	DAÑO EN FIBRA ÓPTICA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
		SEÑAL DE WACHDOG IN HEALTHY STATE	RTU	AUTÓMATA	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	DAÑO EN FIBRA ÓPTICA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
		LIMPIA									

PRESA MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3	REJAS	SELECTOR PARA MEDIDOR ANALÓGICO DE VOLTAJE	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MEDIDOR	BOBINA QUEMADA	FALTA DE MEDICIÓN	1	2	1	2
		SELECTOR AUTOMANUAL	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	2	1	2
		HABILITAR MANDO	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	NO ENVÍA SEÑAL	NO HABILITA EL MANDO	1	2	1	2
		INDICADORES DE LIMPIEZA EN CURSO	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	NO ENVÍA SEÑAL	NO SE TIENE INDICACIÓN	1	2	1	2
		INDICADORES DE LIMPIA REJAS HABILITADO	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	NO ENVÍA SEÑAL	NO SE TIENE INDICACIÓN	1	2	1	2
		INDICADORES DE LIMPIA REJAS 1 SUBIENDO/BAJANDO	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	NO ENVÍA SEÑAL	NO SE TIENE INDICACIÓN	1	2	1	2
		INDICADORES DE LIMPIA REJAS 2 SUBIENDO/BAJANDO	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	NO ENVÍA SEÑAL	NO SE TIENE INDICACIÓN	1	2	1	2
		INDICADOR DE FALLA	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	NO ENVÍA SEÑAL	NO SE TIENE INDICACIÓN	1	2	1	2
		PARO DE EMERGENCIA	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	NO ENVÍA SEÑAL	NO FUNCIONA EL PARO DE EMERGENCIA	1	2	1	2
		SELECTOR ADELANTE/REVERSA DE LIMPIAR REJAS	CONTROL LR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO SUBIR/BAJAR	1	2	1	2
COMPUE											

PRESA MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3	RTA BYPASS	FINAL DE CARRERA SEÑAL DE ABIERTA	CILINDRO COMPUERT A 2	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4
		FINAL DE CARRERA SEÑAL ACTIVAR HPU	CILINDRO COMPUERT A 2	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4
		FINAL DE CARRERA SEÑAL DE CERRADA	CILINDRO COMPUERT A 2	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3	COMPUE RTA PRINCIPAL	FINAL DE CARRERA SEÑAL DE ABIERTA	CILINDRO COMPUERT A 1	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELECTRICA	CORROSIÓN, OXCIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4
		FINAL DE CARRERA SEÑAL ACTIVAR HPU	CILINDRO COMPUERT A 1	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELECTRICA	CORROSIÓN, OXCIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4
		FINAL DE CARRERA SEÑAL DE CERRADA	CILINDRO COMPUERT A 1	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	NO DETECTA PRESENCIA O POSICIÓN	1	2	1	2
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELECTRICA	CORROSIÓN, OXCIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO ENVÍA SEÑAL ELÉCTRICA DE PRESENCIA	1	2	2	4
	GENERA										

PRESA MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
	DOR AUXILIAR	INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA ABRE/CIERRA	PANEL AC SERVICIOS AUXILIARES	ELÉCTRICA	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO REALIZA TRANSFERENCIA	2	2	2	8
				MECÁNICA	FALLA MECÁNICA	FALLA DE GENERADOR AUXILIAR	FALTA DE ALIMENTACIÓN DE RESPALDO	2	2	2	8
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	CONTROL DE NIVEL	SENSOR DE NIVEL	CÁMARA DE ADMISIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	CONTROL DE FLUJO	SENSOR DE FLUJO	CÁMARA DE ADMISIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
PERMISIVAS	UPS	UPS	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN BATERÍAS	FALTA DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE EQUIPOS	EQUIPOS DESPROTEGIDOS ANTE UN CORTE DE ENERGÍA	2	3	3	18
	ALARMA CONTRA INCENDIOS	SENSORES	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DE SENSORES	SUCIEDAD, MALA UBICACIÓN, ROEDORES	EQUIPOS DESPROTEGIDOS ANTE UN INCENDIO	2	3	3	18
	BOMBA DE AGUA	BOTON ARRANQUE/PARO DE BOMBA	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	NO ENVÍA SEÑAL	NO HABILITA EL MANDO	1	1	2	2
		BOMBA	INSTALACIONES	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	1	1	2	2
						MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTON. FUGAS POR DESGASTE	1	1	2	2

PRESA MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
	FLASHBO ARD	TABLAS	INSTALACIONES	HIDRÁULICA	DISMINUCIÓN DEL NIVEL DE PRESA	GOLPE DE RAMAS O CRECIDA DE RIO	DISMINUCIÓN DE CABEZA DE PRESA	1	4	3	1 2

Fuente: elaboración propia.

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, E54 - E62, A27 - A34, B23 - B31 G4, G6, E3, A3, B4 G8, E25 - E29, A17 - A20, B15 - B21 G10, G12, E3, A3, B4	AVR	SELECTOR DE FACTOR DE POTENCIA	AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
			AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALSO CONTACTO EN TERMINAL	NO ENVÍA SEÑAL AL PLC	1	4	1	4
		SELECTOR POTENCIA REACTIVA	AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
			AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALSO CONTACTO EN TERMINAL	NO ENVÍA SEÑAL AL PLC	1	4	1	4
		SELECTOR MANUAL/AUTOMÁTICO	AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
			AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALSO CONTACTO EN TERMINAL	NO ENVÍA SEÑAL AL PLC	1	4	1	4
		SELECTOR LOCAL/REMOTO	AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
			AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALSO CONTACTO EN TERMINAL	NO ENVÍA SEÑAL AL PLC	1	4	1	4
		BOTON REINICIO DE FALLAS	AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	NO ENVÍA SEÑAL	NO FUNCIONA EL REINICIO DE FALLAS EN AVR	1	4	1	4
		MEDIDOR ANALÓGICO DE VOLTAJE	AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MEDIDOR	BOBINA QUEMADA	FALTA DE MEDICIÓN DE VOLTAJE DE EXCITACIÓN DE GENERADOR	2	4	1	8
		MEDIDOR ANALÓGICO DE CORRIENTE	AVR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MEDIDOR	BOBINA QUEMADA	FALTA DE MEDICIÓN DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN DE GENERADOR	2	4	1	8
		DIODOS GIRATORIOS	EXCITATRIZ DE GENERADOR	ELÉCTRICA	FALLA MÁXIMA DE EXCITACIÓN	FALLA DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN O ALÚN MÓDULO ELECTRÓNICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	2	4
				ELÉCTRICA	DIODOS QUEMADOS	FALLA DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN O ALGÚN MÓDULO ELECTRÓNICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	2	4
				ELÉCTRICA	SOBRECALENTAMIENTO EN DISIPADOR DE CALOR	ALTA TEMPERATURA EN MÓDULOS ELECTRÓNICOS	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	2	4
G2, E8 - E23 A6, A7, B5 G4, G6, E11	HPU	SENSOR DE TEMPERA	RTD EN HPU	MECÁNICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENT	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
- E14 A13 - A22, B15 - B23 G8, E8, E9, A6, A7, B5 G10, G12, E9 - E12, A9 - A15, B10 - B15		TURA DE ACEITE				O					
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	SENSOR EN HPU	MECÁNICA	ALTA PRESIÓN	ALTA PRESIÓN DEL FLUIDO EN ACUMULADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				MECÁNICA	BAJA PRESIÓN	BAJA PRESIÓN DEL FLUIDO EN ACUMULADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE NIVEL DE ACEITE	SENSOR EN HPU	MECÁNICA	ALTO NIVEL	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				MECÁNICA	BAJO NIVEL	BAJO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				MECÁNICA	FUGA DE ACEITE	TORNILLOS, VÁLVULAS O EMPAQUES DESGASTADOS	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		BOMBA PRINCIPAL	HPU	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
						MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTON. FUGAS POR DESGASTE	2	2	2	8
		BOMBA DE RESPALDO	HPU	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
						MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTON. FUGAS POR DESGASTE	2	2	2	8
		ACUMULADOR/TANQUE DE ACEITE	HPU	MECÁNICA	FALLA ES DISPOSITIVO DE ELEVACIÓN DE PRESIÓN	SOBRE PRESIÓN	FALLA DE OTROS COMPONENTES	2	1	2	4
		FILTROS DE ACEITE	HPU	MECÁNICA	OBSTRUCCIÓN EN FILTROS	INGRESO DE PÁRTICULAS DURANTE LA SUCCIÓN	BAJA PRESIÓN DEL FLUIDO HIDRÁULICO	2	4	3	24

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
		SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AGUA	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	MECÁNICA	OBSTRUCCION DE TUBERÍAS	BAJO CAUDAL DE AGUA EN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE COJINETES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
		FILTRO DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AGUA	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	MECÁNICA	OBSTRUCCIÓN EN FILTROS	BAJO CAUDAL DE AGUA EN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE COJINETES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	4	3 2
		VÁLVULA PROPORCIONAL AGUJA 1 A 3	SISTEMA DE INYECTORES	MECÁNICA	FALLA DE VÁLVULA	FALLA DE SELENOIDES	MALA COMPENSACIÓN DE PRESIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CAUDAL	2	2	3	1 2
G2, E3, A4, B3 G4, E4, A4, B5 G6, E5, A5, B5 G8, E3, A4, B3 G10, E4, A4, B5 G12, E5, A5, B5	INYECTORES	SERVOMOTORES AGUJA 1 A 3	SISTEMA DE INYECTORES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL SERVOMOTOR	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
		SENSOR DE POSICIÓN DE AGUJAS 1 A 3	SISTEMA DE INYECTORES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	3	1 2
				MECÁNICA	FUGA EN INYECTOR	TORNILLOS O EMPAQUES DESGASTADOS	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	3	1 2
		VALVULA ESD	SISTEMA DE INYECTORES	MECÁNICA	FALLA DE VÁLVULA	FUNCIONAMIENTO ANORMAL DE INYECTORES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3	DISTRIBUIDOR	SENSOR DE PRESIÓN	TUBERÍA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	1	2
G2, E34, E35, A15, A16, B13, B14 G4, G6, E7, A7, B10 G8, E16, E17, A12, A13, B10, B11 G10, G12, E7, A7, B8	VÁLVULA PRINCIPAL	FINAL DE CARRERA POSICIÓN ABIERTA	VÁLVULA ESFÉRICA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR DESGASTE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	1	2
		FINAL DE CARRERA POSICIÓN	VÁLVULA ESFÉRICA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELECTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
		FINAL DE CARRERA POSICIÓN	VÁLVULA ESFÉRICA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	ACTUADOR QUEBRADO POR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	1	2

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
		CERRADA				DESGASTE					
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELECTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
		VALVULA ESD	VÁLVULA ESFÉRICA	MECÁNICA	FALLA DE VÁLVULA	FUNCIONAMIENTO ANORMAL DE VÁLVULA ESFÉRICA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	VÁLVULA BYPASS	SENSOR DE POSICIÓN ABIERTA/ CERRADA	TUBERÍA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
G2, E3, A4, B3 G4, E4, A4, B5 G6, E5, A5, B5 G8, E3, A4, B3 G10, E4, A4, B5 G12, E5, A5, B5	DEFLECTORES	SENSOR DE POSICIÓN ABIERTA	SISTEMA DE DEFLECTORES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
		SENSOR DE POSICIÓN CERRADO	SISTEMA DE DEFLECTORES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	1	2	2	4
		SERVOMOTOR	SISTEMA DE DEFLECTORES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL SERVOMOTOR	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
		VÁLVULA ESD	SISTEMA DE DEFLECTORES	MECÁNICA	FALLA DE VÁLVULA	FUNCIONAMIENTO ANORMAL DEL SISTEMA DE DEFLECTORES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
				MECÁNICA	FUGA DE ACEITE	TORNILLOS, VÁLVULAS O EMPAQUES DESGASTADOS	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	INTERRUPTOR DE INTERCONEXIÓN 13,8 KV	SEÑAL ABRIR/ CERRAR	INSTALACIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO, DE AMORTIGUADORES, BOBINA DE DISPARO, ALIMENTACIÓN AUXILIAR. FALLA DE AISLAMIENTO O TENSIONES TRANSITORIAS	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	12
	INTERRUPTOR										

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, E77, A44, B43 G4, G6, E5, E6, A5, A6, B6 G8, E42, A30, B33 G10, E5, A5, B6 G12, E6, A6, B6	PTOR DE GENERADOR 4.16 KV	SEÑAL ABRIR/ CERRAR	INSTALACIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO, DE AMORTIGUADORES, BOBINA DE DISPARO, ALIMENTACIÓN AUXILIAR. FALLA DE AISLAMIENTO O TENSIONES TRANSITORIAS	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	INTERRUPTOR DE INTERCONEXIÓN 4.16 KV	SEÑAL ABRIR/CERRAR	INSTALACIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO, DE AMORTIGUADORES, BOBINA DE DISPARO, ALIMENTACIÓN AUXILIAR. FALLA DE AISLAMIENTO O TENSIONES TRANSITORIAS	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PROTECCIÓN SPAJ 140 C COTOCIRCUITO EN LÍNEA	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PROTECCIÓN GENERAL (GRUPO G-Tx) MICOM	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PROTECCIÓN SPAD 346 C TRANSFORMADOR	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
	PT'S Y CT'S	MEDICIÓN Y PROTECCIÓN	INSTALACIONES	ELÉCTRICA	FALLA EN DEVANADOS	FALLA DE AISLAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
	INTERRUPTOR										

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PTOR SERVICIOS AUXILIARES 4.16 KV	SEÑAL ABRIR/CERRAR	INSTALACIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO, DE AMORTIGUADORES, BOBINA DE DISPARO, ALIMENTACIÓN AUXILIAR. FALLA DE AISLAMIENTO O TENSIONES TRANSITORIAS	FALLA AL ABRIR O CERRAR	1	3	2	6
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PROTECCIÓN DE LÍNEA SEL 351A	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PROTECCIÓN DE GENERADOR SEL 300G	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PROTECCIÓN DE TRANSFORMADOR SEL 387A	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	MEDIDOR POWER LOGIC GENERADOR 1	POTENCIA ACTIVA	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALTA DE AJUSTE O CALIBRACIÓN	PÉRDIDA DE MEDICIÓN	2	4	2	1 6
		POTENCIA REACTIVA	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALTA DE AJUSTE O CALIBRACIÓN	PÉRDIDA DE MEDICIÓN	2	4	2	1 6
		CORRIENTE EN LAS TRES FASES DE GENERADOR	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALTA DE AJUSTE O CALIBRACIÓN	PÉRDIDA DE MEDICIÓN	2	4	2	1 6
		VOLTAJE EN LAS TRES FASES DE GENERADOR	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALTA DE AJUSTE O CALIBRACIÓN	PÉRDIDA DE MEDICIÓN	2	4	2	1 6
		ENERGIA	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALTA DE AJUSTE O CALIBRACIÓN	PÉRDIDA DE MEDICIÓN	2	4	2	1 6

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
						CALIBRACIÓN					
		FRECUENCIA	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALTA DE AJUSTE O CALIBRACIÓN	PÉRDIDA DE MEDICIÓN	2	4	2	16
		FACTOR DE POTENCIA	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALTA DE AJUSTE O CALIBRACIÓN	PÉRDIDA DE MEDICIÓN	2	4	2	16
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS PARO DE EMERGENCIA	RELÉ DE BLOQUEO ELÉCTRICO 86E	RELÉ	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS PARO DE EMERGENCIA	RELÉ DE BLOQUEO MECÁNICO 86M	RELÉ	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS PARO DE EMERGENCIA	RELÉ DE BLOQUEO DEL GRUPO 86BF	RELÉ	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
G2, E70, A39, B33 G8, E35, A25, B23	PROTECCIÓN POR SOBRE VELOCIDAD MECÁNICA	PROTECCIÓN	EJE DEL GENERADOR	MECÁNICA	FALLA DEL MECANISMO	ALTA VELOCIDAD DEL EJE DEL GENERADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	4	1	2	8
G2, G4, G6, G8, G10, G12	UNIDAD DE CONTROL	SETPOINT DE CONTROL	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8
		ALARMAS	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO												
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M	R
		CONTROL POR POTENCIA MW	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8	
		LIMITADOR DE CONTROL DE APERTURA DE INYECTORES	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8	
		CONTROL DE INYECTOR HABILITADOR/DESABILITAR	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8	
		CONTROL DE PRIORIDAD DE INYECTOR EN ARRANQUE	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8	
		EN MODO MANUAL CONTROL DEL CARGA	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8	
		MONITOR DE PARÁMETROS OPERATIVOS	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8	
		CONTROL DE ARRANQUE/PARO EN MODO MANUAL	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DE HMI	PÉRDIDA DE CONTROL	1	4	2	8	
	REGULADOR DE VELOCIDAD	PID DE CONTROL	SINCRONIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	BLOQUEO DEL REGULADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	2	4	

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
B19 G4, E4, A4, B5 G6, E5, A5, B5 G8, E20 - E24, A14, A15, A16, B12 - B14 G10, E4, A4, B5 G12, E5, A5, B5		PROTECCIÓN DE SOBRES/BAJA VELOCIDAD	SINCRONIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	ALARMAS	ALTA/BAJA VELOCIDAD DEL EJE DEL GENERADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	2	4
G2, G4, G6, G8, G10, G12	PLC	MODULOS	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN MÓDULO PLC	BLOQUEO EN PLC	CAMBIO DE TARJETA ELECTRONICA	2	3	3	18
		ENTRADAS/SALIDAS ANALÓGICAS	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE SEÑAL DE ENTRADA/SALIDA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	12
		ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE SEÑAL DE ENTRADA/SALIDA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	12
		CPU	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	BLOQUEO DE PROGRAMACIÓN	BLOQUEO EN PLC	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	12
		BATERÍA	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	BAJA CARGA EN BATERÍA	BLOQUEO EN PLC	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	3	18
		TERMINALES	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE SEÑAL EN TERMINAL	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	12
G2, E1, E2, A1, A2, B1 G8, E0, E1, A1, A2, B1 PERMISIVAS	SELECTORES MANUAL/LOCAL/MANTENIMIENTO	SELECTOR	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
		SELECTOR	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALSO CONTACTO EN TERMINAL	NO ENVÍA SEÑAL AL PLC	1	4	2	8
G2, E1, E2, A1, A2, B1 G8, E0, E1, A1, A2, B1 PERMISIVAS	SELECTOR AUTO/REMOTO	SEÑAL AL PLC	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
		SEÑAL AL PLC	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALSO CONTACTO EN TERMINAL	NO ENVÍA SEÑAL AL PLC	1	4	2	8
	PARO DE										

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G6, G12	EMERGENCIA	SEÑAL AL PLC	UNIDAD DE CONTROL	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALSO CONTACTO EN TERMINAL	NO ENVÍA SEÑAL AL PLC	1	4	1	4
G2, E65 - E76, A35 - A43, B32 - B42 G8, E30 - E40, A21 - A29, B22 - B32	SINCRONIZADOR	MEDIDOR ANALÓGICO DE VOLTAJE	SINCRONIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE MEDIDOR	BOBINA QUEMADA	FALTA DE MEDICIÓN DE VOLTAJE DE SINCRONOSCOPIO	2	4	1	8
		MEDIDOR ANALÓGICO DE FRECUENCIA	SINCRONIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE MEDIDOR	BOBINA QUEMADA	FALTA DE MEDICIÓN DE FRECUENCIA DE SINCRONOSCOPIO	2	4	1	8
		SINCRONOSCOPIO	SINCRONIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA ELECTRÓNICA	BLOQUEO EN SINCRONIZACIÓN	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	1	8
		BOTON DE INCREMENTO/DECREMENTO	SINCRONIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	NO ENVÍA SEÑAL	NO FUNCIONA EL AUMENTO/DISMINUCIÓN DE VELOCIDAD EN MANUAL	1	4	1	4
		SELECTOR DE AUTO/MANUAL	SINCRONIZACIÓN	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	TRANSFORMADOR DE INTERCONEXIÓN 4.16/13.8 KV	SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE TEMPERATURA EN DEVANADO	DEVANADOS	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		RELE BUCHHOLTZ	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ACCIONAMIENTO POR GASES EN ACEITE	CALENTAMIENTO POR FALLA PRODUCE GASES EN EL ACEITE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
				ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA DE CONTACTOS, VÁLVULA, FLOTADOR O CIRCUITO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
		SENSOR DE NIVEL DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ALTO NIVEL	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	BAJO NIVEL	BAJO NIVEL DE ACEITE EN EL	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
						TANQUE					
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL/CONSERVADOR	ELÉCTRICA	ALTA PRESIÓN	MOVIMIENTO BRUSCO DEL ACEITE DIELÉCTRICO ESFUERZO MECÁNICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
	ELÉCTRICA			BAJA PRESIÓN	FUGA O DISMINUCIÓN DE FLUIDO HIDRÁULICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16	
	ELÉCTRICA			FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16	
	PROTECCIÓN DIFERENCIAL			DEVANADOS	ELÉCTRICA	DIFERENCIAL DE CORRIENTE	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16
		SENSOR DE TEMPERATURA EN DEVANADO	DEVANADOS	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16
		RELE BUCHHOLTZ	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ACCIONAMIENTO POR GASES EN ACEITE	CALENTAMIENTO POR FALLA PRODUCE GASES EN EL ACEITE	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	2	2	8
				ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA DE CONTACTOS, VÁLVULA, FLOTADOR O CIRCUITO	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	2	2	8
		SENSOR DE NIVEL DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ALTO NIVEL	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	BAJO NIVEL	BAJO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16
		PROTECCIÓN DIFERENCIAL	DEVANADOS	ELÉCTRICA	DIFERENCIAL DE CORRIENTE	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ABRE INTERRUPTOR DE CONSUMOS PROPIOS	2	4	2	16
	GENERADOR AUXILIAR	INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA ABRE/CIERRA	INSTALACIONES	ELÉCTRICA	FALLA ELÉCTRICA	CORROSIÓN, OXIDACIÓN O QUEMADURA DE CONTACTOS Y TERMINALES	NO REALIZA TRANSFERENCIA	2	2	2	8
				MECÁNICA	FALLA MECÁNICA	FALLA DE GENERADOR AUXILIAR	FALTA DE ALIMENTACIÓN DE RESPALDO	2	2	1	4
PERMISIVAS	UPS	UPS	INSTALACIONES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN BATERÍAS	FALTA DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE EQUIPOS	EQUIPOS DESPROTEGIDOS ANTE UN CORTE DE ENERGÍA	2	3	3	18
G2, E2 - E5, A3, A4, B2, B3 G4, G6, E16, A17, B19	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE COJINETES	SENSOR DE FLUJO	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	MECÁNICA	ALTO FLUJO	SOBRE PRESIÓN EN TUBERÍAS DE ENTRADA/SALIDA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
				MECÁNICA	BAJO FLUJO	OBSTRUCCIÓN POR INGRESO DE SEDIMENTO O PARTÍCULAS A TUBERÍA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		VÁLVULA DE PRESIÓN	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	MECÁNICA	ALTA PRESIÓN	SOBRE PRESIÓN EN TUBERÍAS DE ENTRADA/SALIDA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				MECÁNICA	FALLA DE VÁLVULA	DESGASTE DE VÁLVULA DE PRESIÓN, MAL AJUSTE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE PRESIÓN DE INGRESO DE AGUA	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	MECÁNICA	ALTA PRESIÓN	SOBRE PRESIÓN EN TUBERÍAS DE ENTRADA/SALIDA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				MECÁNICA	BAJA PRESIÓN	MAL AJUSTE DE LA PRESIÓN DEL SISTEMA DE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
		DE VIBRACIONES	RODAMIENTOS			DE RODAMIENTO	PARO DE GENERADOR				4
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		BOMBA DE ACEITE	SISTEMA DE RODAMIENTOS	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
						MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTÓN. FUGAS POR DESGASTE	2	2	2	8
SELECTOR ENCENDIDA/APAGADA	PANEL AC SERVICIOS AUXILIARES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4		
G2, E10, E11, A8, B5 G4, G6, E7, E9, A9, A20, B9, B21	COJINETE NDE	SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE	SISTEMA DE RODAMIENTOS	MECÁNICA	ALTA TEMPERATURA	BAJO FLUJO EN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE COJINETES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	SISTEMA DE RODAMIENTOS	MECÁNICA	ALTA PRESIÓN	MOVIMIENTO BRUSCO DEL ACEITE DIELECTRICO ESFUERZO MECÁNICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				MECÁNICA	BAJA PRESIÓN	FUGA O DISMINUCIÓN DE FLUIDO HIDRÁULICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE VIBRACIONES	SISTEMA DE RODAMIENTOS	MECÁNICA	ALTA VIBRACIÓN	SOBRECARGA DE RODAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		BOMBA DE ACEITE	SISTEMA DE RODAMIENTOS	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
						MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTÓN. FUGAS POR DESGASTE	2	2	2	8

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
		SELECTOR ENCENDIDA/APAGADA	PANEL AC SERVICIOS AUXILIARES	INSTRUMENTACIÓN	FALLA DEL MECANISMO	SELECTOR EN MAL ESTADO	NO PERMITE EL MANDO AUTOMÁTICO	1	4	1	4
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PANEL DE DISTRIBUCIÓN AC	MCB	PANEL AC	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA EN SEVICIOS AUXILIARES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	1 2
		MCB PRIMARIO O TRAFOPRINCIPAL	PANEL AC	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA EN SEVICIOS AUXILIARES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	1 2
		MCB SECUNDARIO TRAFOPRINCIPAL	PANEL DC	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA EN SEVICIOS AUXILIARES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	PANEL DE DISTRIBUCIÓN DC	MCB	PANEL DC	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA DE CONTROL	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	1 2
		MCB TRAFOPRINCIPAL	PANEL DC	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA DE CONTROL	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS	RTU COMUNICACIONES	FIBRA ÓPTICA	RTU	INSTRUMENTACIÓN	CORTE O FALSO CONTACTO	DAÑO EN FIBRA ÓPTICA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	3	1 2
		SWITH DE COMUNICACIÓN	RTU	INSTRUMENTACIÓN	FALLA POR SUCIEDAD	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
PARO DE EMERGENCIA	TURBINA	CANGILOS	TURBINA	MECÁNICA	DETERIORO PO SEDIMENTOS U OTRAS PARTICULAS	GOLPAES, GRIETAS O RAJADURAS POR SEDIMENTO EN AGUA	PARO TOTAL DE LA UNIDAD	4	1	2	8
G2, G4, G6, G8, G10, G12	ROTOR	SENSOR DE VELOCIDAD DEL EJE	GENERADOR	MECÁNICA	ALTA VELOCIDAD	PÉRDIDA DE SINCRONISMO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	2	4
				MECÁNICA	BAJA VELOCIDAD	PÉRDIDA DE SINCRONISMO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	2	4
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
		SENSOR DE VIBRACIÓN	GENERADOR	MECÁNICA	ALTA VIBRACIÓN	SOBRECARGA DEL EJE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	1	3	6
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN,	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
					HUMEDAD O SUCIEDAD						
		SENSORES DE TEMPERATURA EN EL NÚCLEO	GENERADOR	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
G2, G4, G6, G8, G10, G12	ESTATOR	SENSOR DE TEMPERATURA DEL DEVANADO	GENERADOR	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
			GENERADOR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
G2, G4, G6, G8, G10, G12	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AIRE	SENSOR DE TEMPERATURA DE ENTRADA	GENERADOR	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
		SENSOR DE TEMPERATURA DE SALIDA	GENERADOR	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	2 4
			GENERADOR	INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
G2, E33, E38, A14, A18, B12, B18, G4, G6, E11, E12, E15, A11, A12, B12, B13	FRENO	BOMBA DE ACEITE	GENERADOR	MECÁNICA	FALLA EN BOMBA	EROSIÓN, CAVITACIÓN, CORROSIÓN O FATIGA.	DESGASTE	2	2	2	8
						MALA LUBRICACIÓN	BAJO RENDIMIENTO DE PLATO, EJE Y PISTON. FUGAS POR DESGASTE	2	2	2	8
			GENERADOR	MECÁNICA	ALTA PRESIÓN	ALTA PRESIÓN DE BOMBA DE ACEITE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
		SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	GENERADOR	MECÁNICA	BAJA PRESIÓN	BAJA PRESIÓN DEL FLUIDO EN ACUMULADOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
				INSTRUMENTACIÓN	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	1 6
	SCADA										

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, G4, G6, G8, G10, G12		SETPOINT DE CONTROL	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	3	12
		ALARMAS	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	2	4	4	32
		CONTROL POR NIVEL (PID)	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	3	12
		CONTROL POR POTENCIA MW	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	3	12
		LIMITADOR DE CONTROL DE APERTURA DE INYECTORES	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	2	8
		CONTROL DE INYECTOR HABILITAR/DESHABILITAR	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	2	8
		CONTROL DE PRIORIDAD DE INYECTOR EN ARRANQUE	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	2	8
		CONTROL POR FACTOR DE POTENCIA O POR KVAR	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	2	8
		EN MODO MANTENIMIENTO CONTROL DE APERTURA DE AGUJAS EN %	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	2	2	1	4

CASA DE MÁQUINAS MATANZAS Y SAN ISIDRO											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
		EN MODO AUTO CONTROL DEL CARGA O NIVEL	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	3	12
		MONITOR DE PARAMETROS OPERATIVOS	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	1	4	3	12
		CONTROL DE APERTURA DE COMPUTERTA	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	2	4	4	32
		CONTROL DE ARRANQUE/PARO EN MODO AUTOMÁTICO/PASO A PASO	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	2	4	2	16
		MONITOR DE COMUNICACIÓN AL PLC	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	2	4	4	32
		INDICADOR DE FALSO CONTACTO EN RACK - SLOT PLC - ENTRADA /SALIDA DIGITAL/ANALÓGICA	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	2	4	3	24
		ESTADO DE LAS PERMISIVAS DE ARRANQUE	SCADA	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	FALLA DE COMUNICACIÓN DE DATOS Y RTU	FALLA EN ARRANQUE, PARO Y OPERACIÓN NORMAL	2	4	3	24

Fuente: elaboración propia.

SUBESTACIÓN MATANZAS 69 KV											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	INTERRUPTOR PRINCIPAL 69 KV	SENSOR DE PRESIÓN DE SF6	INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	ALTA PRESIÓN	ALTA PRESIÓN DE GAS SF6 EN CÁMARA DE INTERRUPTOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
			INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	BAJA PRESIÓN	BAJA PRESIÓN DE GAS SF6 EN INTERRUPTOR EN CÁMARA DE INTERRUPTOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
			INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SEÑAL ABRIR/CERRAR	INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO, DE AMORTIGUADORES, BOBINA DE DISPARO, ALIMENTACIÓN AUXILIAR. FALLA DE AISLAMIENTO O TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	12
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	INTERRUPTOR SANTA ELENA 69 KV	SENSOR DE PRESIÓN DE SF6	INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	ALTA PRESIÓN	ALTA PRESIÓN DE GAS SF6 EN CÁMARA DE INTERRUPTOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
			INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	BAJA PRESIÓN	BAJA PRESIÓN DE GAS SF6 EN INTERRUPTOR EN CÁMARA DE INTERRUPTOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
			INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SEÑAL ABRIR/CERRAR	INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO, DE AMORTIGUADORES, BOBINA DE DISPARO, ALIMENTACIÓN AUXILIAR. FALLA DE AISLAMIENTO O TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	12
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	INTERRUPTOR TACTIC 69KV	SENSOR DE PRESIÓN DE SF6	INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	ALTA PRESIÓN	ALTA PRESIÓN DE GAS SF6 EN CÁMARA DE INTERRUPTOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
			INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	BAJA PRESIÓN	BAJA PRESIÓN DE GAS SF6 EN INTERRUPTOR EN CÁMARA DE INTERRUPTOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
			INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE	2	4	2	16

SUBESTACIÓN MATANZAS 69 KV											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/SEÑAL	UBICACIÓN/PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
					VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD		PARO DE GENERADOR				
		SEÑAL ABRIR/CERRAR	INTERRUPTOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO, DE AMORTIGUADORES, BOBINA DE DISPARO, ALIMENTACIÓN AUXILIAR. FALLA DE AISLAMIENTO O TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	SECCIONADOR PRINCIPAL	SEÑAL ABRIR/CERRAR	SECCIONADOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO DE CUCHILLAS, DETERIORO DE CUCHILLAS POR ARCO ELÉCTRICO	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
		SEÑAL ABRIR/CERRAR	SECCIONADOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO DE CUCHILLAS, DETERIORO DE CUCHILLAS POR ARCO ELÉCTRICO	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	SECCIONADOR DE LÍNEA SANTA ELENA	SEÑAL ABRIR/CERRAR	SECCIONADOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO DE CUCHILLAS, DETERIORO DE CUCHILLAS POR ARCO ELÉCTRICO	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	SECCIONADOR DE BARRA TACTIC	SEÑAL ABRIR/CERRAR	SECCIONADOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO DE CUCHILLAS, DETERIORO DE CUCHILLAS POR ARCO ELÉCTRICO	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	SECCIONADOR DE LÍNEA TACTIC	SEÑAL ABRIR/CERRAR	SECCIONADOR	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	BLOQUEO MECÁNICO DE CUCHILLAS, DETERIORO DE CUCHILLAS POR ARCO ELÉCTRICO	FALLA AL ABRIR O CERRAR	2	3	2	1 2
	PANEL										

SUBESTACIÓN MATANZAS 69 KV											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	DE CONTROL DE INTERRUPTORES	SEÑAL REMOTA ABRIR/CERRAR	CONTROL INTERRUPTORES DE SUBESTACIÓN 69 KV	INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN SEÑAL DE COMUNICACIÓN	NO PERMITE MANDO REMOTO DE INTERRUPTORES DE LA SUBESTACIÓN 69 KV	FALLA AL ABRIR O CERRAR INTERRUPTORES	2	3	2	12
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	PROTECCIÓN DE LÍNEA CAMPO SANTA ELENA SE 11B	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	PROTECCIÓN DE LÍNEA CAMPO TACTIC ZIV	RELEVADOR	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	ALARMAS	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	RELE DE PROTECCIÓN DE BARRA 86B	RELÉ	PROTECCIONES	ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
G2, E3, A4, B3 G8, E3, A4, B3 PERMISIVAS G4, G6, G10, G12	TRANSFORMADOR PRINCIPAL 4.16/69 KV	SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE TEMPERATURA EN DEVANADO	DEVANADO	ELÉCTRICA	ALTA TEMPERATURA	FALLA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DE RTD	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		RELE BUCHHOL	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ACCIONAMIENTO POR GASES EN ACEITE	CALENTAMIENTO POR FALLA	ALARMA Y SEÑAL DE	2	2	2	8

SUBESTACIÓN MATANZAS 69 KV											
RUTA EN EL GRAFCET	SISTEMA	EQUIPO/ SEÑAL	UBICACIÓN/ PANEL	MECANISMO DE FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS	EFFECTOS EN EQUIPO	C	E	P	M R
		TZ				PRODUCE GASES EN EL ACEITE	PARO DE GENERADOR				
				ELÉCTRICA	FALLA DEL MECANISMO	FALLA DE CONTACTOS, VÁLVULA, FLOTADOR O CIRCUITO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	2	2	8
		SENSOR DE NIVEL DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ALTO NIVEL	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	BAJO NIVEL	BAJO NIVEL DE ACEITE EN EL TANQUE	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	ALTA PRESIÓN	MOVIMIENTO BRUSCO DEL ACEITE DIELECTRICO ESFUERZO MECÁNICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	BAJA PRESIÓN	FUGA O DISMINUCIÓN DE FLUIDO HIDRÁULICO	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
				ELÉCTRICA	FALLA/FALSO CONTACTO POR VIBRACIÓN, HUMEDAD O SUCIEDAD	FALLA DEL SENSOR	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16
		PROTECCIÓN DIFERENCIAL	DEVANADO	ELÉCTRICA	DIFERENCIAL DE CORRIENTE	TRANSITORIOS EN LA RED ELÉCTRICA DE POTENCIA	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	3	24
		SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO	TANQUE PRINCIPAL	ELÉCTRICA	FALLA EN FUSIBLE DE VENTILADORES	FALLA ELECTRCA EN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE VENTILADORES	ALARMA Y SEÑAL DE PARO DE GENERADOR	2	4	2	16

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Configuración de la cadena hidrológica Matanzas

Planta hidroeléctrica Matanzas	
Inicio de operación comercial: 30 de mayo de 2002.	
Casa de máquinas Matanzas	
Coordenadas UTM:	Longitud 90°11'31'' E y latitud 15°05'16'' N.
Ubicación:	En la Aldea Matanzas, en el área llamada la Zacualpa.
Capacidad bruta:	11.70 MW
Capacidad Neta:	11.46 MW
Equipo instalado:	1 turbina tipo Pelton de eje horizontal, con una capacidad máxima de turbinado de 5.63 m³/s, el eje de la turbina está a un nivel de la cota 1188.2 m.s.n.m.
Información eléctrica:	Tiene una salida de voltaje del generador a 4.16 KV y se interconecta al transformador de bloque de salida de toda la planta. Este transformador de bloque trabaja de 4.16 KV/69 KV, dicho transformador está conectado a la línea de 69 KV del INDE. A través de la línea del INDE se interconectan dos subestaciones Santa Elena y Tactic, Matanzas se encuentra conectada en el punto intermedio de ambas subestaciones.
Afluente:	Utiliza el caudal del río Matanzas que pertenece al sistema hidrológico del río Chixoy, que drena hacia el golfo de México. Este río es alimentado por dos cauces principales, el río las Flautas (Matanzas) y el río San Isidro. Ambos ríos confluyen unos 800 metros aguas arriba de la presa Matanzas.
Cuenca:	La cuenca tributaria del río Matanzas, hasta el sitio de presa es de 105 km². La lluvia media anual sobre la cuenca del río Matanzas, es del orden de los 900 a 1400 mm.
Presa Matanzas	
Coordenadas UTM:	Longitud 90°11'23'' E y latitud 15°06'22'' N y en la cota 1454.0 m.s.n.m.
Ubicación:	En la Aldea Matanzas.
Regulación diaria:	90000 m³ de capacidad.
Caída:	260 metros.

Anexo 2. Configuración de la cadena hidrológica San Isidro.

Planta hidroeléctrica San Isidro	
Inicio de operación comercial: 07 de julio de 2002.	
Casa de máquinas San Isidro	
Coordenadas UTM:	Longitud 90°08'48'' E y latitud 15°04'57'' N.
Ubicación:	En la Aldea San Isidro, municipio de San Jerónimo.
Capacidad bruta:	3.97 MW
Capacidad Neta:	3.46 MW
Equipo instalado:	2 turbinas tipo Pelton de eje vertical, y una caída de 216 metros, el eje de la turbina se encuentra en la cota 1608.55 m.s.n.m.
Información eléctrica:	Los dos generadores de San Isidro salen a 4.16 KV y se conectan al transformador de interconexión de la línea Matanzas – San Isidro en voltaje de 13.8 KV. San Isidro esta interconectado a la subestación de Matanzas a través de una línea de transmisión de 9 km de largo. Al llegar a Matanzas existe otro transformador que reduce el voltaje de 13.8 KV a 4.16 KV para conectarse al transformador de bloque principal de salida de las dos plantas Matanzas & San Isidro. El transformador del bloque principal es un transformador elevador de 4.16 KV/69 KV. A través de este transformador se realiza la interconexión a la línea del INDE de 69 KV. Esta salida interconecta a las dos subestaciones del INDE Santa Elena y Tactic. La descarga de San Isidro sigue su curso natural para unirse con el río Matanzas, San Isidro tiene la capacidad de turbinar un máximo de 2 m³/s.
Afluente:	Río Chilascó. La derivación de este río es a 2.20 km aguas arriba del poblado de Santa Cruz, este pertenece al sistema hidrológico del río Polochic, que fluye hacia el Caribe. El caudal máximo de trasvase hacia San Isidro es de 2 m³/s. Se estima que el área de la cuenca de Chilascó hasta el punto de derivación es de 50 km².

Continuación del anexo 2.

Planta hidroeléctrica San Isidro	
Cuenca:	Aprovecha el caudal del río Chilascó, el trasvase por el canal de riego de San Jerónimo que fue construido en el año 1962. Este canal fue construido por el Ministerio de Agricultura para proveer un trasvase del Río Chilascó hacia la unidad de riego de San Jerónimo llamada AURSA. La lluvia media anual sobre la cuenca del río Chilascó, se estima entre 1500 y 2000 mm. El canal de 2.20 km de largo funciona como un reservorio con una sección trapezoidal de 8 x 4 x 2 metros, con una capacidad total de 26400 m ³ y un volumen útil de 15400 m ³ .
Presa San Isidro	
Ubicación:	En la Aldea Santa Cruz, del municipio de San Jerónimo. Fue construida por Enel y se terminó en el año 2002.
Caudal ecológico	La presa de trasvase del Río Chilascó cuenta con una compuerta de caudal ecológico, que permite pasar 0.114 m ³ /s con el objetivo de preservar la flora y la fauna aguas debajo de la presa de derivación.
Bocatoma Chilascó	
Coordenadas UTM:	Longitud 90°06'16" E y latitud 15°05'49" N.
Cota:	1834.5 m.s.n.m.
Tubería de presión	Después de la bocatoma está la tubería de conducción y posteriormente la tubería de presión que en total, tiene una longitud de 2557 metros para llegar a las turbinas hidráulicas. La tubería de presión está compuesta por: un túnel de 450 metros de largo y 2 metros de diámetro, tubería de baja presión de 697 metros de largo y 1 metro de diámetro y tubería de alta presión de 1410 metros de largo y 0.90 metros de diámetro. El agua se conduce a través del túnel, de la tubería de baja presión y la tubería de alta presión hasta llegar a las turbinas hidráulicas de casa de máquinas San Isidro.

Anexo 3. Parámetros operativos de la central hidroeléctrica Matanzas

No	Equipo	Parámetro	Rango Nominal	Alarma	Disparo
1	Generador Matanzas	Potencia Activa	2 - 11.5 MW	N/A	N/A
2		Potencia Activa según AMM (incluye RRO)	1.1 - 11.78 MW	N/A	N/A
3		Corriente	481 - 1675 A	N/A	N/A
4		Factor de potencia	0.9 - 1	N/A	N/A
5		Frecuencia	57 - 63 Hz	N/A	N/A
6		Excitación de generador	45 V/ 5.5 A - 80 V/ 8.5 A	N/A	N/A
7		Temperatura Cojinetes NDE	44 - 54	85	95
8		Temperatura en aceite de cojinete NDE	22 - 32	55	60
9		Temperatura Cojinetes DE	65 - 70	85	95
10		Temperatura en aceite de cojinete DE	28 - 40	55	60
11		Presión de aceite de cojinete DE	2.0 - 45-0	N/A	< 60 bar (arranque)
12		Presión de aceite de cojinete NDE	0 - 35	N/A	< 30 bar (arranque)

No	Equipo	Parámetro	Rango Nominal	Alarma	Disparo
13		Presión de aceite de interruptor	0.5 - 0.7	N/A	N/A
14		Temperatura en devanados por fase	30 - 98	130	140
15		Temperatura en el núcleo por fase	34 - 72	N/A	N/A
16		Temperatura de entrada sistema de enfriamiento	17 - 33	N/A	N/A
17		Temperatura de salida sistema de enfriamiento	27 - 58	N/A	N/A
18		Vibración en cojinetes DE	0.10 - 0.60	N/A	N/A
19	Turbina generador Matanzas y presa	Velocidad	400 r.p.m. (60 Hz)		460 (115 %)
20		Presión de aceite HPU	45 -55		42
21		Temperatura de aceite HPU	22 - 36	55	60
22		Flujo de agua (lts/hr)	3250 – 3400	300 0	2800
23		Presión Penstock (bar)	24.8 - 26.5		
24		Nivel en presa (m.s.n.m.)	1454.60 - 1457.65	145 4.5	1453.9
25	Transformador de interconexión Mtz/SI 4.16/13.8	Temperatura en aceite	30 – 55	90	100
26	KV	Temperatura en devanados	30 -65	90	100

No	Equipo	Parámetro	Rango Nominal	Alarma	Disparo
27	Transformador de consumos propios	Temperatura de aceite	30 – 45	85	90
28	Transformador principal 4.16/69 KV	Temperatura de aceite	40 – 65	80	90
29		Temperatura en devanados	40 – 80	90	100

Anexo 4. Parámetros operativos de la central hidroeléctrica San Isidro

No	Equipo	Parámetro	Rango Nominal	Alarma	Disparo
1	Generador 1 y 2 San Isidro	Potencia Activa	0.4 - 1.65 MW	N/A	N/A
2		Potencia Activa según AMM (incluye RRO)	0.4 - 1.65 MW	N/A	N/A
3		Corriente	96 - 264 A	N/A	N/A
4		Factor de potencia	0.9 - 1	N/A	N/A
5		Frecuencia	57 - 63 Hz	N/A	N/A
6		Temperatura cojinetes NDE 1	45 - 70	85	95
7		Temperatura cojinetes NDE 2	45 - 70	85	95
8		Temperatura cojinetes DE	45 - 70	85	95
9		Vibración en cojinetes DE	1.0 - 3.0	8	10
10		Vibración en cojinetes NDE	1.0 - 3.0	8	10
11		Temperatura en el núcleo NDE	35 - 65	N/A	N/A

No	Equipo	Parámetro	Rango Nominal	Alarma	Disparo
12		Temperatura en el núcleo DE	40 - 70	N/A	N/A
13		Temperatura en devanados por fase	50 - 80	85	95
14	Turbina generador Matanzas y presa	Velocidad	900 r.p.m. (60 Hz)		1035 (115 %)
15		Presión de aceite HPU	87 - 110	77	42 (min) - 120 (máx.)
16		Temperatura de aceite HPU	20 - 40	55	60
17		Presión penstock (bar)	20.1 - 22.4		
18		Nivel en presa (m.s.n.m.)	1834.8 - 1835.48	1834.8	1834.4
19	Transformador de interconexión Mtz/SI 4.16/13.8 KV	Temperatura en aceite	30 - 55	90	100
20		Temperatura en devanados	30 - 65	90	100

Anexo 5. Sistema de compuertas en presa Chilascó y bocatoma San Isidro

Presa Chilascó			
Cantidad	Elemento	Nomenclatura	Función
1	Compuerta ecológica	CEPCH	Regulación de caudal y nivel de presa, conservación de fauna y flora de la región
1	Flashboard	FBPCH	Tablones utilizados para aumentar la profundidad de agua de la presa
3	Compuertas de paso	CPPCH	Regulación de caudal y nivel de presa, obturar gran cantidad de agua
Bocatoma San Isidro			
Cantidad	Elemento	Nomenclatura	Función
1	Compuerta Intake	CIPSIS	Tapar el paso de agua por emergencia o mantenimiento
1	Compuerta by-pass	CBPPSIS	Regulación de flujo de agua y ajuste de nivel en la presa

Anexo 6. Sistema de compuertas presa Matanzas

Presa Matanzas			
Cantidad	Elemento	Nomenclatura	Función
1	Compuerta Intake	CIPMTZ	Tapar el paso de agua por emergencia o mantenimiento
1	Compuerta by-pass	CBPPMTZ	Regulación de flujo de agua y ajuste de nivel en la presa
1	Compuerta principal	CPPMTZ	Regulación de flujo de agua y ajuste de nivel en la presa, sirve como respaldo de la compuerta by-pass en caso que falle
1	Flashboard	FBPMTZ	Tablones utilizados para aumentar la profundidad de agua de la presa

Anexo 7. Equipo electromecánico de la subestación 69 KV Matanzas

Subestación Matanzas			
Cantidad	Nombre del elemento	Nomenclatura	Función
1	Interruptor Tactic	52L1	Abrir/cerrar el circuito en 69 KV Tactic bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de barra Tactic	89LB1	Aislar eléctricamente el circuito en 69 KV Tactic de la red eléctrica de potencia cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de línea Tactic	89LL1	Aislar eléctricamente el circuito en 69 KV Tactic de la red eléctrica de potencia cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra Tactic	89L1	Aterrizar el circuito en 69 KV Tactic cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Seccionador by-pass	89IL	Aislar eléctricamente los circuitos en 69 KV Tactic y Santa Elena, se cierra únicamente por orden del AMM
1	Interruptor Santa Elena	52L2	Abrir/cerrar el circuito en 69 KV Santa Elena bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de barra Santa Elena	89LB2	Aislar eléctricamente el circuito en 69 KV Santa Elena de la red eléctrica de potencia cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de línea Santa Elena	89LL2	Aislar eléctricamente el circuito en 69 KV Santa Elena de la red eléctrica de potencia cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra Santa Elena	89L2	Aterrizar el circuito en 69 KV Santa Elena cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Interruptor de bloque principal	52B	Abrir/cerrar el circuito en 69 KV que conecta a los generadores a la subestación bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de barra	P89B	Aislar eléctricamente el circuito en 69 KV que conecta a los generadores a la subestación cuando este está sin carga o en vacío
1	Transformador de bloque principal (18 MVA)	TPRMTZ	Sirve de enlace entre la central hidroeléctrica y la red de transmisión, eleva el voltaje de 4.16 KV a 69 KV y se conecta a los campos Tactic y Santa Elena

Anexo 8. Equipo electromecánico de la central hidroeléctrica Matanzas

Planta Hidroeléctrica Matanzas			
Cantidad	Nombre del elemento	Nomenclatura	Función
1	Interruptor de consumos internos	52CIM	Abrir/cerrar el circuito en 4.16 KV que conecta los servicios auxiliares de la central bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de consumos internos	89CIM	Aislar eléctricamente el circuito en 4.16 KV que conecta los servicios auxiliares de la central cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra consumos internos	89CM	Aterrizar el circuito en 4.16 KV que conecta los servicios auxiliares de la central, cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Transformador de consumos internos (225 KVA)	TCIMTZ	Reduce el voltaje de 4.16 KV a 480 V para alimentar los consumos internos.
1	Interruptor de sincronización	52MTZ	Abrir/cerrar el circuito en 4.16 KV que conecta el generador Matanzas al TPMTZ bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de sincronización	89MTZ	Aislar eléctricamente el circuito en 4.16 KV que conecta el generador Matanzas al TPMTZ cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra de sincronización	89TMTZ	Aterrizar el circuito en 4.16 KV que conecta el generador Matanzas al TPMTZ, cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Generador síncrono 11.7 MW	GMTZ	Aportar potencia a la red eléctrica de acuerdo a las condiciones hidrológicas
1	Generador auxiliar	GAMTZ	Aportar potencia a la casa de máquinas Matanzas ante una emergencia o mantenimiento
1	Interruptor de interconexión	52I1MTZ	Abrir/cerrar el lado secundario en 4.16 KV que conecta el generador Matanzas al TIMTZ bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de interconexión	89I1MTZ	Aislar eléctricamente el lado secundario en 4.16 KV que conecta el generador Matanzas al TIMTZ cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra interconexión	89TI1MTZ	Aterrizar el lado secundario en 4.16 KV que conecta el generador Matanzas al TIMTZ , cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los

Planta Hidroeléctrica Matanzas			
Cantidad	Nombre del elemento	Nomenclatura	Función
			equipos electromecánicos
1	Transformador de interconexión (5 MVA)	TIMTZ	Sirve de enlace entre la central hidroeléctrica Matanzas y la central hidroeléctrica San Isidro, eleva el voltaje de 4.16 KV a 13.8 KV y se conecta a la línea de interconexión entre plantas
1	Interruptor de interconexión	52I2MTZ	Abrir/cerrar el lado primario en 13.8 KV que conecta el TIMTZ al TISIS (línea 13.8 KV) bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de interconexión	89I2MTZ	Aislar eléctricamente el lado primario en 13.8 KV que conecta el TIMTZ al TISIS (línea 13.8 KV) cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra interconexión	89TI2MTZ	Aterrizar el lado primario en 13.8 KV que conecta el TIMTZ al TISIS (línea 13.8 KV), cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Transformador reductor 75 KVA	TPMTZ	Sirve de enlace entre la casa de máquinas y la presa Matanzas, reduce el voltaje de 13.8 KV a 0.48 KV.
1	Generador auxiliar	GAPMTZ	Aportar potencia a la presa Matanzas ante una emergencia o mantenimiento

Anexo 9. Equipo electromecánico de la central hidroeléctrica San Isidro

Planta Hidroeléctrica San Isidro			
Cantidad	Nombre del elemento	Nomenclatura	Función
1	Interruptor de interconexión	52I1SIS	Abrir/cerrar el lado secundario en 4.16 KV que conecta los generadores de San Isidro al TISIS bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de interconexión	89I1SIS	Aislar eléctricamente el lado secundario en 4.16 KV que conecta los generadores de San Isidro al TISIS cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra interconexión	89TI1SIS	Aterrizar el lado secundario en 4.16 KV que conecta los generadores de San Isidro al TISIS , cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Transformador de interconexión (5 MVA)	TISIS	Sirve de enlace entre la central hidroeléctrica San Isidro y la central hidroeléctrica Matanzas, eleva el voltaje de 4.16 KV a 13.8 KV y se conecta a la línea de interconexión entre plantas
1	Interruptor de interconexión	52I2SIS	Abrir/cerrar el lado primario en 13.8 KV que conecta el TISIS al TIMTZ (línea 13.8 KV) bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de interconexión	89I2MTZ	Aislar eléctricamente el lado primario en 13.8 KV que conecta el TISIS al TIMTZ (línea 13.8 KV) cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra interconexión	89TI2MTZ	Aterrizar el lado primario en 13.8 KV que conecta el TISIS al TIMTZ (línea 13.8 KV), cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Transformador reductor 75 KVA	TPSIS	Sirve de enlace entre la casa de máquinas y la presa San Isidro, reduce el voltaje de 13.8 KV a 0.48 KV.
1	Interruptor de consumos internos	52CIS	Abrir/cerrar el circuito en 4.16 KV que conecta los servicios auxiliares de la central bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de consumos internos	89CIS	Aislar eléctricamente el circuito en 4.16 KV que conecta los servicios auxiliares de la central cuando este está sin carga o en vacío
1	Seccionador de tierra consumos internos	89CS	Aterrizar el circuito en 4.16 KV que conecta los servicios auxiliares de la central, cuando este está sin carga o en vacío, para proteger al personal que trabaja en los

Planta Hidroeléctrica San Isidro			
Cantidad	Nombre del elemento	Nomenclatura	Función
			equipos electromecánicos
1	Transformador de consumos internos (125 KVA)	TCISIS	Reduce el voltaje de 4.16 KV a 480 V para alimentar los consumos internos.
1	Interruptor de sincronización	52SIS1	Abrir/cerrar el circuito en 4.16 KV que conecta el generador 1 San Isidro al TISIS bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de sincronización	89SIS1	Aislar eléctricamente el circuito en 4.16 KV que conecta el generador 1 San Isidro al TISIS cuando este está sin carga o en vacio
1	Seccionador de tierra de sincronización	89TSIS1	Aterrizar el circuito en 4.16 KV que conecta el generador 1 San Isidro al TISIS, cuando este está sin carga o en vacio, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Interruptor de sincronización	52SIS2	Abrir/cerrar el circuito en 4.16 KV que conecta el generador 2 San Isidro al TISIS bajo condiciones normales y de falla
1	Seccionador de sincronización	89SIS2	Aislar eléctricamente el circuito en 4.16 KV que conecta el generador 2 San Isidro al TISIS cuando este está sin carga o en vacio
1	Seccionador de tierra de sincronización	89TSIS2	Aterrizar el circuito en 4.16 KV que conecta el generador 2 San Isidro al TISIS, cuando este está sin carga o en vacio, para proteger al personal que trabaja en los equipos electromecánicos
1	Generador síncrono 1 1.7 MW	GSIS1	Aportar potencia a la red eléctrica de acuerdo a las condiciones hidrológicas
1	Generador síncrono 2 1.7 MW	GSIS2	Aportar potencia a la red eléctrica de acuerdo a las condiciones hidrológicas
1	Generador auxiliar	GASIS	Aportar potencia a la casa de máquinas San Isidro ante una emergencia o mantenimiento
1	Generador auxiliar	GAPIS	Aportar potencia a la presa San Isidro ante una emergencia o mantenimiento
1	Línea de transmission (13.8 KV)	LTMTZSIS	Interconectar las dos plantas y transportar la energía de San Isidro al transformador de bloque principal