

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS\_VALENTIN TIMOTEO NILSON.pdf**

AUTOR

**Nilson Valentin Timoteo**

RECUENTO DE PALABRAS

**29216 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**168426 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**193 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**16.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Apr 21, 2024 11:00 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Apr 21, 2024 11:03 AM GMT-5**

### ● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 12% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material citado



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA  
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN  
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS  
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)**

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.untels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

**TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

- 1). TESIS ( X )      2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ( )

**DATOS PERSONALES**

Apellidos y Nombres: <u>Valentín Temoteo NPiison</u>
D.N.I.: <u>75457236</u>
Otro Documento:
Nacionalidad: <u>Peruana</u>
Teléfono: <u>945421344</u>
e-mail: <u>2016200101@untels.edu.pe</u>

**DATOS ACADÉMICOS**

**Pregrado**

Facultad: <u>Facultad de Ingeniería y Gestión</u>
Programa Académico: <u>Tesis</u>
Título Profesional otorgado: <u>Ingeniero Mecánico Electricista</u>

**Postgrado**

Universidad de Procedencia:
País:
Grado Académico otorgado:

**Datos de trabajo de investigación**

Título: <u>"Lineamiento en el comisionamiento de redes MS que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar las corrientes de energización de los auto transformadores de potencia en SE AT-EAT"</u>
Fecha de Sustentación: <u>21 de Junio del 2024</u>
Calificación: <u>Aprobado por unanimidad</u>
Año de Publicación: <u>2024</u>



### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo  No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	<b>info:eu-repo/semantics/openAccess</b> (Para documentos en acceso abierto)	(X)

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	<b>info:eu-repo/semantics/restrictedAccess</b> (Para documentos restringidos)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/embargoedAccess</b> (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	( )
	<b>info:eu-repo/semantics/closedAccess</b> (para documentos confidenciales)	( )

(\*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL  
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

---

Motivos de la elección del acceso restringido:

---

---

---

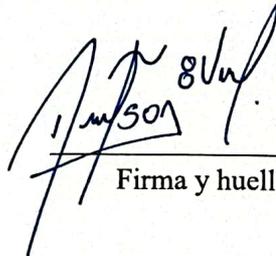
---

Valentin Timoteo Nelson

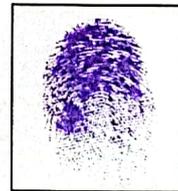
APELLIDOS Y NOMBRES

75457236

DNI



Firma y huella:



Lima, 01 de Julio del 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“LINEAMIENTO EN EL COMISIONAMIENTO DE RELÉS MS QUE OPERAN MEDIANTE EL CÁLCULO DE FLUJO RESIDUAL PARA MITIGAR LAS CORRIENTES DE ENERGIZACIÓN DE LOS AUTOTRANSFORMADORES DE POTENCIA EN SE AT-EAT”**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

VALENTIN TIMOTEO, NILSON  
ORCID: 0000-0002-7906-6760

**ASESOR**

PFUYO MUÑOZ, ROBERTO  
ORCID: 0000-0002-8823-413X

**Villa El Salvador**  
**2024**



**DECANATO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

En Villa El Salvador, siendo las 11:00 horas del día 21 de junio del año 2024 reunidos en instalaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur., los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

**PRESIDENTE:** Dr. Raúl Cesar Vilcahuaman Sanabria ORCID N° 0000-0002-2179-8336 Colegiatura N° 47809

**SECRETARIO:** Dr. Mario Bernabé Chauca Saavedra ORCID N° 0000-0002-8347-6543 Colegiatura N° 61215

**VOCAL** : Mg. Richard Flores Caceres ORCID N° 0000-0001-6773-3872 Colegiatura N° 185839

Nombrados por Resolución de Decanato N° 108-2023-UNTELS-R-D de fecha 15 de junio del 2024, quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación de Trabajo de Investigación, Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional e invitan al **ASESOR:** Dr. Roberto Pfuyo Muñoz DNI N° 23854398 y N° Colegiatura 46900 a estar presente en la Sustentación Presencial.

Acto seguido, el aspirante al: Grado de Bachiller  Título Profesional

Don(ña): **NILSON VALENTIN TIMOTEO** identificado(a) con D.N.I. N° 75457236, procedieron a la Sustentación de :

Trabajo de investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional

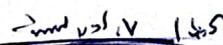
Titulado:

“Lineamiento en el comisionamiento de relés MS que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia en SE AT-EAT”

Autorizado mediante Resolución de Decanato N° 616-2023-UNTELS-R-D de fecha 04 de setiembre del 2023, de conformidad con las disposiciones del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales vigente, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador. Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, resultando el aspirante..... A. ROZADO ..... por..... UNIVERSIDAD ..... con la nota de: ..... 13 ..... De acuerdo al **Art. 57°** del Reglamento General para optar el Título Profesional.

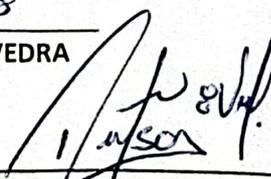
CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
<u>13</u>	<u>OUW E</u>	<u>A. ROZADO POR UNIVERSIDAD BUENA</u>	

Siendo las 12:00 horas del día 21 de junio del 2024, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación y con firma del sustentante en señal de conformidad; registrando en el Libro de Bachilleres/ Título Profesional en el folio N° ..... del **LIBRO DE ACTAS** que obra en la Facultad.

  
Dr. RAUL CESAR VILCAHUAMAN SANABRIA  
PRESIDENTE

  
Dr. MARIO BERNABÉ CHAUCA SAAVEDRA  
SECRETARIO

  
Mg. RICHARD FLORES CACERES  
VOCAL

  
NILSON VALENTIN TIMOTEO  
SUSTENTANTE

## **DEDICATORIA**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, que en todos los momentos difíciles siempre me guio y brindó de sabiduría, fortaleza para seguir adelante y no rendirme.

A mi querida madre Lucila Zenovia Timoteo Solorzano y padre Luis Valentin Alvarez, quiero expresar mi eterna gratitud por brindarme salud, educación y buenos valores en todo momento. Su continuo apoyo, aliento y sacrificio personal han sido esenciales para mí y para lograr este logro. Su confianza en mí y su amor incondicional me motivaron a seguir adelante incluso cuando las cosas tornaban difíciles.

A toda mi familia y seres queridos por su amor y apoyo incondicional. Sus palabras de aliento y apoyo me dieron fuerzas para perseverar y continuar en toda mi etapa universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a mi alma mater Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur y a los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica por la formación, experiencia y buenos consejos que brindaron. Sus conocimientos y orientaciones fueron fundamentales para la culminación de mi carrera profesional y de la presente tesis. Su dedicación y pasión por la enseñanza ha sido una inspiración para mí y ha enriquecido mi aprendizaje de manera invaluable.

## RESUMEN

La finalidad de esta investigación es brindar un lineamiento en la elaboración de estudios eléctricos, ingeniería, planeación del proyecto, montaje y ejecución de pruebas FAT y SAT en el comisionamiento de los 03 relés de mando sincronizado de la marca Vizimax que son operados mediante el cálculo de flujo residual para mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia en subestaciones eléctricas de alta y extra tensión.

La aplicación de los estándares de la ejecución de proyectos y los resultados obtenidos en el comisionamiento para la investigación fueron considerados; cuyos resultados, con base en la metodología propuesta, fueron comparados con los valores esperados, normas internacionales y requerimientos de la fábrica Vizimax para mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de la SE San José 500 kV.

La descripción y el análisis en la implementación de un lineamiento en el comisionamiento de los relés de mando sincronizado, así como los cálculos de los valores de corrientes de energización con y sin relés de mando sincronizado, los valores de tiempos de apertura y cierre de los interruptores, los valores RDDS, el flujo residual y la curva de saturación del autotransformador, son respaldados por los resultados obtenidos, los cuales están en consonancia con los objetivos planteados.

Estos valores han sido recopilados durante el comisionamiento de los relés para la energización dos autotransformadores de potencia de 500/220/33 kV de 360/480/600 MVA conexión YNa0d1 con refrigeración ONAN/ONAF1/ONAF2.

Finalmente, se concluyó que el análisis efectuado demuestra que la mitigación satisfactoria de las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia de la SE San José 500 kV es lograda mediante la implementación de un lineamiento en el comisionamiento de relés de mando sincronizado que operan mediante el cálculo de flujo residual.

**Palabras claves:** Relé de mando sincronizado, flujo residual, corriente de energización, subestaciones de potencia, autotransformadores, proyectos electromecánicos.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to provide guidance in the development of electrical studies, engineering, project planning, assembly, and the execution of FAT and SAT tests in the commissioning of the three synchronized control relays from the Vizimax brand. These relays operate through residual flux calculation to mitigate energization currents in high and extra-high voltage electrical substations.

The application of project execution standards and the results obtained in the commissioning for the research were taken into account. These results, based on the proposed methodology, were compared with expected values, international standards, and Vizimax factory requirements to mitigate energization currents in the autotransformers of the 500 kV San José Substation.

The description and analysis in the implementation of a guideline in the commissioning of synchronized control relays, as well as the calculations of energization current values with and without synchronized control relays, opening and closing times of switches, RDDS values, residual flux, and autotransformer saturation curve, are supported by the obtained results, which are in line with the set objectives.

These values have been collected during the commissioning of the relays for the energization of two 500/220/33 kV power autotransformers with ratings of 360/480/600 MVA, YNa0d1 connection with ONAN/ONAF1/ONAF2 cooling.

In conclusion, it was determined that the conducted analysis demonstrates that the successful mitigation of energization currents in the power autotransformers of the 500 kV San José Substation is achieved through the implementation of a guideline in the commissioning of synchronized control relays operating through residual flux calculation.

**Keywords:** Synchronized control relay, residual flux, energization current, power substations, autotransformers, electromechanical projects.

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

### LISTA DE ABREVIATURAS

AIS	:	<b>Air Insulated Substation</b>
AC	:	<b>Actual Cost</b>
ATR	:	<b>Autotransformador</b>
ATP	:	<b>Alternative Transients Program</b>
CPI	:	<b>Cost Performance Index</b>
COES SINAC	:	<b>Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional</b>
CSD	:	<b>Controlled Switching Device</b>
EV	:	<b>Earned Value</b>
FAT	:	<b>Factory Acceptance Tests</b>
IEC	:	<b>International Electrotechnical Commission</b>
IPO	:	<b>Operación de Polo Independiente</b>
IED	:	<b>Intelligent Electronic Devices</b>
MCB	:	<b>Miniature Circuit Breaker</b>
MS	:	<b>Mando Sincronizado</b>
ONAF	:	<b>Oil Natural and Air Forced</b>
ONAN	:	<b>Oil Natural and Air Natural</b>
OS	:	<b>Orden de Servicio</b>
EPP	:	<b>Equipo de Protección Personal</b>
PV	:	<b>Planned Value</b>
REE	:	<b>Red Eléctricas de España</b>
RDDS	:	<b>Rate of Decrease in Dielectric Strength</b>
RMC	:	<b>Relé de Maniobra Controlada</b>
SAT	:	<b>Site Acceptance Tests</b>
SCADA	:	<b>Supervisory Control and Data Acquisition</b>
SE AT-EAT	:	<b>Subestaciones de Alta Tensión y Extra Alta Tensión</b>
SEP	:	<b>Sistema Eléctrico de Potencia</b>
SEIN	:	<b>Sistema Eléctrico Interconectado Nacional</b>
SPI	:	<b>Schedule Performance Index</b>
TTR	:	<b>Tensión Transitoria de Restablecimiento</b>
RTS	:	<b>Mixed Technology Switchgear</b>

AIS	:	Air Insulated Substation
AC	:	Actual Cost
ATR	:	Autotransformador
ATP	:	Alternative Transients Program
CPI	:	Cost Performance Index

### LISTA DE SIMBOLOS

ms	:	Milisegundo
V	:	Voltio
kV	:	Kilo Voltio
MVA	:	Mega Volt-Ampere
p.u.	:	Por unidad
Y	:	Conexión estrella
$\Delta$	:	Conexión delta
$\Phi_r$	:	Flujo residual
SF <sub>6</sub>	:	hexafluoruro de azufre
$I_{mag}$	:	Corriente inrush
$I_r$	:	Corriente nominal de servicio
Apico	:	Corriente pico
c.c.	:	Corriente continua
$\Phi_{nom}$	:	flujo nominal
$\Phi_{sat}$	:	flujo de saturación
$S_{3F}$	:	Potencia devanado terciario
Vdc	:	Voltios corrientes continua
$U_r$	:	Tensión nominal

## INDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	II
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	III
<b>RESUMEN</b> .....	IV
<b>ABSTRACT</b> .....	V
<b>LISTA DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS</b> .....	VI
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	X
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	XII
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
<b>1.1 Descripción del problema</b> .....	1
<b>1.2 Formulación del problema</b> .....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos .....	3
<b>1.3 Objetivos de la investigación</b> .....	4
1.3.1 Objetivo general .....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
<b>1.4 Delimitación de la investigación</b> .....	5
1.4.1 Delimitación teórica .....	5
1.4.2 Delimitación espacial .....	5
1.4.3 Delimitación temporal.....	5
<b>1.5 Justificación del problema</b> .....	5
1.5.1 Teórica.....	5
1.5.2 Legal.....	5
1.5.3 Económica.....	6
1.5.4 Social.....	6
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Antecedentes de la investigación .....	7
2.2.1 Antecedentes internacionales .....	7
2.2.2 Antecedentes nacionales .....	10
2.2 Bases teóricas .....	13
2.3 Marco conceptual .....	28
<b>CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS</b> .....	31
3.1. Definición operacional de las variables.....	31
3.2. Hipótesis de la investigación.....	32
3.2.1. Hipótesis general .....	32

3.2.2.	Hipótesis específicas .....	32
3.3.	Indicadores de evaluación de resultados .....	32
<b>CAPÍTULO IV METODOLOGÍA.....</b>		<b>34</b>
4.1.	Diseño de la investigación.....	34
4.2.	Descripción de la metodología.....	35
4.2.1.	Implementación del tema de investigación .....	35
4.3.	Población y muestra .....	101
4.4.	Técnicas de recolección de datos .....	103
4.5.	Instrumentos de recolección de datos.....	103
4.5.1	Validez .....	104
4.5.2	Confiabilidad.....	104
<b>CAPÍTULO V RESULTADOS.....</b>		<b>105</b>
<b>CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>114</b>
<b>CAPÍTULO VII CONCLUSIONES.....</b>		<b>116</b>
<b>CAPÍTULO VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>119</b>
<b>ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA .....</b>		<b>122</b>
<b>ANEXO 2 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>		<b>124</b>
<b>ANEXO 3 FICHA TÉCNICA DE MALETA DE PRUEBAS CMC-356 MARCA OMICRON</b> .....		<b>169</b>
<b>ANEXO 4 CRONOGRAMA DE PROYECTO .....</b>		<b>172</b>
<b>ANEXO 5 FORMATO DE VALORIZACIÓN .....</b>		<b>177</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Aplicaciones del EMS.....	24
<b>Tabla 2</b>	Tiempo de operación del interruptor .....	25
<b>Tabla 3</b>	Requerimientos técnicos .....	26
<b>Tabla 4</b>	Valores de RDDS .....	26
<b>Tabla 5</b>	Límites de corriente recomendados aplicables a la carga más allá del valor nominal de la placa de identificación.....	27
<b>Tabla 6</b>	Explicación funcional de las variables .....	31
<b>Tabla 7</b>	Tiempo de operación del interruptor .....	33
<b>Tabla 8</b>	Requerimientos técnicos .....	33
<b>Tabla 9</b>	Límites de corriente recomendados aplicables a la carga más allá del valor nominal de la placa de identificación.....	33
<b>Tabla 10.</b>	Diseño de investigación .....	34
<b>Tabla 11</b>	Características generales de los autotransformadores SE San José 550kV .....	39
<b>Tabla 12</b>	Impedancias equivalentes año 2022 – Generación Estiaje – Demanda Mínima .....	39
<b>Tabla 13</b>	Característica de saturación corriente – tensión autotransformador San José.....	40
<b>Tabla 14</b>	Flujo residual, autotransformador ATR-001 San José sin mando sincronizado .....	42
<b>Tabla 15</b>	Casos de energización del autotransformador ATR-001.....	43
<b>Tabla 16</b>	Máximas corrientes de Inrush .....	44
<b>Tabla 17</b>	Máximas corrientes de Inrush con mando sincronizado .....	51
<b>Tabla 18</b>	Nomenclaturas de componentes del diagrama unifilar de la SE San José 500kV .....	57
<b>Tabla 19</b>	Características del tablero de mando sincronizado .....	58
<b>Tabla 20</b>	Elementos generales del plano funcional de mando sincronizado .....	59
<b>Tabla 21</b>	Condiciones de operación del mando sincronizado .....	61
<b>Tabla 22</b>	Características de cables.....	61
<b>Tabla 23</b>	Materiales para el montaje del tablero de mando sincronizado .....	62
<b>Tabla 24</b>	Matriz de comunicaciones.....	65
<b>Tabla 25</b>	Inspección visual y física de tablero de mando sincronizado.....	74
<b>Tabla 26</b>	Control de proceso de tablero de mando sincronizado.....	76
<b>Tabla 27</b>	Entradas binarias de relés de mando sincronizado .....	78
<b>Tabla 28</b>	Tiempos de operación de apertura y cierre al INT-5971.....	85
<b>Tabla 29</b>	Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-001 mediante el INT-5971 .....	87
<b>Tabla 30</b>	Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-001 mediante el INT-5971.....	87
<b>Tabla 31</b>	Tiempos de operación de apertura y cierre al INT-5972.....	90
<b>Tabla 32</b>	Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-002 mediante el INT-5972 .....	92
<b>Tabla 33</b>	Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-002 mediante el INT-5972.....	92
<b>Tabla 34</b>	Tiempos de operación de apertura y cierre al INT-5952.....	94
<b>Tabla 35</b>	Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-001 mediante el INT-5952 .....	97
<b>Tabla 36</b>	Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-001 mediante el INT-5972.....	97
<b>Tabla 37</b>	Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-002 mediante el INT-5952 .....	99

<b>Tabla 38</b> Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-002 mediante el INT-5952.....	99
<b>Tabla 39</b> Muestra de estudio de interruptores .....	102
<b>Tabla 40</b> Muestra de estudio de relés de mando sincronizado .....	102
<b>Tabla 41</b> Resumen de los resultados del comisionamiento de los 03 relés Synchroteq Plus .....	108
<b>Tabla 42</b> Resumen de valores de corriente de energización sin/con relé de mando sincronizado	109
<b>Tabla 43</b> Resumen de tiempos de operación de apertura y cierre de los INT-5971, INT-5972 e INT-5952.....	110
<b>Tabla 44</b> Resumen de valores RDDS (p.u.) de los INT-5971, INT-5972 e INT-5952 .....	111
<b>Tabla 45</b> Matriz de consistencia.....	122

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Interruptor de potencia de tanque muerto .....	16
<b>Figura 2</b> Interruptor de potencia tanque vivo .....	17
<b>Figura 3</b> Transformador de potencia de transmisión.....	19
<b>Figura 4</b> Onda tensión corriente magnetizante.....	21
<b>Figura 5</b> Fenómeno de energización de transformadores de potencia .....	22
<b>Figura 6</b> Curva de magnetización .....	23
<b>Figura 7</b> Secuencia de energización para un transformador trifásico, tipo núcleo con el devanado primario conectado en estrella puesta a tierra .....	23
<b>Figura 8</b> Diagrama unifilar de la SE San José 500kV.....	36
<b>Figura 9</b> Configuración de implementación de mando sincronizado Vizimax .....	37
<b>Figura 10</b> Diagrama unifilar del área de influencia del proyecto.....	38
<b>Figura 11</b> Curva de histéresis del autotransformador San José (ATR-001).....	41
<b>Figura 12</b> Curva de histéresis del autotransformador San José (ATR-002).....	41
<b>Figura 13</b> Caso 1. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	45
<b>Figura 14</b> Caso 2. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	45
<b>Figura 15</b> Caso 3. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	46
<b>Figura 16</b> Caso 4. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	46
<b>Figura 17</b> Caso 5. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	47
<b>Figura 18</b> Caso 6. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	47
<b>Figura 19</b> Caso 7. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	48
<b>Figura 20</b> Caso 8. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	48
<b>Figura 21</b> Flujo remanente del autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	49
<b>Figura 22</b> Flujo prospectivo en autotransformador ATR-001 de San José 500kV .....	50
<b>Figura 23</b> Flujo remanente en autotransformador ATR-001 de San José 500kV .....	50
<b>Figura 24</b> Tiempos de cierre para mando sincronizado .....	51
<b>Figura 25</b> Caso 1. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	52
<b>Figura 26</b> Caso 2. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	53
<b>Figura 27</b> Caso 3. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	53
<b>Figura 28</b> Caso 4. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	54
<b>Figura 29</b> Caso 5. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	54

<b>Figura 30</b> Caso 6. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	55
<b>Figura 31</b> Caso 7. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	55
<b>Figura 32</b> Caso 8. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV .....	56
<b>Figura 33</b> Tablero Rittal para relés de mando sincronizado.....	58
<b>Figura 34</b> Esquema lógico del mando sincronizado.....	60
<b>Figura 35</b> Presupuesto cero del proyecto .....	64
<b>Figura 36</b> Organigrama de proyecto .....	66
<b>Figura 37</b> SynchroTeq Plus Unit STP 030000.....	68
<b>Figura 38</b> Conexión externa del SynchroTeq Plus Unit STP 030000.....	68
<b>Figura 39</b> Diagrama unifilar de los relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000.....	69
<b>Figura 40</b> Instalación de 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000 .....	70
<b>Figura 41</b> Cableado interno de 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000 .....	71
<b>Figura 42</b> Peinado y marquillado de cables internos de los 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000.....	72
<b>Figura 43</b> Megado y amarillado de cables internos de los 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000.....	73
<b>Figura 44</b> Megado de cables externos de gabinetes de campo al tablero de mando sincronizado .	73
<b>Figura 45</b> Culminación de conexión interna, externa y pruebas SAT a los Relés .....	74
<b>Figura 46</b> Bushing sensors .....	79
<b>Figura 47</b> Instalación de bushing sensor a los ATR-001 y ATR-002 .....	80
<b>Figura 48</b> Retiro de cableado de relés ABB existentes en gabinetes de campo .....	81
<b>Figura 49</b> Desmontaje de relés ABB existentes en gabinetes de campo.....	82
<b>Figura 50</b> Sellado de espacios abiertos al desmontar los relés ABB.....	82
<b>Figura 51</b> Esquema ilustrativo para pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5971 .....	84
<b>Figura 52</b> Pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5971.....	84
<b>Figura 53</b> Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2101 que opera al interruptor INT-5971 para energizar el autotransformador ATR-001 .....	86
<b>Figura 54</b> Esquema ilustrativo para pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5972 .....	89
<b>Figura 55</b> Pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5972.....	89
<b>Figura 56</b> Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2103 que opera al interruptor INT-5972 para energizar el autotransformador ATR-002 .....	91
<b>Figura 57</b> Esquema ilustrativo para pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5952 .....	93
<b>Figura 58</b> Pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5952.....	94
<b>Figura 59</b> Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2102 que opera al interruptor INT-5952 para energizar el autotransformador ATR-001 por la barra B .....	96
<b>Figura 60</b> Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2102 que opera al interruptor INT-5952 para energizar el autotransformador ATR-002 por la barra A .....	98
<b>Figura 61</b> Configuración, verificación del funcionamiento y operación de relé SynchroTeq Plus a cargo del especialista VIZIMAX .....	100
<b>Figura 62</b> Maleta de pruebas CMC-356 de la MarcaOMICRON .....	104
<b>Figura 63</b> Medición de flujo residual de los autotransformadores mediante bushing sensor .....	112
<b>Figura 64</b> Curva de saturación del autotransformador en régimen estacionario .....	113

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada “Lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* (mando sincronizado) que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar la corriente de energización de autotransformadores de potencia en *SE AT-EAT* (alta tensión y extra alta tensión), cuyo problema principal es que al momento de realizar un comisionamiento o también llamado puesta en servicio, no se cuenta con un lineamiento estandarizado para realizar las configuraciones y pruebas *SAT* (pruebas de aceptación en sitio) a los relés de *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual en *SE AT-EAT*, el cual controlan a los interruptores de potencia para la energización de autotransformadores. Esto conlleva que, al momento de energizar los autotransformadores, generalmente crean corrientes de irrupción significativas que a su vez originan armónicos en las señales de voltaje y corriente, provocando sobrevoltajes armónicos que perjudican el funcionamiento adecuado de relés de protección de la línea de transmisión, degradan la calidad del suministro eléctricos por los fenómenos de resonancia y las bobinas de los autotransformadores se sometan a excesivos esfuerzos electrodinámicos que reducen su vida útil.

Es importante considerar un lineamiento para el comisionamiento a los relés de *MS*, debido a que en una *SE AT-EAT*, el autotransformador es uno de los elementos más importantes y al momento de su energización, los valores de la corriente de irrupción sobrepasan los valores de corriente nominal. Por lo que su óptima operación continua es de suma importancia para asegurar el funcionamiento estable del *SEIN* (Sistema eléctrico interconectado nacional).

Por esta razón, implementé un lineamiento que involucre los procesos de elaboración estudio eléctricos, ingeniería, planeación del proyecto, montaje, ejecución de pruebas FAT y SAT en el comisionamiento de los relés de *MS* para mitigar las corrientes de irrupción en la energización de los autotransformadores de potencia, establecer una relación entre los valores de corriente de energización con y sin relé de mando sincronizado obtenidos en el estudio eléctrico, obtener óptimos tiempos de apertura y cierre del interruptor, obtener valores aceptables de *RDDS* (tasa de disminución de rigidez dieléctrica), de esta manera se preservará la vida útil del autotransformador para obtener una operación estable en el *SEIN*.

El contenido de la tesis está constituido por el capítulo I donde se desarrolla el planteamiento del problema, capítulo II donde se presenta el marco teórico, capítulo III donde se desarrolla las variables e hipótesis, capítulo IV donde se desarrolla la metodología, en el capítulo V se desarrolla los resultados, en el capítulo VI se lleva a cabo la discusión de resultados, en el capítulo VII se desarrolla las conclusiones y finalizando con el capítulo VIII se despliega las referencias bibliográficas.

Esta tesis se sitúa en el ámbito que proporciona un lineamiento para un exitoso comisionamiento de relés de *MS*, el cual está basado en tecnología de microprocesadores que determinan las condiciones óptimas de los valores de corriente donde se debe realizar la maniobra de cada interruptor para la energización de los autotransformadores de potencia cuando la onda de tensión alcanza su valor máximo, con el objetivo de mitigar los fenómenos transitorios, la corriente de irrupción y el flujo de magnetización sean lo menor posible.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción del problema

Actualmente, las *SE AT-EAT* de los sistemas eléctricos interconectados a nivel mundial y nacional, tienen como equipos primarios a los bancos de autotransformadores monofásicos por cada fase con reserva y autotransformadores trifásicos de potencia que superan los 500 MVA. Al realizar maniobras a los interruptores para la energización de los autotransformadores en subestaciones de potencia, generalmente originan fenómenos transitorios de corriente llamados corriente de energización, inserción, inrush, irrupción, corriente de choque y sobrecorriente de magnetización que superan la corriente nominal. Esto no solo es perjudicial para el equipo, sino que desestabiliza y genera perturbaciones al sistema eléctrico interconectado, afectando a las centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones adjuntas y al usuario final.

La corriente de energización es causada por la saturación de la reactancia magnetizante del núcleo de hierro del autotransformador de potencia. La presencia de un flujo de magnetización residual, creado por una desenergización anterior del autotransformador, puede aumentar o disminuir la intensidad de las corrientes de irrupción de magnetización.

Por otro lado, los núcleos de los autotransformadores están fabricados de material magnético, el cual, al momento de la desenergización del autotransformador, permanece un flujo remanente que no es medido por los relés convencionales. Este flujo remanente puede empeorar la corriente de magnetización transitoria al energizar el autotransformador. El bajo nivel de la meseta de saturación en los autotransformadores, que se refiere a valores por debajo de 1 p.u., hace teóricamente imposible la eliminación total de la corriente de energización. Esta meseta de baja saturación hace que la mitigación de las corrientes de irrupción utilizando relés convencionales, que operan bajo la estrategia de cierre de voltaje máximo y que no tienen en cuenta la medición del flujo residual, sea completamente inútil en la mitigación de las corrientes de energización.

Otro problema relevante son los valores del **RDDS** (kV/ms o por unidad), que se refiere a una pendiente por la cual el aislamiento disminuye en las cámaras del interruptor a medida que los polos se acercan durante un cierre. Los valores bajos de **RDDS** tienden a amplificar el impacto de desviaciones muy pequeñas en el tiempo de operación del interruptor.

Por otro lado, un problema que surge en los interruptores de potencia es la poca precisión de los contactos auxiliares 52a, lo cual influye en que los valores de **RDDS** sean menos deterministas y, por lo tanto, menos precisos. En la planificación para realizar el comisionamiento, no se tiene en cuenta que los interruptores de la subestación deben ser de operación monopolar con una dispersión de +/- 1 ms y que el autotransformador de potencia debe ser energizado sin carga para realizar las pruebas, garantizando así que el equipo de **MS** con cálculo de flujo residual asegure la obtención de una corriente de energización menor al 10% de la corriente nominal.

Cada maniobra de energización es un evento estadístico que dependerá de los tiempos reales de operación de cada interruptor y de la magnitud del flujo remanente del autotransformador. Por lo tanto, se obtienen magnitudes diferentes en cada fase y en cada energización. Los interruptores de cada fase deben realizar una maniobra controlada, muy cerca de los tiempos ideales de cierre, pero no exactamente en los tiempos que se simulan en los estudios eléctricos del sistema.

Otra dificultad que se presenta en un comisionamiento es que no se considera un lineamiento técnico y de gestión para realizar una puesta en servicio a los relés de **M.S** cuando una **SE AT-EAT** está en operación o funcionamiento. Esto se debe a que al realizar una desenergización de los autotransformadores, se quedará inoperativa la actividad del usuario, lo cual involucra pérdidas económicas. Es necesario declarar al **COES SINAC** (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional) las horas o días en los cuales los autotransformadores estarán inoperativos para destinar la carga correspondiente con otras **SE** próximas. Se debe tener en consideración que al ser una **SE** en operación, las labores que se realizarán en las instalaciones se regirán por los procedimientos y estándares del cliente, lo cual influye en el tiempo y costo del proyecto para el comisionamiento.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema general

¿De qué manera influye implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en *SE AT-EAT*?

### 1.2.2 Problemas específicos

1. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mitigar valores de corriente de energización?
2. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a calcular los tiempos de apertura y cierre?
3. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a determinar los valores de *RDDS*?
4. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual favorece a mitigar el flujo residual?
5. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mejorar la curva de saturación?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 Objetivo general

Implementar un lineamiento en el comisionamiento de los relés de *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia en *SE AT-EAT*.

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mitigar valores de corriente de energización.
2. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a calcular los tiempos de apertura y cierre.
3. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a determinar los valores de *RDDS*.
4. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual favorece a mitigar el flujo residual.
5. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mejorar la curva de saturación.

## **1.4 Delimitación de la investigación**

### **1.4.1 Delimitación teórica**

Desde el enfoque teórico, abarca estrictamente el funcionamiento de los relés de mando sincronizado, que operan mediante el cálculo de flujo residual por medio de sensores de bushing instalados en los autotransformadores de potencia. Para ello, se identificó los beneficios que se generan al mitigar las corrientes de irrupción en la energización de los autotransformadores de potencia para el comisionamiento de operación de los relés de mando sincronizado del presente proyecto de investigación.

### **1.4.2 Delimitación espacial**

Desde el enfoque espacial, aplica para los autotransformadores de potencias superiores a 500 MVA en subestaciones de potencia y transmisión de alta y extra tensión del sistema eléctrico interconectado nacional del Perú.

### **1.4.3 Delimitación temporal**

Desde el enfoque temporal, se desarrolló del año 2022 hasta el año 2023 en la subestación San José de 500 kV, perteneciente a la minera Sociedad Minera Cerro Verde.

## **1.5 Justificación del problema**

### **1.5.1 Teórica**

Se justifica que, al implementar un lineamiento para el comisionamiento de relés de mando sincronizado, los cuales operan mediante el cálculo de flujo residual, con el fin de mitigar la corriente de energización de autotransformadores de potencia en subestaciones de alta y extra tensión, servirá como precedente y referencia para que se implementen en nuevas subestaciones o en las existentes con autotransformadores de potencia superiores a 500 MVA.

### **1.5.2 Legal**

Se justifica que, al mitigar las corrientes de irrupción, cumplió con los ensayos de perturbaciones eléctricas para relés de medida y equipos de protección detallados en el estándar (International Electrotechnical

Commission, 2013). Asimismo, se justifica que, para las pruebas al interruptor de potencia, consideré los requisitos para la simultaneidad de polos durante maniobras de cierre simple y apertura, tal como se detalla en el estándar (International Electrotechnical Commission, 2021). En las pruebas al transformador de potencia, consideré los límites de corriente recomendados aplicables a la carga más allá del valor nominal de la placa de identificación, según lo detallado en el estándar (International Electrotechnical Commission, 2018)

Consideré los lineamientos del (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, 2013) en el procedimiento N°20 publicado por el *COES* para el ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el *SEIN*. Se especifica que los interruptores de conexión de los autotransformadores de potencia de 500/220 kV deben estar equipados con un dispositivo de sincronización de maniobra en ambos devanados con el fin de disminuir la corriente de energización.

### **1.5.3 Económica**

Desde la perspectiva económica, se argumenta que la mitigación de las corrientes de energización prolonga la vida útil tanto del transformador como de los equipos ubicados en el patio de la subestación, así como de las líneas de transmisión y subestaciones interconectadas. Este enfoque se traduce en una disminución de los costos de mantenimiento y de las penalizaciones impuestas por el *COES*, al evitar posibles afectaciones a la estabilidad del sistema originadas por corrientes de energización elevadas.

### **1.5.4 Social**

Desde una perspectiva social, se respalda la reducción de las corrientes de energización con el propósito de asegurar una calidad energética eficiente para los usuarios finales. Además, se busca disminuir las interrupciones en el suministro de energía eléctrica para los usuarios finales, especialmente en los sectores industriales conectados a la red pública de las empresas distribuidoras de energía eléctrica en el Perú.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.2.1 Antecedentes internacionales

(Bejmert, Kereit, & Boehme, 2022), desarrolló el artículo titulado “Procedimientos de energización controlada de transformadores de potencia”. Cuyo objetivo fue proponer nuevos algoritmos para la energización controlada de transformadores. Además, presentaron procedimientos para la determinación instantánea de conmutación para cada fase del transformador, abarcando una amplia gama de posibles construcciones de transformadores de tres devanados que pueden ser grupos vectoriales y tipos de núcleo. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos mostraron con precisión las versiones finales de los algoritmos de conmutación de punto en onda. Las técnicas de conmutación de punto sobre onda propuestas para varios tipos de transformadores de potencia se han probado minuciosamente y se han seleccionado los resultados de estas pruebas. En relación al objetivo, concluyó en el estudio que una reducción significativa de la corriente de irrupción magnetizante es generada por todos los procedimientos propuestos, y los transformadores energizados comienzan a operar casi desde el estado estable justo después de la energización. Además, con el respaldo de los procedimientos de conmutación propuestos, el tiempo de retardo mínimo requerido de la activación de fases a fases restantes puede ser determinado.

(Taillefer, Poutrain, & Sanchez, 2018), desarrolló el artículo titulado “Mejora de los interruptores HVAC mediante conmutación controlada: 20 años de experiencia de Hydro-Quebec”, el cual tuvo como objetivo describir los fundamentos básicos para entender la corriente de irrupción en los transformadores para la medición del flujo residual, el cual será controlada por los *CSD* (Dispositivos de conmutación controlados). El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos demostraron que la corriente de irrupción máxima fue de 5.7 p.u. como resultado de la energización aleatoria del transformador. Esto fue reducido a un valor máximo de 0.2 p.u. con la implementación del *CSD*, el cual mejoró hasta 2.6 veces la corriente de energización. El estudio concluye que la energización de los transformadores de potencia utilizando *CSD* reduce de manera confiable sus corrientes de arranque en todo

momento. En aplicaciones de alto voltaje, la conmutación controlada de interruptores automáticos con *IPO* (Operación de polo independiente) mitiga las corrientes de entrada a órdenes de magnitud insignificantes, eliminando efectivamente las caídas de voltaje en el sistema de energía. Además, también se logra una mitigación de corriente de energización muy efectiva en aplicaciones de alta tensión y media tensión con *CSD* modernos capaces de controlar la energización del transformador con interruptores automáticos operados en grupo. Esta técnica requiere la medición de la corriente del transformador utilizando bushing sensors.

(Cano-González, Bachiller-Soler, Rosendo-Macías, & Álvarez-Cordero, 2017), desarrolló el artículo titulado “Estrategias de conmutación controlada para la reducción de la corriente de irrupción en transformadores: Un estudio comparativo”, el cual tuvo como objetivo presentar un nuevo método destinado a mitigar la corriente de irrupción en transformadores trifásicos con neutro aislado proponiendo dos operaciones de conmutación en instantes de tiempo que logran una mitigación óptima de la corriente de energización. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos muestran que la corriente de irrupción se puede eliminar mediante el control de la energización del transformador a través del método propuesto. Durante la desenergización, los flujos residuales se calcularon integrando los voltajes de fase correspondientes al calcular las tensiones de fase del transformador, dando,  $A\Phi_r=0.56$  p.u.,  $B\Phi_r= -0.22$  p.u. y  $C\Phi_r= -0.34$  p.u. Las dos fases con el flujo residual más alto son las fases A y C. La fase B se cierra cuando su flujo prospectivo es igual a su flujo residual  $B\Phi_r$ . El estudio concluye en relación al objetivo, que el método requiere disyuntores operados por polos independientes y medición de voltaje de fase a tierra para la determinación del flujo residual. Se requieren dos operaciones de conmutación: La primera, el cual energiza las fases con mayor flujo residual; la segunda operación, el cual energiza la tercera fase. Los instantes óptimos de conmutación se obtienen analíticamente: El primer instante estará ligado a la función de los flujos residuales y el segundo instante en un instante de tiempo posterior donde todos los flujos reales coinciden perfecta y simultáneamente con sus flujos respectivos, proporcionando así una mitigación óptima de la corriente de irrupción.

(Parikh & Bhalja, 2016), desarrolló el artículo titulado “Mitigación de la corriente de irrupción magnética durante la energización controlada de transformadores de potencia acoplados sin carga en presencia de flujo residual sin mediciones de tensión en el lado de carga”, el cual tuvo como objetivo presentar un enfoque aplicable para mitigar la irrupción magnética basada en picos de corriente inrush obtenidos durante la primera activación de transformadores de potencia en presencia de varios niveles y polaridad de flujo residual en fases individuales. El enfoque sugerido es capaz de estimar el flujo residual para fases individuales con un buen nivel de precisión sin utilizar la medición del voltaje del lado de la carga. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos muestran los valores de corriente de irrupción obtenidas para dos transformadores de potencia diferentes de 765/400/33 kV energizados desde el lado Y conectado a tierra de 765 kV con objetivos ideales que desprecian los flujos residuales. Al aplicar correcciones de 2 ms; 1 ms; 1 ms y 1 ms; 2 ms y 2 ms usando la metodología sugerida. El estudio concluye en relación al objetivo, que la técnica sugerida es muy efectiva cuando se aplica en autotransformadores de 765/400 kV con devanado terciario en  $\Delta$  de 33 kV conectado de diferentes fabricantes que tienen valores de irrupción magnética distintas, con esto las corrientes de irrupción para todas las fases se mitigaron con éxito cerca del valor sin carga del transformador de potencia.

(Oliveira, y otros, 2016), desarrolló el artículo titulado “Principales características de la corriente inrush en transformadores”, el cual tuvo como objetivo abordar las causas principales y proponer soluciones contemporáneas para mitigar el fenómeno de la corriente de irrupción. El nivel de investigación fue fundamental. Los resultados obtenidos permitieron definir y explicar los sistemas de control que se utilizan para la mitigación de corriente inrush, entre las cuales son: control del instante de conexión, control por carga capacitiva, control por circuitos de filtro. La investigación llega a la conclusión de que, con respecto al objetivo establecido, se han propuesto diversos métodos para mitigar la corriente de irrupción en los transformadores. Entre estos métodos se destacan el control del momento de energización, la utilización de líneas de transmisión como filtros pasa-bajos y la restricción de la segunda armónica. Es crucial evaluar la aplicación de cada una de estas metodologías según la prioridad, el tamaño y la ubicación específica del transformador.

(Gonzales, Soler, & Macías, 2015), desarrolló la tesis titulada “Aportaciones a la conexión controlada de transformadores de potencia. Doctoral dissertation”, el cual tuvo como primer objetivo, realizar un estudio de las diferentes técnicas de minimización de la corriente de energización de transformadores de potencia mediante el uso de *RMC* (Relé de maniobra controlada) y como segundo objetivo, modelar de forma correcta los elementos que intervienen en el sistema, principalmente al núcleo del transformador, algoritmo del *RMC* y al interruptor. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos identificaron posibles mejoras en las diversas componentes del sistema completo, lo que permite mitigar deficiencias antes de su implementación generalizada en el sistema eléctrico. En relación al primer objetivo, el estudio sobre los diversos relés existentes, junto con el análisis comparativo de los algoritmos y estrategias utilizadas, ha facilitado la proposición de mejoras en dichos algoritmos y estrategias. En cuanto al segundo objetivo, los modelos del transformador e interruptor desarrollados han sido validados mediante pruebas de campo realizadas durante la puesta en servicio por parte de REE (Red Eléctrica de España) en la subestación de Castresorer de Mallorca.

### **2.2.2 Antecedentes nacionales**

(Yauri Sencia, 2023), desarrolló la tesis titulada “Análisis de transitorios electromagnéticos por maniobra en energización de transformador de potencia de 220/138/22,9 kV mediante software ATP Draw (Alternative Transients Program)”, el cual tuvo como objetivo analizar los transitorios electromagnéticos generadas por maniobra en la energización del transformador de potencia de la subestación Belaunde Terry en 220/138/22,9 kV. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos mostraron la diferencia en realizar energización en autotransformadores con y sin relé de mando sincronizado. La corriente de energización sin considerar relé de mando sincronizado alcanza un valor de 203.6 A, el cual es el 54.85% de la corriente nominal pico 371.13 A pico y la corriente de energización considerando relé de mando sincronizado alcanza un valor de 0.8 Apico. El estudio concluye en relación al objetivo, presentar una evaluación y recopilar información acerca de las técnicas para disminuir las corrientes de Inrush durante la puesta en marcha de transformadores de potencia. Este proceso marca la evolución tecnológica al abandonar el enfoque convencional de mitigar las corrientes de Inrush mediante una resistencia de preinserción, en favor de la utilización de un dispositivo electrónico de control

sincronizado adaptado a interruptores de potencia. Este dispositivo permite realizar de manera eficiente y segura la energización de bancos de autotransformadoras monofásicas de potencia.

(Llactahuamán Hinostroza, 2022), desarrolló la tesis titulada “Determinación de ajustes en los relés de mano sincronizado aplicados a la disminución de la corriente de inserción en los transformadores de potencia”, el cual tuvo como objetivo proponer y desarrollar un procedimiento para la determinación de ajustes en los relés de mando sincronizado aplicado a la disminución de la corriente de inserción en los transformadores de potencia. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos constituyen a los ajustes para los relés, considerando los diferentes factores y las condiciones del área del sistema de potencia en donde se ubica el transformador. Con el fin de evaluar y comprobar lo propuesto; se realizaron simulaciones con el software de sistemas de potencia DigSILENT Power Factory en un sistema eléctrico de transmisión con presencia de un transformador de potencia, comprobando que el uso de los ajustes propuestos da como resultado una reducción de la corriente de inserción a valores despreciables. El estudio concluye en relación al objetivo presentar una propuesta de aporte para la correcta selección de ajustes en los equipos de maniobra sincronizada para su aplicación en nuevos proyectos y la verificación y actualización de los ajustes en los relés existentes.

(Campos Salazar, 2021), desarrolló la tesis titulada “Análisis de transitorios electromagnéticos ante la energización del transformador de potencia de 3.5 MVA en la Subestación Bolívar de la Compañía Minera Catalina Huanca”, el cual tuvo como objetivo analizar los transitorios electromagnéticos eléctricos ante la energización del transformador de potencia de 3,5 MVA en la Subestación Bolívar. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos en el análisis de transitorios electromagnéticos durante la energización del transformador de potencia de 3.5 MVA en la Subestación Bolívar de la Compañía Minera Catalina Huanca ha revelado una serie de resultados cruciales. Se observó una variedad de transitorios electromagnéticos, incluidos fenómenos como corrientes Inrush y sobretensiones, que fueron analizados en detalle. Los registros detallados de estos eventos permitieron identificar patrones y determinar las características específicas de los transitorios, brindando una comprensión más profunda de los fenómenos asociados con la

energización del transformador. El estudio concluye en relación al objetivo, que El lapso de tiempo necesario para disipar la corriente de energización simultánea de los transformadores en la Subestación Chilcayoc es inferior al tiempo requerido para energizar el segundo transformador después de que el primero ya esté conectado. Por lo tanto, la corriente de energización simultánea sería mayor si se energizan los transformadores de manera individual. Dado que solo se dispone de un interruptor, la energización se llevaría a cabo de manera simultánea, lo que resulta beneficioso para amortiguar la corriente de energización. Este mismo comportamiento se observa en la Subestación Bolívar con los dos transformadores.

(Cueva Quintanilla, 2019), desarrolló la tesis titulada “Diseño, montaje, pruebas y puesta en servicio en protección, control, automatización, telecomunicaciones y servicios auxiliares de la SE Orcotuna-Concepción”, el cual tuvo como objetivo presentar las principales características del proyecto “Subestación Orcotuna 220/60 kV”. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos al realizar la implementación de las recomendaciones propuestas en este estudio han arrojado resultados ejemplares en la subestación eléctrica Orcotuna-Concepción. Las pruebas realizadas durante la fase de puesta en servicio confirmaron la mejora sustancial en la protección, control y automatización de la infraestructura, reflejando un aumento significativo en la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta del sistema. El estudio concluye en relación al objetivo, que la investigación ha abordado de manera integral y detallada los aspectos cruciales relacionados con el diseño, montaje, pruebas y puesta en servicio en áreas clave de la subestación eléctrica Orcotuna-Concepción. A lo largo de este estudio, se ha destacado la importancia de una implementación efectiva en protección, control, automatización, telecomunicaciones y servicios auxiliares, reconociendo estos elementos como pilares esenciales para la operación segura y eficiente del sistema eléctrico.

(Oré Vásquez, 2015), desarrolló la tesis titulada “Reducción de la corriente de magnetización Inrush durante la energización de un transformador de potencia de 300 MVA mediante el uso de mando sincronizado”, el cual tuvo como objetivo explicar el principio de funcionamiento del sistema de mando sincronizado para la energización de transformadores de potencia. El nivel de investigación fue aplicativo. Los resultados obtenidos tras la aplicación del mando sincronizado para la energización de un

transformador de potencia de 300 MVA han sido notables en la reducción de la corriente de magnetización Inrush. Durante las pruebas y análisis, se observó una disminución significativa en los picos de corriente Inrush, indicando la efectividad del sistema de control sincronizado para mitigar este fenómeno transitorio. Este logro es crucial para mejorar la estabilidad del sistema eléctrico y reducir los impactos adversos asociados con las corrientes Inrush durante la puesta en servicio del transformador. El estudio concluye en relación al objetivo, que la implementación del mando sincronizado en la energización de un transformador de potencia de 300 MVA ha demostrado ser una estrategia eficaz para reducir la corriente de magnetización Inrush. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad y eficiencia de esta técnica, destacando su potencial para mitigar los efectos perjudiciales de las corrientes transitorias en la red eléctrica.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Subestación eléctrica de potencia**

(Ramírez González, 2021) proporciona la definición de una subestación eléctrica como la manifestación física de un nodo en un sistema eléctrico de potencia. En este espacio, la energía se transforma a niveles de tensión apropiados para su transporte, distribución o consumo, cumpliendo con requisitos específicos de calidad. La subestación está compuesta por un conjunto de equipos diseñados para supervisar el flujo de energía y asegurar la seguridad del sistema mediante dispositivos automáticos de protección.

Respecto a los tipos de subestaciones por su función, Ramirez afirma que fundamentalmente se distinguen en tres categorías:

- Subestaciones de generación
- Subestaciones de maniobra
- Subestaciones de transformación

Según el mismo autor, la subestación de generación funciona como el punto de conexión al sistema eléctrico de una central generadora. En cuanto a la subestación de maniobra, esta se emplea para interconectar sistemas o, dentro de un sistema, distribuir la energía a subestaciones de transformación. Por último, la subestación de transformación tiene como objetivo principal suministrar energía a un sistema con un nivel de tensión diferente.

Respecto a los tipos de subestaciones que se presentan por su diseño tecnológico, Ramirez afirma que fundamentalmente se distinguen tres tipos de subestaciones:

- AIS (Air Insulated Switchgear)
- GIS (Gas Insulated Switchgear)
- MTS (Mixed Technology Switchgear)

El mismo autor señala que la subestación **AIS** está conformada por un patio de conexiones donde los campos de conexión son instalados completamente por aire. La subestación **GIS** está conformada por un patio de conexiones donde los campos de conexión son instalados comúnmente por gases como el SF<sub>6</sub>. La subestación **MTS** está conformada por un patio de conexiones donde los campos de conexión son instalados por componentes aislados por aire y por gases como el SF<sub>6</sub>.

Respecto a los equipos de patio que conforman una subestación de potencia, Ramirez afirma que los equipos se dividen por las siguientes características:

- Equipos de alta tensión
- Equipos de transformación y compensación
- Equipos de media tensión

El autor menciona los siguientes equipos de alta tensión que comúnmente están instalados en el patio de la subestación:

- Interruptores automáticos
- Seccionadores
- Seccionadores de puesta a tierra
- Transformadores de corriente
- Transformadores de tensión
- Pararrayos para los sistemas
- Aisladores
- Material de conexión

El autor menciona los siguientes equipos de transformación y compensación que comúnmente están instalados en el patio de la subestación:

- Autotransformadores y transformadores
- Reactores de línea
- Reactores de terciario
- Reactores de neutro

- Batería de condensadores
- Compensación serie
- Sistema de compensación estática
- Transformador ZigZag de puesta a tierra.

El autor menciona los siguientes equipos de media tensión de tensiones entre 72.5 kV y 1 000 V que comúnmente están instalados en el patio de la subestación:

- Celdas
- Interruptores automáticos
- Seccionador de puesta a tierra
- Transformadores de corriente
- Transformadores de tensión
- Pararrayos para el sistema
- Aisladores de soporte para el sistema
- Cables y terminales de media tensión

### 2.2.2 Interruptores de potencia

Según la definición de (Trashorras Montecelos, 2015), los interruptores son dispositivos mecánicos de interrupción con la capacidad de conducir, interrumpir y establecer corrientes en condiciones normales y anormales. Su función fundamental es conectar o desconectar líneas de transmisión, transformadores, reactores o barras de un sistema o circuito energizado. Durante la interrupción en caso de una falla, se deben considerar las siguientes definiciones:

- **Arco eléctrico:** Corriente que se forma entre los contactos del interruptor después de su separación, causada por la diferencia de tensión que ioniza el aire.
- **Tensión de arco:** La tensión que se desarrolla entre los contactos durante el período de extinción del arco.
- **Tensión transitoria de restablecimiento o recuperación (TTR):** La tensión transitoria que surge entre los contactos del interruptor después de la interrupción del arco.

Respecto a los tipos principales del interruptor de potencia en base de diferentes criterios, Ramirez afirma que fundamentalmente se distinguen tres tipos de interruptores:

- **Interruptores según el sitio de instalación:** Se pueden emplear interruptores en entornos interiores o exteriores, abarcando niveles de tensión que van desde 4.6 kV hasta 34.5 kV.
- **Interruptores según el diseño externo:** Desde la perspectiva de la estructura física, los interruptores pueden clasificarse como interruptores de tanque vivo o tanque muerto.
  - **Interruptore de tanque muerto:** Consisten en un tanque con potencial de tierra que alberga el medio de interrupción. A través de la tapa del tanque, se colocan aisladores o bujes de porcelana para conectarlo al circuito de alta tensión.

**Figura 1**

*Interruptor de potencia de tanque muerto*



Nota. Disyuntor de tanque muerto de 72,5 kV | Hitachi Energy

- **Interruptore de tanque vivo:** El dispositivo de interrupción se encuentra en tanques de diámetro reducido conocidos como polos, los cuales están posicionados sobre soportes aislantes. Estos polos se conectan directamente al circuito de alta tensión, estando así a un potencial superior al de la tierra.

## Figura 2

### *Interruptor de potencia tanque vivo*



Nota. GL317 / GL317X Live tank circuit breaker up to 550 kV (gegridsolutions.com)

- **Interruptores según el medio de interrupción:** Desde la perspectiva del diseño para la selección del medio de interrupción, los interruptores pueden clasificarse como interruptores de aceite, interruptores de aire comprimido e interruptores de hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).
  - **Interruptores de aceite:** Cuando se produce un arco eléctrico, el aceite en contacto se vaporiza rápidamente, formando una burbuja de gas compuesta principalmente por hidrógeno. Este gas actúa como un eficiente medio de extinción y refrigerante debido a su baja constante de tiempo de desionización, lo que crea condiciones favorables para extinguir el arco.
  - **Interruptores de aire comprimido:** Operan en un rango de 72.5 kV a 800 kV, y la extinción del arco se logra mediante un chorro de aire comprimido que elimina el aire ionizado del arco.

### 2.2.3 Autotransformadores de potencia

(Torresi, 2021) define que son equipos estáticos con dos o más devanados que por inducción electromagnética transforma un sistema de tensión alterna en otro sistema de valor diferente y de la misma frecuencia para transmitir potencia eléctrica.

La función principal de los autotransformadores en un sistema es convertir la tensión de suministro (primaria) en niveles superiores o inferiores (tensión secundaria), ya sea para su transmisión o para su uso.

El autor menciona los siguientes tipos constructivos de autotransformadores:

- **Autotransformador tipo núcleo o columna:** Cuando el circuito magnético tiene forma de un anillo simple rodeado por los grupos de devanados primarios y secundarios distribuidos alrededor de la periferia del anillo, es decir el circuito magnético está rodeado por los devanados.
- **Autotransformador tipo acorazado:** Cuando los devanados primarios y secundarios tienen la forma de un anillo común que es rodeado por dos o más anillos de material magnético.

Los autotransformadores de potencia para **AT** se pueden construir como unidades trifásicas o con unidades monofásicas para conformar bancos trifásicos. Entre los principales factores a considerar en la elección de tipo encuentran los siguientes:

- Limitaciones de transporte, peso y dimensiones máximas.
- Confiabilidad, en la necesidad de unidades de reserva, ya que la ventaja del banco de unidades monofásicas es el costo relativamente bajo de disponer de una cuarta unidad como reserva estratégica.
- Valoración de pérdidas, en los transformadores trifásicos, se implementan acoplamientos magnéticos entre fases para reducir las pérdidas en el hierro. Sin embargo, en los bancos monofásicos, a menudo es más económico organizar arreglos con unidades de reserva que adquirir una unidad trifásica.

### **Figura 3**

#### *Transformador de potencia de transmisión*



Nota. Transformer Substation – Learn About Its Different Types - Asian Business Daily - The Best Way to Advertise

#### **2.2.4 Curva de saturación**

(Lobo, 2014) define que la curva de saturación del transformador se representa mediante un gráfico que se obtiene al aplicar tensiones en un rango típico de 90% a 110% con pasos de 5%, para obtener valores de corriente de excitación que circula en el transformador para una determinada tensión, una vez obtenido el valor eficaz de estos valores, se puede trazar la curva de saturación.

#### **2.2.5 Corriente de energización**

(Oliveira, y otros, 2016) lo describe como una corriente transitoria caracterizada por picos transitorios cuya amplitud puede alcanzar valores significativamente elevados, llegando a ser de 10-20 veces el valor de pico de la corriente nominal del transformador. Esta corriente transitoria perdura durante varios ciclos y presenta un amplio espectro de componentes armónicos, siendo la 2da armónica la más predominante. Este fenómeno conlleva riesgos para la vida útil del transformador, resultando en la operación incorrecta de los sistemas de protección asociados al transformador, como fusibles y relés de sobrecorriente, lo que afecta la calidad y confiabilidad de la energía entregada al consumidor. Algunos de los efectos asociados incluyen:

- Calentamiento excesivo en los bobinados, lo que puede provocar daños en el aislamiento.

- Generación excesiva de tensiones mecánicas debido a las fuerzas magnéticas inducidas.
- Ocurrencia de huecos temporales en la tensión en el Sistema Eléctrico de Potencia (*SEP*).
- Interferencias radioeléctricas con líneas de comunicación cercanas.
- Sobretensiones debidas a fenómenos de resonancia armónica en sistemas con filtros eléctricos.

### **2.2.6 Flujo residual**

(Ma, Li, Quan, & Jiang, 2010) define que el sensor del bushing es un divisor de tensión capacitivo, el cual se instala en la toma de prueba del buje del transformador de potencia para medir el voltaje en el devanado del transformador y enviar las señales al relé de mando sincronizado.

### **2.2.7 Bushing sensor**

(Tudela, Aponte, Muñoz, & Cárdenas, 2010) define que el flujo residual o también llamado inducción residual en un material magnético, es el valor de la densidad de flujo correspondiente a la intensidad magnética cero, cuando el material es simétrica y cíclicamente magnetizado. El valor del flujo residual va depender del instante en que se abran los polos del interruptor y corten la corriente de magnetización.

### **2.2.8 RDDS**

(Martinez Vega, 2013) define que la tasa de disminución de la rigidez dieléctrica (*RDDS*) es una de las características importantes del interruptor automático para aplicar la tecnología de cierre controlado. Esta característica se ve afectada por la rugosidad de los contactos y el consumo del interruptor automático causado por las interrupciones de la corriente nominal o de cortocircuito. También el número de interrupciones del interruptor automático influye en la característica *RDDS*.

### **2.2.9 Relés de mando sincronizado**

(Rioual, Digard, Legrand, & Martin, 2011) define que es un dispositivo basado en tecnología de microprocesadores, programado para determinar, según el equipo que debe ser maniobrado las condiciones óptimas de los valores instantáneos de corriente o tensión bajo los cuales se debe realizar la maniobra, de modo que permita minimizar el fenómeno transitorio y su efecto sobre la red. Las funciones principales del *EMS* son:

- Manejar la tensión o corriente del sistema asociado al interruptor que será maniobrado.
- Retrasar la ejecución de la orden de maniobra dada por el operador hasta el momento en el que se presenten condiciones óptimas de operación, asegurando así que los transitorios sean mínimos.

Las aplicaciones principales del *EMS* son para operaciones de cierre y apertura para las siguientes operaciones:

- Energización de bancos de condensadores
- Energización de transformadores de potencia
- Apertura de transformadores
- Apertura de reactores
- Energización de líneas

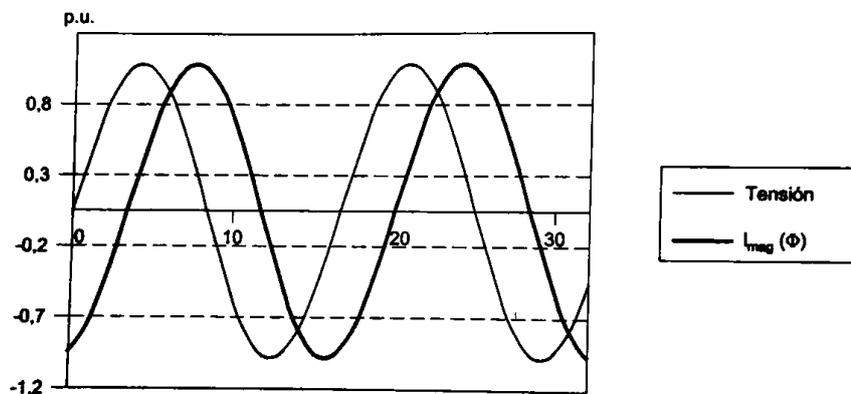
### 2.2.9.1 Energización de transformadores de potencia

(Ramírez González, 2021) menciona que los transformadores de potencia se energizan en general en vacío, lo que origina la circulación de una inrush ( $I_{mag}$ ) de gran magnitud, según el valor instantáneo de la tensión en el momento de la energización.

Debido a la naturaleza inductiva del circuito, la corriente inrush  $I_{mag}$  se encuentra desfasada  $90^\circ$  con respecto a la tensión. Según este principio, un valor máximo de tensión se asocia con un valor mínimo de la  $I_{mag}$ , y viceversa, como en la figura 4.

**Figura 4**

*Onda tensión corriente magnetizante*



Nota. Subestaciones de alta y extra alta tensión. Guía práctica de diseño.

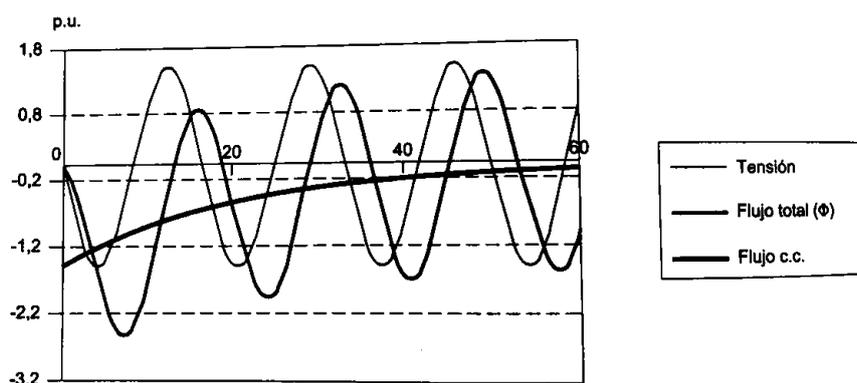
Tercera Edición.

También es relevante considerar que la corriente inrush  $I_{mag}$  se encuentra en fase con el flujo magnético ( $\Phi$ ) generado en el núcleo del transformador. Cuando se energiza el transformador en vacío y la onda de tensión cruza por cero, el flujo instantáneo correspondiente alcanza su valor pico. Suponiendo que no hay flujo remanente en el núcleo y reconociendo que el flujo no puede cambiar instantáneamente de cero al valor pico, se manifiesta una componente de flujo exponencial decreciente con un valor inicial igual, pero de sentido contrario al valor pico de la componente sinusoidal del flujo. Esto se realiza para que el valor inicial total del flujo sea cero.

El flujo total, que es la suma de la componente sinusoidal y la componente transitoria (flujo c.c.), puede presentar valores pico en los primeros ciclos que podrían saturar el núcleo, lo que resulta en valores significativamente altos de corriente inrush  $I_{mag}$ , como se ilustra en la figura 5.

**Figura 5**

*Fenómeno de energización de transformadores de potencia*



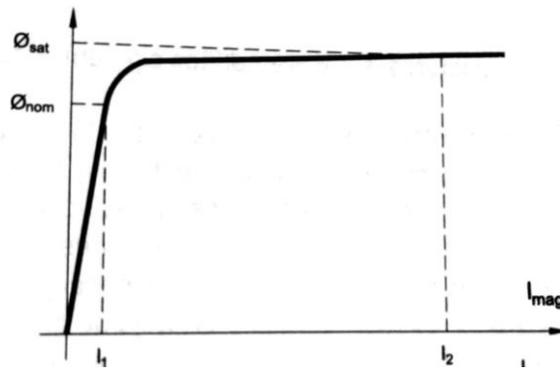
Nota. Subestaciones de alta y extra alta tensión. Guía práctica de diseño. Tercera Edición.

La curva de magnetización de los transformadores proporciona una representación visual de cómo la corriente inrush  $I_{mag}$  se relaciona con el flujo magnético. Para un flujo nominal  $\Phi_{nom}$ , la corriente inrush es muy baja, pero para un flujo superior al punto de saturación ( $\Phi_{sat}$ ), la corriente inrush alcanza niveles significativamente altos.

En contraste, si la energización se lleva a cabo cuando la onda de tensión está en su valor pico, el flujo correspondiente es cero. Como resultado, no se genera la componente transitoria del flujo, evitando así la aparición de una corriente transitoria de magnetización considerable.

**Figura 6**

*Curva de magnetización*

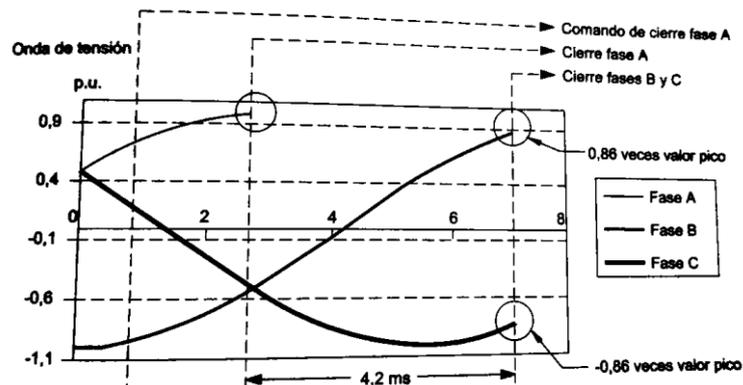


Nota. Subestaciones de alta y extra alta tensión. Guía práctica de diseño. Tercera Edición.

En resumen, la maniobra con el **EMS** debe asegurar el cierre de la primera fase cuando la onda de tensión alcance su valor máximo, de manera que tanto la corriente inrush como el flujo sean nulos en el momento del cierre. El cierre de las dos fases restantes dependerá del tipo de transformador, ya sea núcleo o acorazado, banco monofásico o trifásico, y del grupo de conexión de los devanados. Se proporciona a continuación en la figura 7, la secuencia de energización para un transformador trifásico, tipo núcleo, con el devanado primario conectado en estrella y puesto a tierra.

**Figura 7**

*Secuencia de energización para un transformador trifásico, tipo núcleo con el devanado primario conectado en estrella puesta a tierra*



Nota. Subestaciones de alta y extra alta tensión. Guía práctica de diseño. Tercera Edición.

Se debe tener en cuenta que el núcleo de los transformadores está fabricado con material magnético. Cuando el transformador se desenergiza, queda un flujo remanente. Dependiendo del momento de la próxima energización del equipo, este flujo remanente puede afectar positiva o negativamente a la  $I_{mag}$  transitoria. En consecuencia, el *EMS* debe tomar en consideración el flujo remanente presente en los transformadores al planificar la siguiente energización.

**Tabla 1**

*Aplicaciones del EMS*

Equipo	Aplicación	Efecto	Condición óptima de maniobra	Observaciones	Variable
<b>Autotransformador</b>	Cierre	Reducir la corriente transitoria de energización	Temporizar la orden de cierre para garantizar que cada devanado se energice con la tensión en el máximo. La maniobra sincronizada depende del tipo del núcleo: Acorazado o tipo núcleo, del tipo del transformador: monofásico o trifásico, y del grupo de conexión de los devanados (véase ejemplo en el numeral 13.13.4)	La corriente transitoria de energización se origina por el flujo que se induce en el transformador al aplicar una tensión determinada. Por tratarse de un circuito inductivo, la tensión y la corriente están desfasadas 90°: tensión mínima implica flujo máximo y, por tanto, corriente transitoria de energización muy alta.	Tensión de una fase del sistema
	Apertura	Determinar la polaridad de la tensión para asegurar la polaridad del flujo remanente para el momento de la energización	Garantizar que la tensión tenga siempre la misma polaridad en el momento de la desenergización	No se generan fenómenos transitorios de tensión o de corriente al desenergizar transformadores debido a que la corriente de magnetización en estado estable de estos equipos es muy baja.	Tensión de una fase del sistema

Nota. Elaboración propia.

### 2.2.10 Proyectos en subestaciones de alta y extra tensión

(Project Management Institute, 2021) define que es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La temporalidad de los proyectos implica un inicio y un fin definidos para la labor del proyecto o una fase específica del mismo. Los proyectos pueden desarrollarse de manera independiente o integrarse en un programa o portafolio más amplio.

## 2.2.11 Normas de Comisión electrotécnica internacional (IEC)

### 2.2.11.1 Requisitos para la simultaneidad de polos durante maniobras de cierre simple y apertura simple

En operaciones normales, el tiempo de simultaneidad entre los polos durante el cierre debe ser inferior a un sexto de ciclo ( $<1/6$  ciclo) de la frecuencia para interruptores de doble cámara y menor a un cuarto de ciclo ( $<1/4$  ciclo) para interruptores de una cámara. Para la apertura deberá ser menor a un octavo de ciclo ( $<1/8$  ciclo) para interruptores de doble cámara y menor a un sexto de ciclo ( $<1/6$  ciclo) para interruptores de una cámara, de acuerdo con la cláusula 5.101 de la norma IEC 62271-100 (International Electrotechnical Commission, 2021).

**Tabla 2**

*Tiempo de operación del interruptor*

<b>Tiempos de simultaneidad entre polos</b>		
	<b>Cierre</b>	<b>Apertura</b>
<b>Interruptor de doble cámara</b>	$< 1/6$ ciclo	$< 1/8$ ciclo
<b>Interruptor de una cámara</b>	$< 1/4$ ciclo	$< 1/6$ ciclo

Nota. Norma IEC 62271-100. Clausula 5.101. Requirements for simultaneity of poles during single closing and single opening operations.

Para validar los resultados obtenidos en el lugar, también se puede verificar comparándolos con los tiempos de operación y las tolerancias de referencia establecidos en el protocolo de pruebas *FAT* del interruptor de potencia.

### 2.2.12 Requisitos de fábrica Vizimax

El fabricante Vizimax del relé de mando sincronizado de la marca Syncrotech Plus, que maniobra el interruptor para la energización controlada del transformador, proporciona unos requerimientos para garantizar una corriente de energización menor al 10% de la nominal.

**Tabla 3***Requerimientos técnicos*

<b>Requerimientos técnicos de relé de mando sincronizado – Syncrotech Plus</b>	
<b>Tipo de interruptor:</b>	Interruptor de operación monopolar
<b>Valor de dispersión mecánica:</b>	Menor a +/- 1 ms
<b>RDDS (Tasa de decrecimiento de la rigidez dieléctrica):</b>	Mayor a 1 p.u.
<b>Energización para pruebas:</b>	El transformador de potencia debe ser energizado sin carga y tener una medida de tensión en el lado del transformador.

Nota. Garantía de operación de fábrica Vizimax.

### 2.2.13 Valores de RDDS

El fabricante Vizimax del relé de mando sincronizado de la marca Syncrotech Plus, que maniobra el interruptor para la energización controlada del transformador, proporciona unos rangos de valores para que el interruptor de SF6 energice un transformador de potencia.

**Tabla 4***Valores de RDDS*

<b>Valores de RDDS</b>	
<b>Valores</b>	<b>Denominación</b>
$\geq 2$ p.u.	Excelente
$\geq 7$ p.u. y $< 2$ p.u.	Aceptable
$< 0.7$ p.u.	Críticamente deficiente

Nota. Garantía de operación de fábrica Vizimax.

### 2.2.14 Limitaciones de corriente en transformadores de potencia

Existen limitaciones en la capacidad de transporte de corriente del transformador además de los límites de temperatura. Por tanto, se recomienda no superar los límites de corriente indicados en la Tabla 4, aunque las circunstancias de la sobrecarga impliquen que no se superen las temperaturas. Ejemplos específicos serían en casos de baja temperatura ambiente, bajos niveles de precarga o alta capacidad térmica del devanado. El comprador puede especificar límites de corriente más altos si es necesario, pero debe ser reconocido que esto podría conducir a un diseño de transformador especial. Los límites de corriente recomendados que figuran en la Tabla 4 no deben aplicarse a sobrecargas de muy corta duración, es decir, menos de 10 s.

**Tabla 5**

*Límites de corriente recomendados aplicables a la carga más allá del valor nominal de la placa de identificación*

<b>Types of loading</b>	<b>Small Transformers</b>	<b>Medium power Transformers</b>	<b>Large power transformers</b>
<b>Normal cyclic loading</b>			
Current (p.u.)	1.5	1.5	1.3
<b>Long-time emergency loading</b>			
Current (p.u.)	1.8	1.5	1.3
<b>Short-time emergency loading</b>			
Current (p.u.)	2.0	1.8	1.5

Nota. IEC 60076-7:2018.

### 2.2.15 Transformadores de potencia:

Según las directrices establecidas en el PR-20 del *COES*, se especifica que los interruptores de conexión de los transformadores de potencia de 500/220 kV deben estar equipados con un dispositivo de sincronización de maniobra en ambos devanados para mitigar la corriente de energización. De manera similar, los interruptores de conexión de los transformadores de potencia con una tensión primaria de 220 kV deben incluir un dispositivo de sincronización de maniobra, de acuerdo con las determinaciones realizadas en las simulaciones de energización de transformadores del Estudio de Pre Operatividad.

### 2.3 Marco conceptual

1. **Bushing Sensor:** Dispositivo que proporciona y recibe señales de frecuencia de potencia y de alta frecuencia para el monitoreo del equipo.
2. **Control local:** Implica la maniobra y/o control directo sobre un equipo.
3. **Control remoto:** Se refiere al control de un equipo desde una ubicación distante.
4. **Corriente inrush:** Se trata de una corriente transitoria de excitación, que se presenta como una corriente pulsante cuyo valor máximo generalmente excede varias veces la magnitud de la corriente nominal de la máquina.
5. **EMS (Equipo de Mando Sincronizado) o CSD (Controlled Switching Device):** Dispositivo basado en tecnología de microprocesadores, programado para determinar, según el equipo que debe ser maniobrado, las condiciones óptimas de los valores instantáneos de corriente o tensión bajo las cuales se debe realizar la maniobra, de modo que permita minimizar el fenómeno transitorio y su efecto sobre la red.
6. **Energización / Puesta en servicio:** Procedimiento llevado a cabo para la conexión de tensión y carga de los equipos y sistemas de la subestación, así como de los circuitos asociados, con el fin de poner en funcionamiento la instalación de manera comercial (commissioning).
7. **Equipos de patio:** Dispositivos electromecánicos de alta tensión utilizados para realizar maniobras, protección y mediciones en los circuitos y barras de una subestación.
8. **IED (Intelligent electronic devices):** Dispositivos autónomos e independientes que cuentan con capacidades de comunicación e integración mediante protocolos normalizados. Estos dispositivos utilizan uno o más microprocesadores para recibir y enviar información (datos) y comandos desde o hacia una fuente externa.
9. **Interruptor:** Dispositivo de maniobra con la capacidad de interrumpir, establecer y transportar corrientes normales o asignadas del circuito, así como corrientes anormales o de cortocircuito, mediante la conexión o desconexión de circuitos.
10. **Manlift:** Es un equipo que se utilizan para mover pasajeros hasta alturas considerables a su operación. Se utilizan para realizar trabajos en altura.
11. **Montaje:** Conjunto de actividades realizadas para llevar a cabo el ensamblaje y la conexión de los equipos y sistemas que constituyen la subestación.
12. **Patio de conexiones:** Área donde se ubican los equipos de patio y barras con el mismo nivel de tensión en una subestación (patio de interruptores).

- 13. Pruebas:** Conjunto de actividades destinadas a verificar el diseño, la fabricación, el correcto montaje (pruebas individuales) y la funcionalidad (pruebas funcionales) de los equipos y sistemas de la subestación, de acuerdo con las especificaciones técnicas, los diseños detallados y las condiciones operativas definitivas.
- 14. Pruebas FAT (Factory Acceptance Tests):** Son un conjunto de pruebas que se realizan en el sitio del proveedor, es decir, en la fábrica.
- 15. Pruebas SAT (Site Acceptance Tests):** Son un conjunto de pruebas que se realizan en el sitio donde se realizará el montaje, es decir, en la nueva ubicación del equipo.
- 16. RTU (Unidades terminales remotas):** Dispositivos que se emplean para el control remoto.
- 17. SAS (Sistemas de automatización de subestaciones):** Sistema de control digital para subestaciones que integra en una plataforma informática los datos obtenidos por IED y otros equipos presentes en la subestación. Este sistema realiza funciones de control, supervisión y medición de variables.
- 18. SCADA (Supervisory control and data acquisition):** Sistema de control que opera a través de redes de comunicación para la supervisión y adquisición de datos de diversas subestaciones, plantas de generación y líneas de transmisión en el sistema interconectado. Estas instalaciones, por lo general, se encuentran distribuidas geográficamente y están distantes entre sí.
- 19. Seccionador:** Dispositivo de maniobra utilizado para aislar interruptores, secciones de la subestación o circuitos durante trabajos de mantenimiento; en configuraciones de barras, se utilizan para seleccionar la forma de conectar los circuitos a los barrajes.
- 20. Sistema de comunicaciones:** Conjunto de dispositivos que operan según condiciones preestablecidas y permiten el manejo de señales de comunicación de acuerdo con los requisitos operativos de los equipos y sistemas de la subestación.
- 21. Sistema de control:** Conjunto de dispositivos que operan según condiciones preestablecidas y se emplean para llevar a cabo el manejo y la supervisión de todos los equipos, dispositivos y sistemas instalados en la subestación.
- 22. Sistema de protección:** Conjunto de dispositivos que operan siguiendo condiciones preestablecidas para proteger los circuitos, sistemas y dispositivos instalados en una subestación.
- 23. Sistemas secundarios:** Sistemas utilizados en la subestación para ejecutar el control, la protección, las comunicaciones y el suministro de servicios auxiliares.

- 24. Subestación convencional o abierta:** Subestación cuyos componentes se instalan de forma que el aislamiento para su nivel de tensión se obtiene mediante aire a presión atmosférica. También se conocen como *AIS* (Air Insulated Substation), subestaciones aisladas en aire.
- 25. Subestación encapsulada:** Subestación cuyos componentes se instalan en ductos metálicos de forma que el aislamiento para su nivel de tensión se obtiene con un gas diferente al aire, normalmente SF6 a presión superior a la atmosférica. También se conocen como *GIS* (Gas Insulated Substation), subestaciones aisladas en gas.
- 26. Supervisión:** Función en la cual todas las indicaciones de estado de la subestación y equipos asociados se gestionan en una o varias estaciones maestras.

## CAPÍTULO III

### VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Definición operacional de las variables

**Tabla 6**

*Explicación funcional de las variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Nivel de medición
<b>Independiente</b>  <i>Lineamiento en el comisionamiento de relés de mando sincronizado que operan mediante el cálculo de flujo residual</i>	(Ramírez González, 2021) “Dispositivo basado en microprocesadores, programado para determinar las condiciones óptimas de los valores instantáneos de corriente los cuales se debe realizar maniobra para que le permita minimizar el fenómeno transitorio y su efecto sobre la red”.	<b>Operatividad de equipos de control y protección</b>  Se debe de cumplir con requisitos indispensables para la operación del relé de mando sincronizado para una correcta puesta en servicio.	1. Lineamiento en estudios eléctricos	El proceso en los estudios eléctricos en el sistema eléctrico con y sin el relé de mando sincronizado.	Intervalo
			2. Lineamiento de ingeniería	El proceso en la elaboración de la ingeniería básica y detalle en base a las arquitecturas de control existentes de la subestación.	Intervalo
			3. Lineamiento de planificación del proyecto	El proceso de planificación en los ámbitos de inicio, planeación, ejecución, seguimiento y cierre del proyecto.	Intervalo
			4. Lineamiento de montaje	El proceso de detalle en el montaje de los dispositivos electrónicos, cableado interno y externo con dispositivos existentes de la subestación eléctrica.	Intervalo
			5. Lineamiento en las pruebas FAT y SAT	El proceso de ejecución de las pruebas funcionales, verificación de funcionamiento de dispositivos individuales y conjunto.	Intervalo
<b>Dependiente</b>  <i>Mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia en SE AT-EAT</i>	(Oliveira, y otros, 2016) “Es una corriente inrush que se caracteriza por picos transitorios cuya magnitud puede alcanzar valores elevados de 10 a 20 veces su corriente nominal del transformador de potencia”.	<b>Perturbaciones a la operatividad del interruptor y transformador</b>  El problema asociado a la corriente, tiempos de operación, curvas de saturación genera distintos tipos de inconvenientes al funcionamiento de los equipos de las subestaciones eléctricas de potencia.	1. Valores de corriente de energización	Los valores de corriente de energización representan las magnitudes instantáneas de corriente que fluyen durante el proceso de energización de autotransformadores, siendo esenciales para evaluar la eficacia de los relés MS al calcular el flujo residual y mitigar estas corrientes.	Intervalo
			2. Tiempos de apertura y cierre	La poca precisión de los contactos auxiliares 52a perjudica radicalmente los valores de tiempos de apertura y cierre del interruptor de potencia.	Intervalo
			3. Valores de RDDS	La tasa muy baja de disminución de la fuerza dieléctrica del interruptor no permitirá calcular de forma precisa la duración del arco que se forma en la cámara principal del interruptor de potencia.	Intervalo
			4. Flujo residual	La magnitud y dirección de la corriente que persiste en el sistema después de la energización, sirve como medida clave para evaluar la eficacia del cálculo en la mitigación de corrientes de energización en autotransformadores de potencia.	Intervalo
			5. Curva de saturación	El bajo nivel de meseta de saturación del transformador de potencia en régimen permanente hace teóricamente imposible la eliminación total de las corrientes de irrupción.	Intervalo

Nota. Elaboración propia.

## **3.2. Hipótesis de la investigación**

### **3.2.1. Hipótesis general**

Implementar un lineamiento influye en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en *SE AT-EAT*.

### **3.2.2. Hipótesis específicas**

1. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mitigar valores de corriente de energización.
2. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a calcular los tiempos de apertura y cierre.
3. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a determinar los valores de *RDDS*.
4. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual favorece a mitigar el flujo residual.
5. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mejorar la curva de saturación.

## **3.3. Indicadores de evaluación de resultados**

### **3.3.1. Indicadores de la variable independiente**

- Lineamiento en estudios eléctricos
- Lineamiento de ingeniería
- Lineamiento de planificación del proyecto
- Lineamiento en montaje
- Lineamiento en las pruebas *FAT* y *SAT*

### **3.3.2. Indicadores de la variable dependiente**

- Valores de corriente de energización
- Tiempos de apertura y cierre

**Tabla 7***Tiempo de operación del interruptor*

Tiempos de simultaneidad entre polos		
	Cierre	Apertura
<b>Interruptor de doble cámara</b>	< 1/6 ciclo	< 1/8 ciclo
<b>Interruptor de una cámara</b>	< 1/4 ciclo	< 1/6 ciclo

Nota. Norma IEC 62271-100. Clausula 5.101. Requirements for simultaneity of poles during single closing and single opening operations.

- Valores de **RDDS**

**Tabla 8***Requerimientos técnicos*

Requerimientos técnicos de relé de mando sincronizado – Syncrotech Plus	
<b>Tipo de interruptor:</b>	Interruptor de operación monopolar
<b>Valor de dispersión mecánica:</b>	Menor a +/- 1 ms
<b>RDDS (Tasa de decrecimiento de la rigidez dieléctrica):</b>	Mayor a 1 p.u.
<b>Energización para pruebas:</b>	El transformador de potencia debe ser energizado sin carga y tener una medida de tensión en el lado del transformador.

Nota. Garantía de operación de fábrica Vizimax.

- **Flujo residual**
- **Curva de saturación**

**Tabla 9**

*Límites de corriente recomendados aplicables a la carga más allá del valor nominal de la placa de identificación*

Types of loading	Small Transformers	Medium power Transformers	Large power transformers
<b>Normal cyclic loading</b>			
Current (p.u.)	1.5	1.5	1.3
<b>Long-time emergency loading</b>			
Current (p.u.)	1.8	1.5	1.3
<b>Short-time emergency loading</b>			
Current (p.u.)	2.0	1.8	1.5

Nota. IEC 60076-7:2018

## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### 4.1. Diseño de la investigación

El diseño de Investigación que se determinó para la presente tesis fue No experimental de tipo longitudinales o evolutivos, ya que, según (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010) en su libro *Metodología de la Investigación* afirma que: se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. La investigación no experimental se enfoca en la observación de fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, seguido por un análisis posterior.

El tipo longitudinal o evolutivo ha sido determinado para ser utilizado en la presente investigación, ya que implica la recopilación de datos a lo largo del tiempo en puntos o periodos específicos. Esto permite que se realicen inferencias sobre los cambios, sus determinantes y consecuencias a lo largo del tiempo.

**Tabla 10.**

*Diseño de investigación*

<b>Estudio</b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>	<b>T<sub>5</sub></b>	<b>T<sub>6</sub></b>	<b>T<sub>7</sub></b>	<b>T<sub>8</sub></b>
<b>M</b>	<b>O<sub>1</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>O<sub>4</sub></b>	<b>O<sub>5</sub></b>	<b>O<sub>6</sub></b>	<b>O<sub>7</sub></b>	<b>O<sub>8</sub></b>

Nota. Elaboración propia.

**M:** Representa la muestra de los 03 interruptores de potencia de la SE San José 500kV.

**Ti:** Tiempo que se realizará la recolección de datos sobre las pruebas realizadas en sitio.

**Oi:** Medición realizada.

#### 4.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se llevó a cabo en esta tesis fue de carácter aplicado. Según Murillo, W. (2008), en su obra "La investigación científica",

la investigación aplicada también se conoce como "investigación práctica o empírica". Este enfoque se caracteriza por buscar la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, al mismo tiempo que se generan nuevos conocimientos después de implementar y sistematizar la práctica basada en la investigación. El aprovechamiento del conocimiento y los resultados de la investigación conduce a una comprensión rigurosa, organizada y sistemática de la realidad.

#### **4.1.2. Nivel de investigación**

El nivel de Investigación que se determinó para la presente tesis fue Explicativa, ya que, según (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010) en su libro *Metodología de la Investigación* afirma que: este tipo de estudio se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables.

### **4.2.Descripción de la metodología**

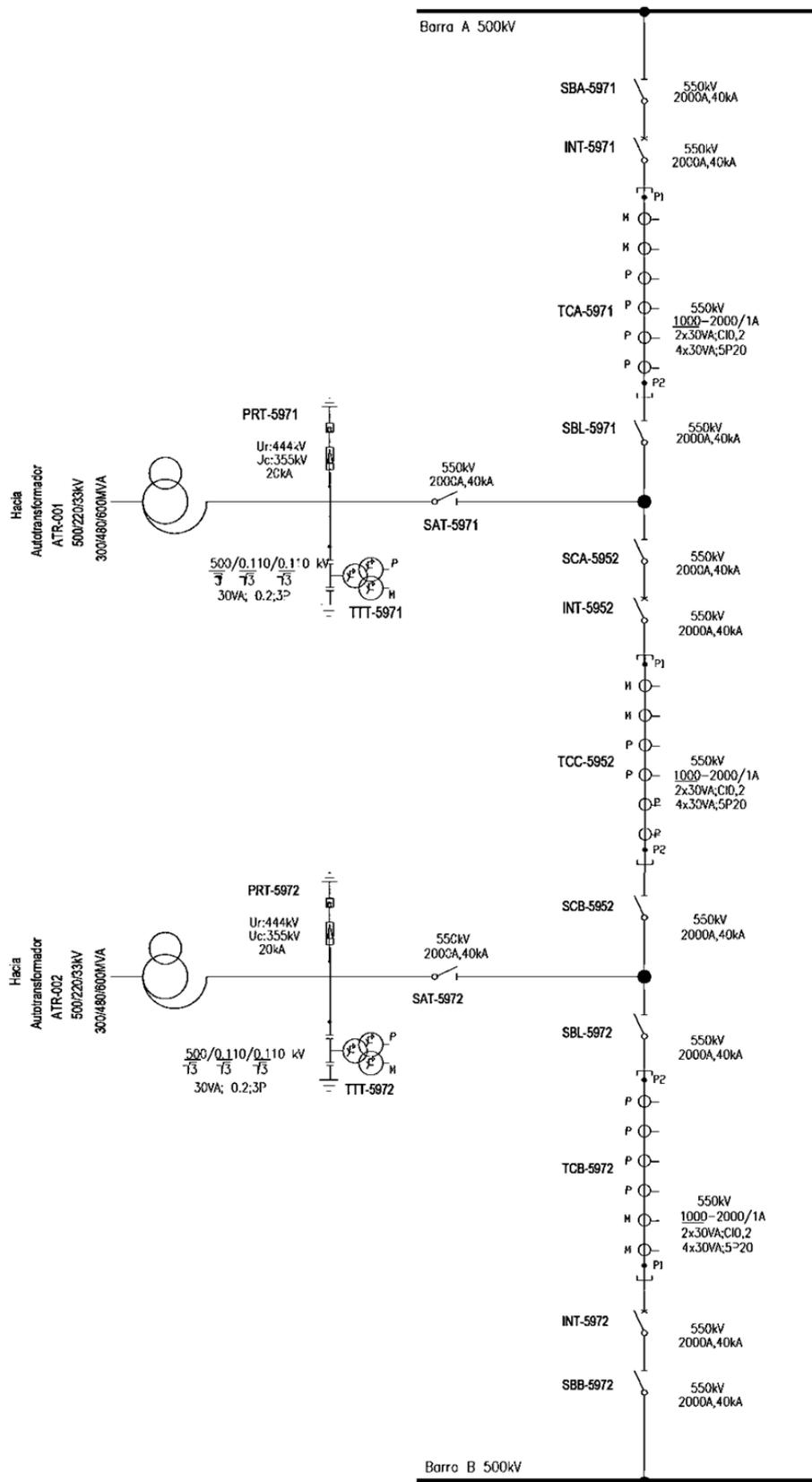
#### **4.2.1. Implementación del tema de investigación**

##### **Implementación de mando sincronizado**

Se desarrolló los lineamientos en la elaboración de estudios eléctricos, ingeniería, planificación del proyecto, montaje y ejecución de pruebas *FAT* y *SAT* en el comisionamiento de los 03 relés de mando sincronizado con la codificación: C2-5210-IED-2101, C2-5210-IED-2102 y C2-5210-IED-2103 que operan a los 03 interruptores de potencia INT-5971, INT-5952 e INT-5972, como se muestra en la figura 09 correspondientemente a la *SE* San José de 500 kV con la configuración de una subestación de diámetro y medio en *AIS*, como se muestra en la figura 08.

**Figura 8**

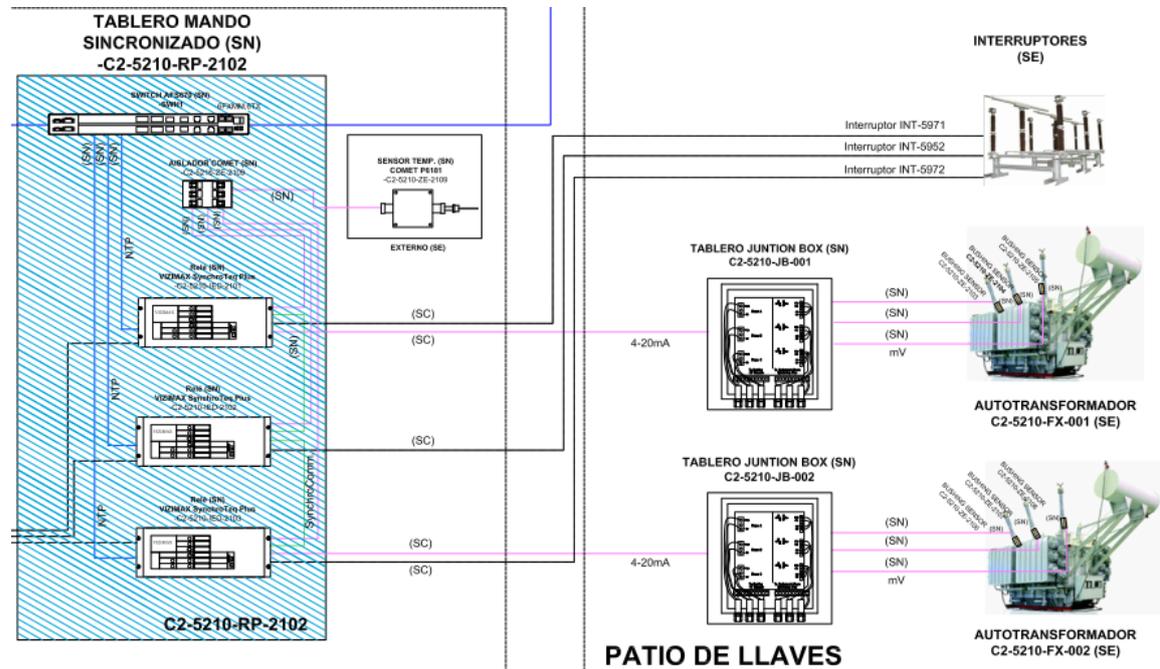
*Diagrama unifilar de la SE San José 500kV*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 9**

*Configuración de implementación de mando sincronizado Vizimax*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

#### 4.2.1.1 Lineamiento en la elaboración de estudios eléctricos para energización de los autotransformadores de la subestación San José 500kV

Previamente a la implementación, se realizó un análisis mediante simulaciones de transitorios electromagnéticos para evaluar el impacto de la energización, con y sin mando sincronizado, de los autotransformadores de la subestación San José (ATR-001 y ATR-002) desde el devanado de 500 kV. A partir de los resultados obtenidos, se evaluará el perfil de tensión en las subestaciones aledañas a la subestación San José y el impacto sobre el segundo autotransformador de la subestación.

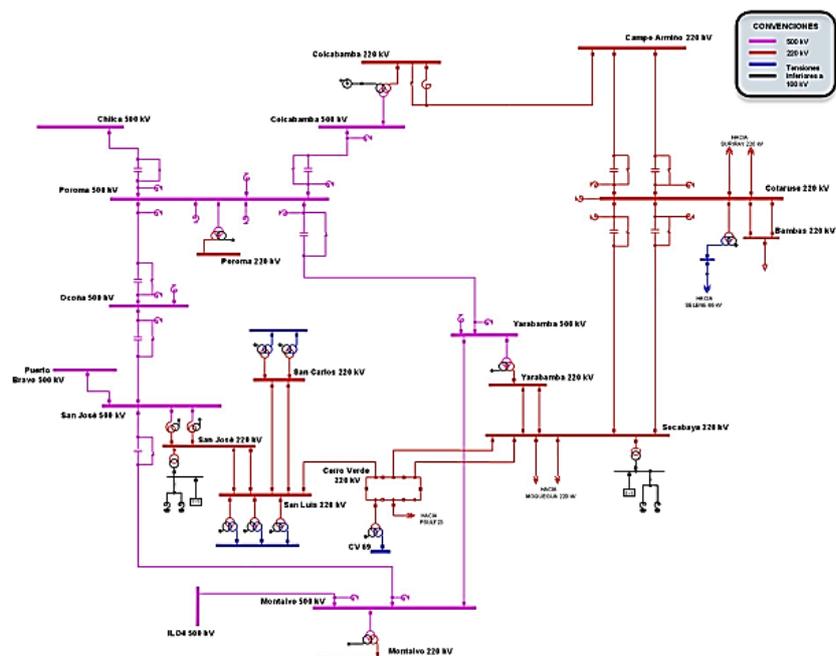
Estos estudios se llevaron a cabo considerando los lineamientos del procedimiento N°20 publicado por el **COES** (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, 2013), para el ingreso, modificación y retiro de instalaciones en el **SEIN**. Todos los análisis eléctricos se realizarán utilizando los programas ATP (Alternative Transients Program) y DIgSILENT Power Factory 2020.

## 1. Descripción del proyecto:

La subestación San José se sitúa geográficamente en el sur del Perú, en el departamento de Arequipa. El área de influencia de la subestación San José abarca las subestaciones Socabaya, Montalvo, Ocoña, Poroma, entre otras subestaciones que forman parte del enlace centro sur a nivel de 500 kV, como se muestra en la figura 10. Actualmente, los autotransformadores ATR-001 y ATR-002, ubicados en la subestación San José, cuentan con relés de mando sincronizado de la referencia F236 de ABB, los cuales no han operado de la manera esperada durante las maniobras de energización. Por lo anterior, se ha decidido reemplazar los relés de ABB por relés de mando sincronizado de la referencia Synchroteq Plus del fabricante Vizimax. Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, el proyecto busca evaluar el adecuado funcionamiento de los nuevos relés de mando sincronizado a instalar en la subestación San José, para cada maniobra de energización de autotransformadores. El relé de mando sincronizado Synchroteq Plus posee medidores de flujo residual, los cuales permiten establecer tiempos de cierre precisos, en busca de controlar los efectos asociados a una energización de autotransformadores. Adicionalmente, el relé cuenta con una lógica adaptativa, la cual facilita la correcta operación del relé una vez se presentan algunas maniobras de energización.

**Figura 10**

*Diagrama unifilar del área de influencia del proyecto*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

## 2. Información de los autotransformadores

La subestación San José consta de dos autotransformadores 500/220/33 kV de 360/480/600 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2). Las características generales de los autotransformadores se presentan en la Tabla 11, de acuerdo a la información suministrada en el protocolo de pruebas.

**Tabla 11**

*Características generales de los autotransformadores SE San José 550kV*

<b>Devanado</b>	<b>Nivel de tensión (kV)</b>	<b>Capacidad (MVA)</b>	<b>Conexión</b>	
Primario	500	600	YNa0d1	
Secundario	220	600		
Terciario	33	1.67		
<b>Devanado</b>		<b>Base (MVA)</b>	<b>Impedancia ATR-001 (%)</b>	<b>Impedancia ATR-002 (%)</b>
Primario – Secundario		600	16.93	16.79
Secundario – Terciario		1.67	0.20	0.20
Terciario - Primario		1.67	0.26	0.26

Nota. Adaptado de la actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

## 3. Equivalente de red:

En la Tabla 12 se indican los nodos con los correspondientes valores de impedancia de secuencia cero y positiva para las diferentes subestaciones definidas como fronteras.

**Tabla 12**

*Impedancias equivalentes año 2022 – Generación Estiaje – Demanda Mínima*

<b>Nodo</b>	<b>Nivel de tensión (kV)</b>	<b>R0 (Ω)</b>	<b>X0 (Ω)</b>	<b>R1 (Ω)</b>	<b>X1 (Ω)</b>
<b>Poroma</b>	500	12.6865	100.0195	20.7484	127.8516
<b>Cataruse</b>	220	14.0304	88.4144	65.2125	110.8911
<b>Campo Armiño</b>	220	0.1103	4.3057	0.9646	9.7415
<b>Los Heroes</b>	220	0.9135	86.3411	1159.2542	757.5153
<b>Moquegua</b>	220	1.2790	12.1419	110.4998	17.0077
<b>Tintaya Nueva</b>	220	4.8173	40.6843	51.3238	81.5935
<b>Socabaya</b>	138	0.6547	6.9512	13.7585	33.6776

Nota. Adaptado de la actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

#### 4. Curva de saturación de los autotransformadores

Para los autotransformadores de la subestación San José 500/220/33 kV de 360/480/600 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2), perteneciente al proyecto, se empleó la curva de saturación (V-I). En la Tabla 13 se detallan los valores de corriente – tensión de la curva de saturación de los autotransformadores de San José. La corriente en p.u. se encuentra calculada en base a 6298,37 A con la siguiente ecuación:

$$I_{base} = \frac{S_{3F}}{\sqrt{3} * V}$$

Donde:

$S_{3F}$ : Potencia devanado terciario, autotransformador de San José en MVA (360 MVA).

V: Tensión devanado terciario autotransformador de San José (33 kV).

$$I_{base} = \frac{360 \times 10^6}{\sqrt{3} * 33 \times 10^3}$$

$$I_{base} = 6298.37 \text{ A}$$

**Tabla 13**

*Característica de saturación corriente – tensión autotransformador San José*

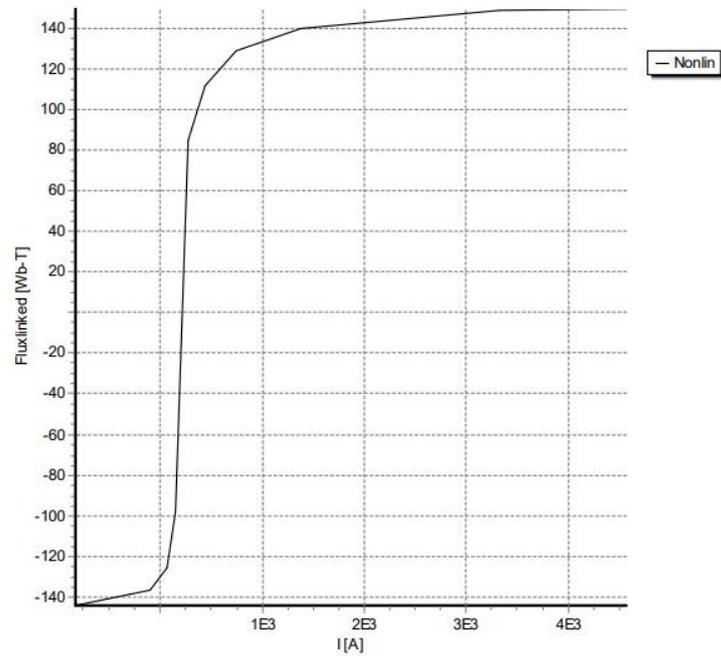
Autotransformador ATR-001			Autotransformador ATR-002		
Corriente (A)	Corriente (p.u.)	Tensión (p.u.)	Corriente (A)	Corriente (p.u.)	Tensión (p.u.)
2.495	0.000396	0.822	2.445	0.000388	0.822
2.524	0.000401	0.866	2.478	0.000393	0.865
2.535	0.000402	0.912	3.062	0.000486	1.039
2.979	0.000473	1.045	13.014	0.002066	1.125
10.315	0.001638	1.117	1051.830	0.167000	1.200
1165.198	0.185000	1.200	---	---	---

Nota. Adaptado de la actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

Con la información de la curva de saturación del autotransformador, se realizó mediante la rutina SATURA del ATPDraw, la curva de saturación corriente – flujo del transformador, posteriormente se obtuvo la curva de histéresis del transformador (Figura 11 e figura 12), modelo que considera el flujo residual.

**Figura 11**

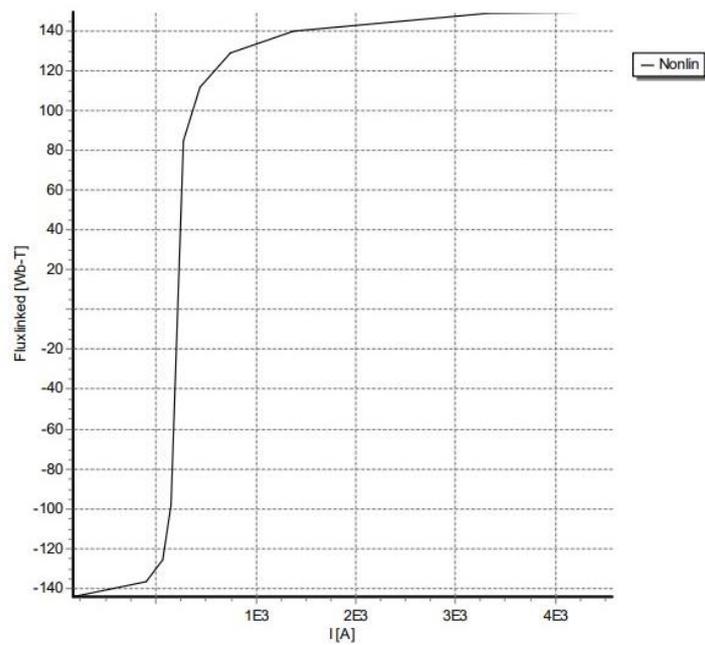
*Curva de histéresis del autotransformador San José (ATR-001)*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 12**

*Curva de histéresis del autotransformador San José (ATR-002)*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

Se utilizó la tensión más cercana a 1,00 p.u presentada en el reporte de pruebas (Tabla 13).

$$\Phi_N = \frac{V_{pico}}{2\pi * f}$$

$$\Phi_N = \frac{33000 * 1.045 * \sqrt{2}}{2\pi * 60}$$

$$\Phi_N = 129.36$$

**Tabla 14**

*Flujo residual, autotransformador ATR-001 San José sin mando sincronizado*

<b>Flujo Residual (<math>\Phi_r</math>)</b>		
<b><math>\Phi_r</math> Fase A</b>	0	0
<b><math>\Phi_r</math> Fase B</b>	-80% $\Phi_N$	-103.5
<b><math>\Phi_r</math> Fase C</b>	80% $\Phi_N$	103.5

Nota. Adaptado de la actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

## 5. Simulaciones de eventos sin mando sincronizado

Con la finalidad de evaluar el impacto de la energización de uno de los autotransformadores de la subestación San José 500/220/33 kV de 600 MVA sin relé de mando sincronizado, se realizó simulaciones asociadas al cierre de un interruptor con respecto al punto de la onda de tensión. Además, se llevan a cabo simulaciones con un flujo residual del 80%. En estas consideraciones identificamos los casos que generan un mayor impacto sobre el sistema durante la energización.

De todas las simulaciones, se selecciona el caso más crítico, aquel que produce la mayor corriente de energización y, por ende, un impacto más significativo en el sistema. Este caso crítico se analizó mediante una simulación determinística para evaluar la corriente de energización en el autotransformador energizado y la caída de tensión en la subestación San José y en subestaciones cercanas.

Posterior al análisis de la energización del autotransformador sin mando sincronizado, se evalúa el comportamiento del relé de mando sincronizado Synchroteq Plus. Este relé realiza el cierre del interruptor de manera que el flujo residual del transformador al momento del cierre se mitigue, generando una disminución en la corriente de energización. Para este caso, se analizan y validan las variables previamente estudiadas en el caso sin mando sincronizado, a modo de comparación.

En el estudio se realizan 8 casos de simulación para la energización del autotransformador ATR-001 de la subestación San José, como se muestra en la Tabla 15. Siempre se considera la maniobra del autotransformador ATR-001, ya que tiene características muy similares a las del autotransformador ATR-002, por lo que no es necesario evaluar la energización de ambos autotransformadores de manera independiente.

**Tabla 15**

*Casos de energización del autotransformador ATR-001*

<b>Caso</b>	<b>Estado del autotransformador ATR-001</b>	<b>Estado del autotransformador ATR-002</b>	<b>Estado de anillo Cerro Verde 220kV</b>	<b>Estado de la L-5037 San José – Montalvo 500kV</b>	<b>Estado de la L-5036 San José – Ocoña 500kV</b>
<b>Caso 1</b>	Energizado por 500 kV	Fuera de servicio	Abierto	En servicio	En servicio
<b>Caso 2</b>	Energizado por 500 kV	En servicio	Abierto	En servicio	En servicio
<b>Caso 3</b>	Energizado por 500 kV	Fuera de servicio	Cerrado	En servicio	En servicio
<b>Caso 4</b>	Energizado por 500 kV	En servicio	Cerrado	En servicio	En servicio
<b>Caso 5</b>	Energizado por 500 kV	Fuera de servicio	Abierto	Fuera de servicio	En servicio
<b>Caso 6</b>	Energizado por 500 kV	En servicio	Abierto	Fuera de servicio	En servicio
<b>Caso 7</b>	Energizado por 500 kV	Fuera de servicio	Abierto	En servicio	Fuera de servicio
<b>Caso 8</b>	Energizado por 500 kV	En servicio	Abierto	En servicio	Fuera de servicio

Nota. Adaptado de la actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

Se consideró adecuada la recuperación de la tensión si los análisis de energización de transformadores demuestran que las tensiones en las barras del sistema no caen por debajo del 85% de su valor inicial después de 3 segundos conforme al (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, 2013).

Al realizar las simulaciones a los 8 casos, en la tabla 16 se presentan las mayores corrientes de energización sobre el autotransformador ATR-001.

**Tabla 16**

*Máximas corrientes de Inrush*

<b>Caso</b>	<b>Extremo energizado (kV)</b>	<b>Corriente base (Apico)</b>	<b>Corriente Máxima (Apico)</b>	<b>Corriente Máxima (p.u.)</b>
<b>Caso 1</b>			919.66	0.94
<b>Caso 2</b>			1078.00	1.10
<b>Caso 3</b>			1247.80	1.27
<b>Caso 4</b>			<b>1248.60</b>	<b>1.27</b>
<b>Caso 5</b>	500	980	972.77	0.99
<b>Caso 6</b>			1193.00	1.22
<b>Caso 7</b>			1114.10	1.14
<b>Caso 8</b>			1238.60	1.26

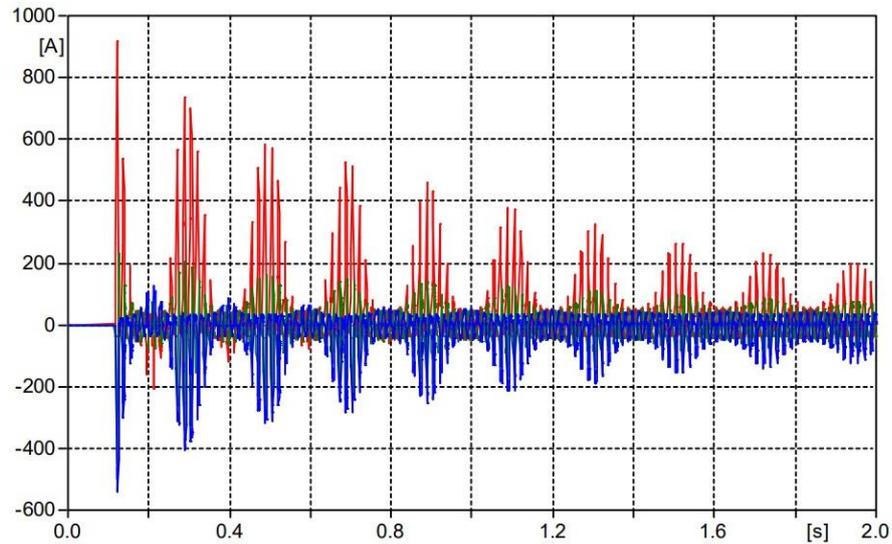
Nota. Adaptado de la actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

La máxima corriente de inrush en el autotransformador de la subestación San José 500/220/33 kV (ATR-001) es de 1248,60 Apico (1,27 p.u.), esta magnitud de corriente se considera aceptable y está por fuera de la zona de operación de la protección sobrecorriente de fases (51/50), la cual típicamente esta entre 10 p.u. a 12 p.u respecto a la corriente nominal del transformador.

De la Figura 13 a la Figura 20 se presentan las máximas corrientes de energización en el autotransformador ATR-001.

### Figura 13

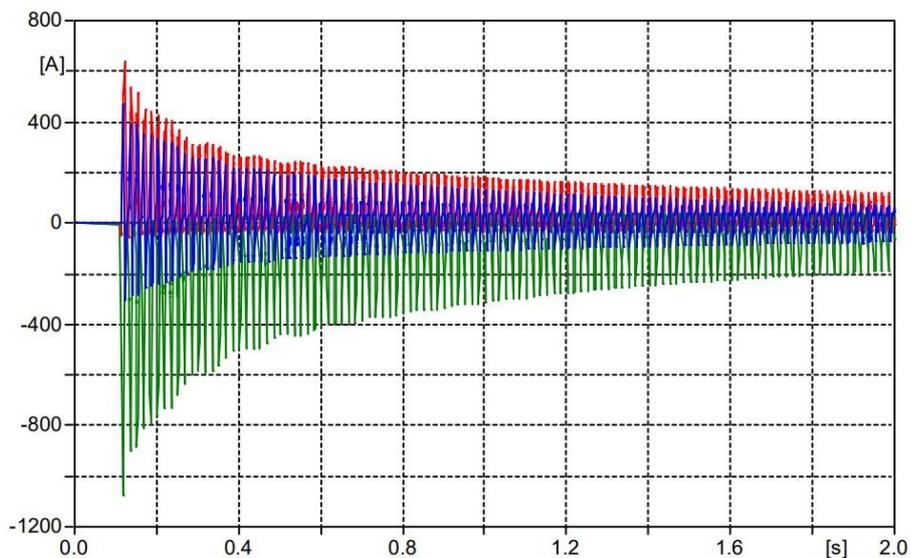
*Caso 1. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

### Figura 14

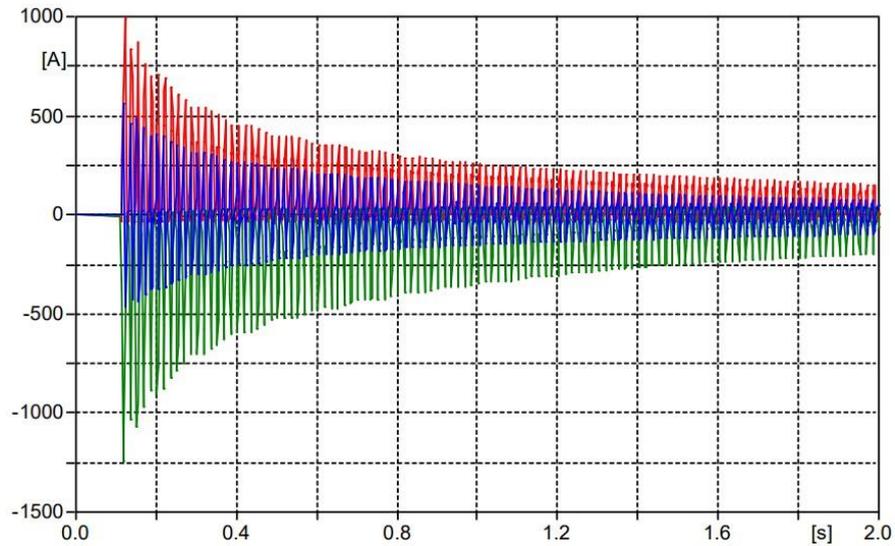
*Caso 2. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 15**

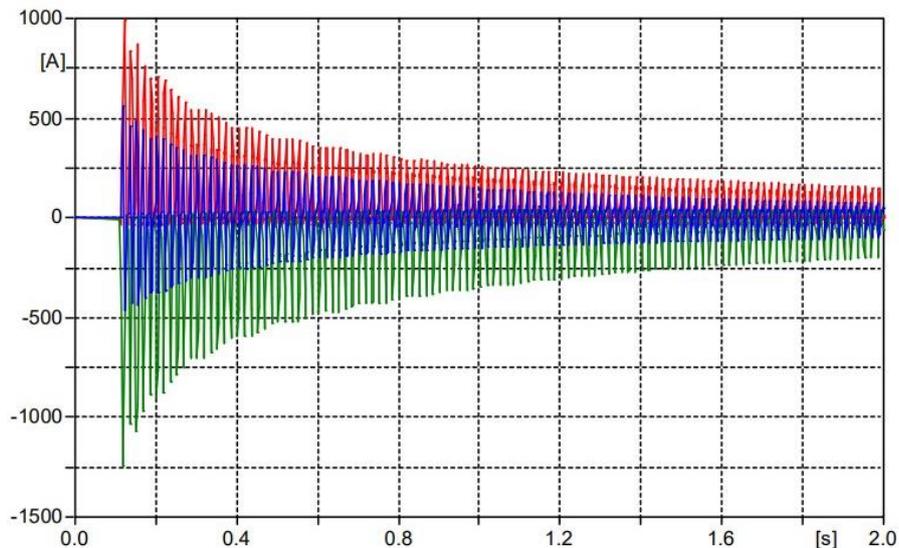
*Caso 3. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 16**

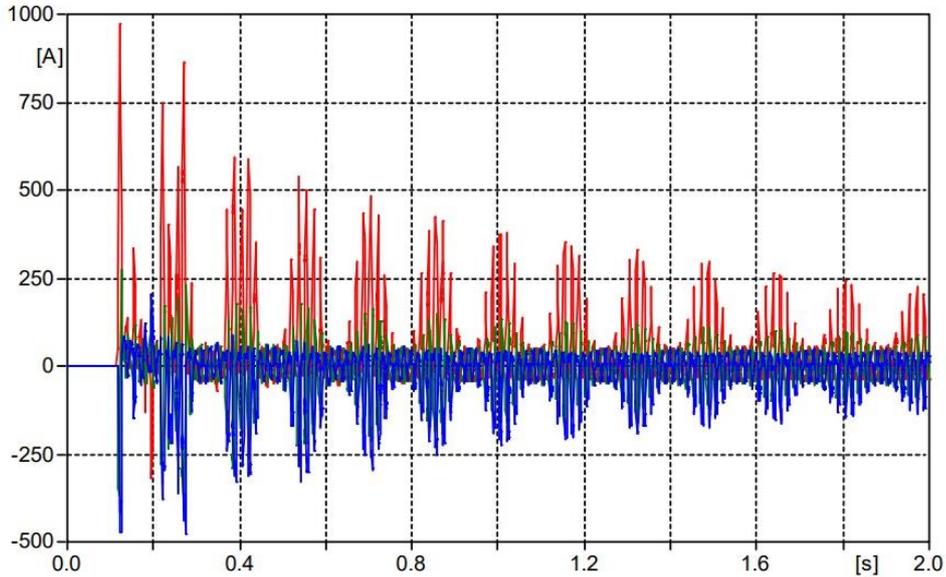
*Caso 4. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 17**

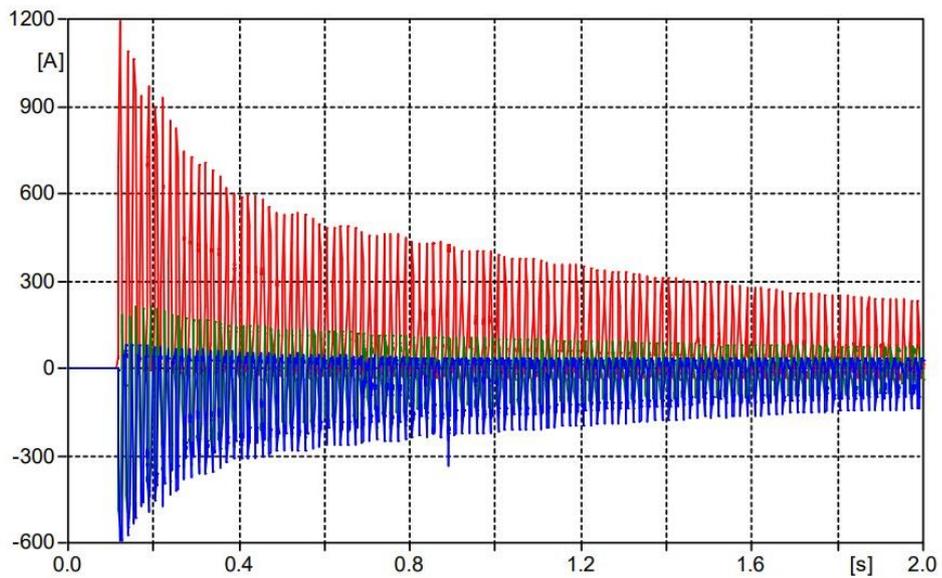
*Caso 5. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 18**

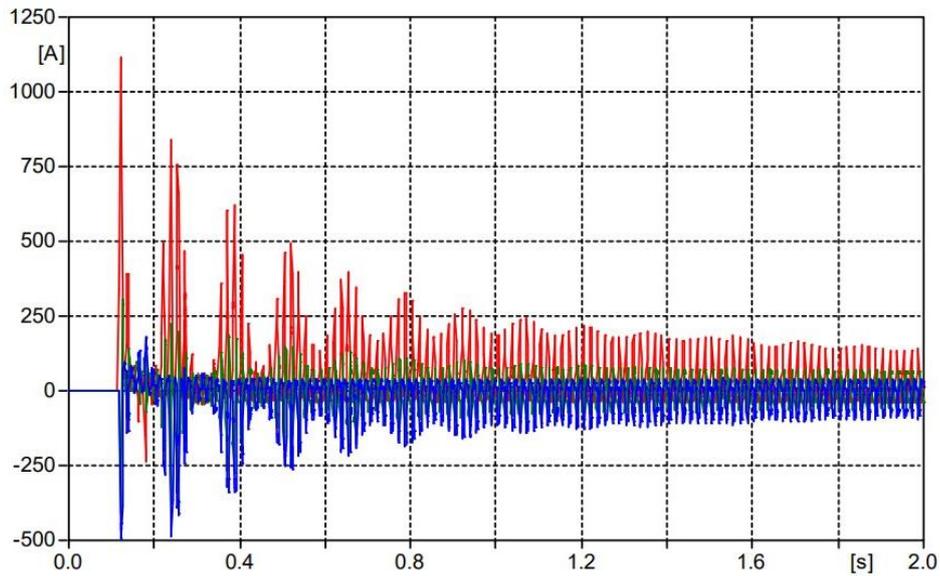
*Caso 6. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 19**

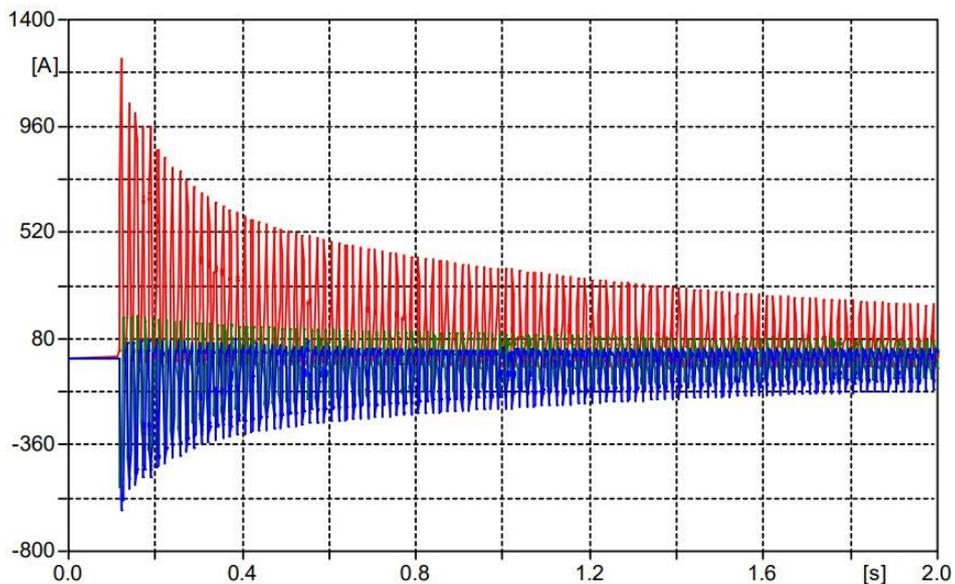
*Caso 7. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 20**

*Caso 8. Corrientes pico de inrush sin mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

## 6. Simulaciones de eventos con mando sincronizado

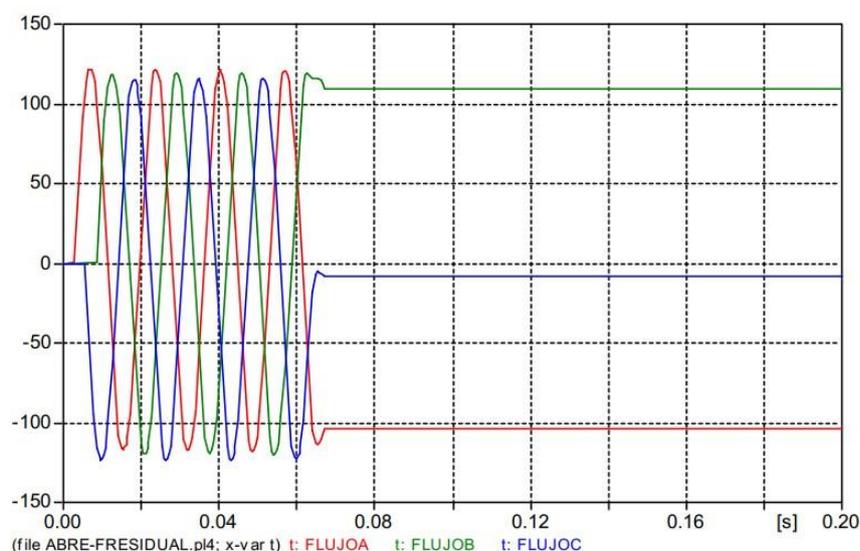
De acuerdo con la referencia (Cano-González, Bachiller-Soler, Rosendo-Macías, & Álvarez-Cordero, 2017) sobre la energización de transformadores con flujo residual, se presentan varias estrategias las cuales se aplican con el fin de emplear el mando sincronizado, buscando la reducción de las corrientes de Inrush. La implementación de las estrategias depende de la operación del interruptor (monopolar o tripolar), además de los equipos de medición indirecta que permiten realizar una aproximación del flujo residual.

La estrategia 2 (S2) de la referencia (Cano-González, Bachiller-Soler, Rosendo-Macías, & Álvarez-Cordero, 2017) consiste en realizar los siguientes pasos, los cuales se ilustran posteriormente en las figuras 21, 22, 23 y 24.

- Calcular el flujo residual e identificar el de menor valor absoluto (Fase C en la figura 21).
- Calcular el flujo prospectivo o futuro (ver figura 22 y 23) en estado estable.
- Hacer el cierre de las tres fases en el instante de tiempo en el que ambos flujos (residual y prospectivo) coincidan o se hacen iguales, con la fase identificada (Fase A), ver figura 24 y en donde las otras dos fases (Fase B y Fase C) son de igual magnitud y de polaridad opuesta de manera que el flujo residual entre estas dos fases se anule en el momento del cierre del interruptor del autotransformador.

**Figura 21**

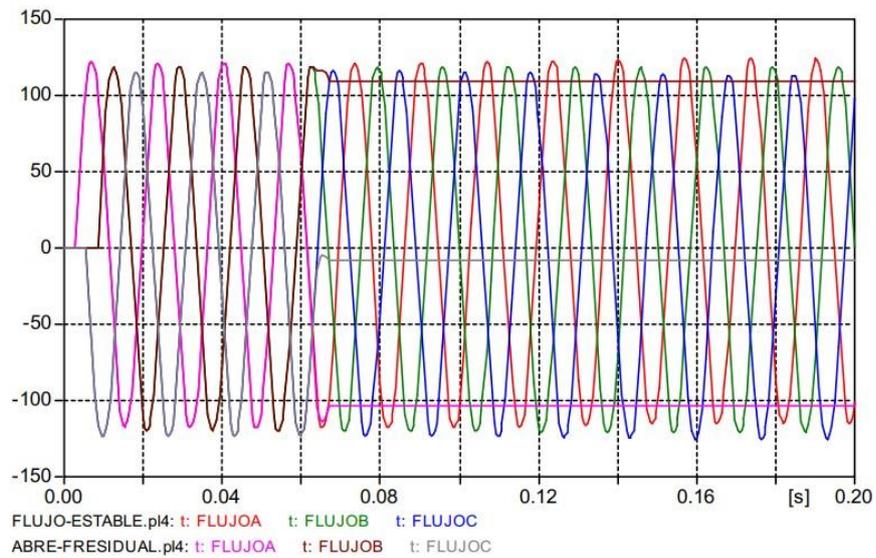
*Flujo remanente del autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 22**

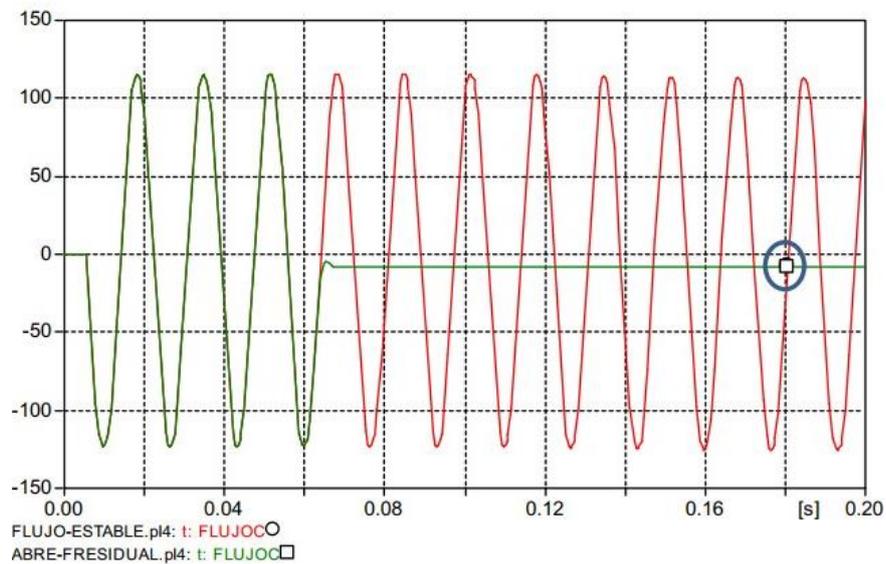
*Flujo prospectivo en autotransformador ATR-001 de San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 23**

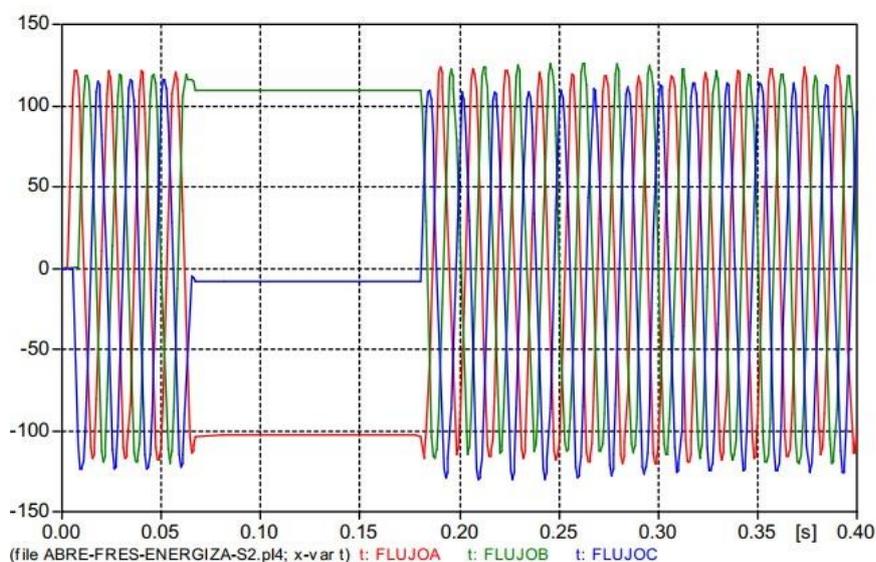
*Flujo remanente en autotransformador ATR-001 de San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 24**

*Tiempos de cierre para mando sincronizado*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

En la Tabla 17 se presentan las mayores corrientes de Inrush encontradas para los casos de energización del autotransformador ATR-001, considerando el relé de mando sincronizado.

**Tabla 17**

*Máximas corrientes de Inrush con mando sincronizado*

Caso	Extremo energizado (kV)	Corriente base (Apico)	Corriente Máxima (Apico)	Corriente Máxima (p.u.)
Caso 1			55.26	0.0564
Caso 2			48.29	0.0493
Caso 3			53.54	0.0546
Caso 4	500	980	49.42	0.0504
Caso 5			<b>56.94</b>	<b>0.0581</b>
Caso 6			49.34	0.0503
Caso 7			55.32	0.0564
Caso 8			47.77	0.0487

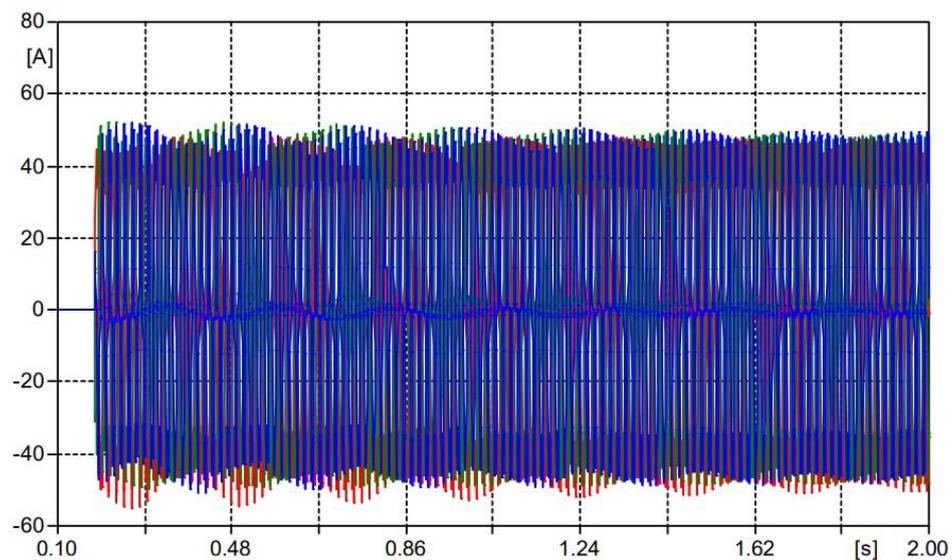
Nota. Adaptado de la actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

La máxima corriente de inrush en el autotransformador de la subestación San José 500/220/33 kV (ATR-001) fue de 56,94 Apico (0,0581 p.u.), esta magnitud de corriente se considera muy baja y está por fuera de la zona de operación de la protección sobrecorriente de fases (51/50), la cual típicamente está entre 10 p.u. a 12 p.u respecto a la corriente nominal del transformador.

De la figura 25 a la figura 32, se presentan las máximas corrientes de energización en los autotransformadores en la subestación San José 500 kV.

### **Figura 25**

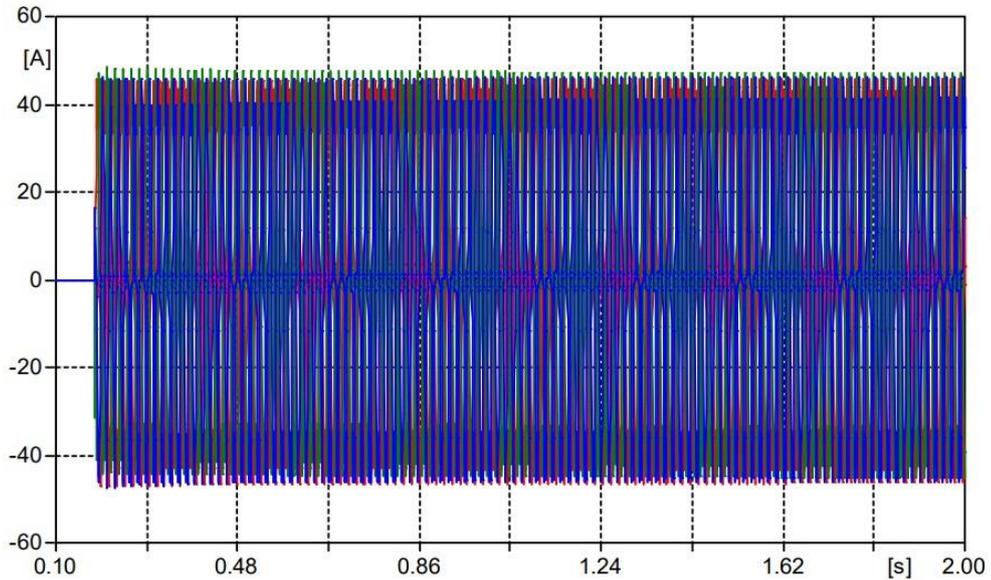
*Caso 1. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 26**

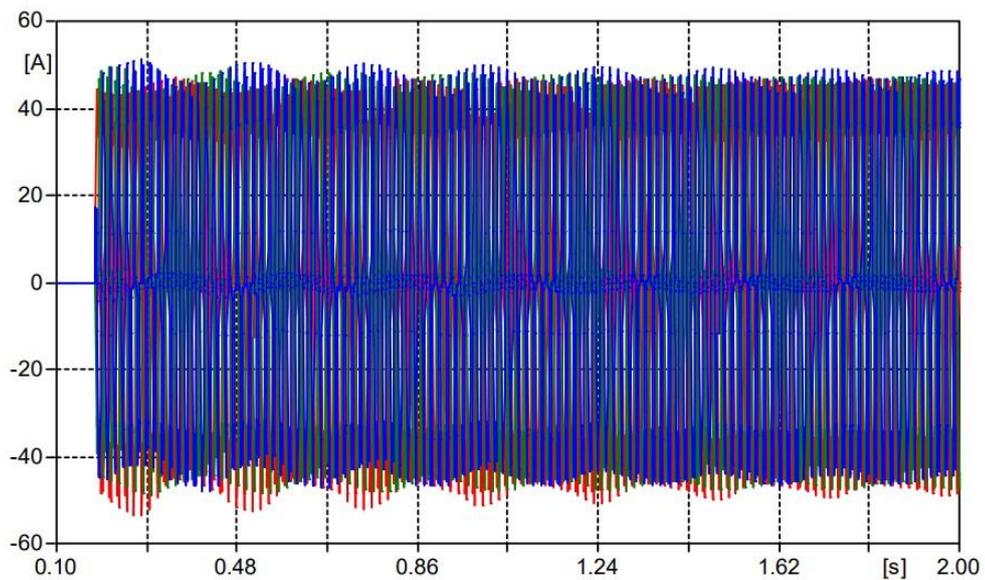
*Caso 2. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 27**

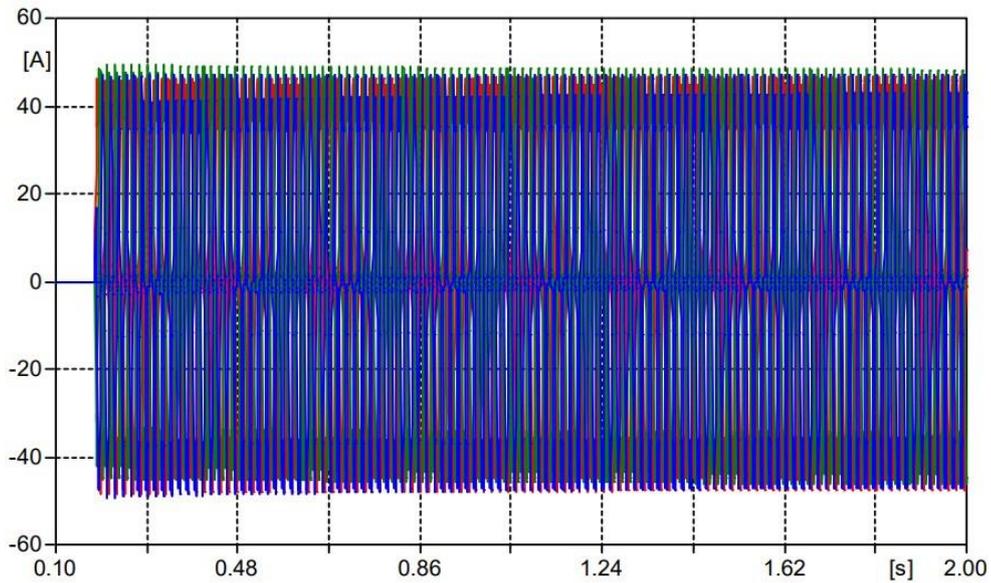
*Caso 3. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 28**

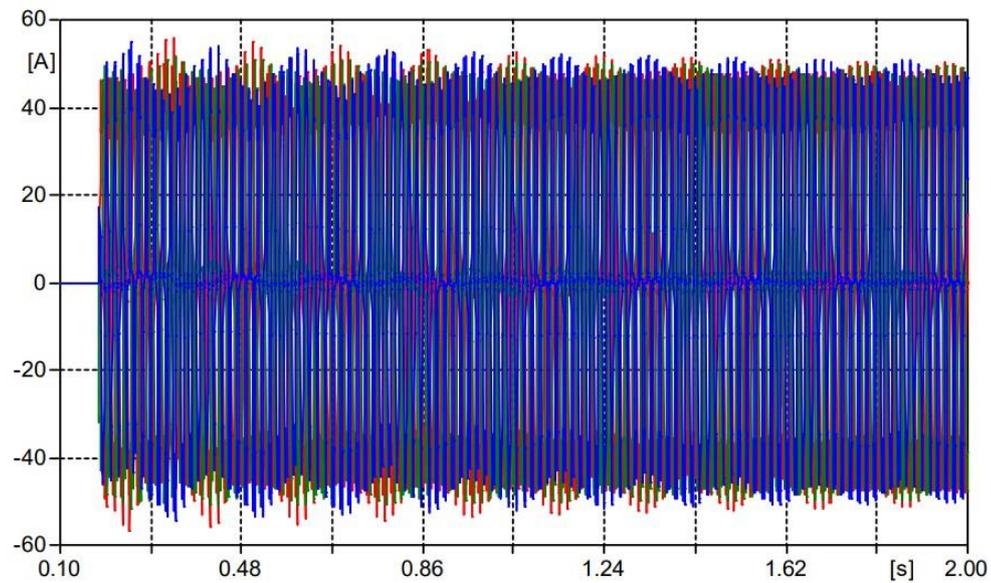
*Caso 4. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 29**

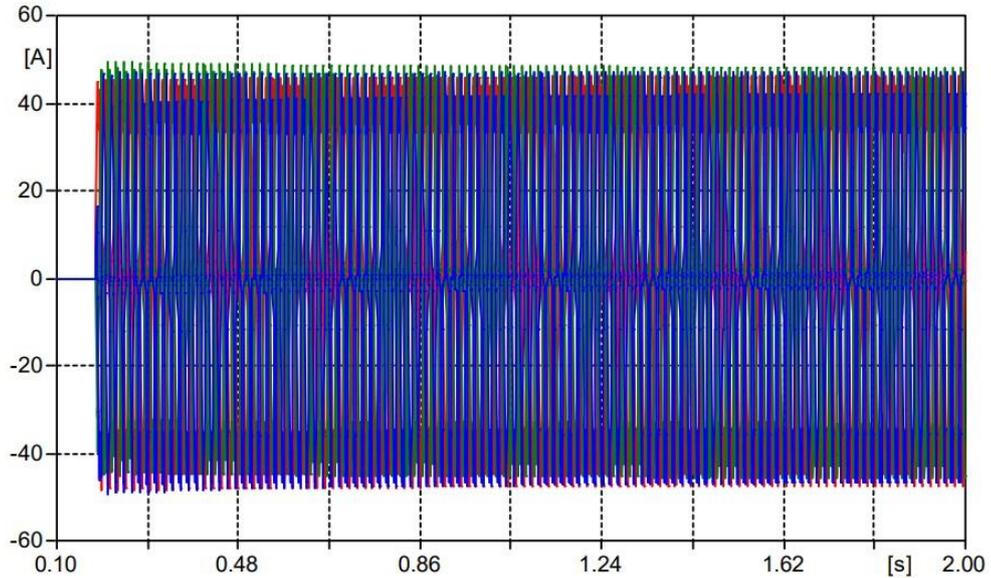
*Caso 5. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 30**

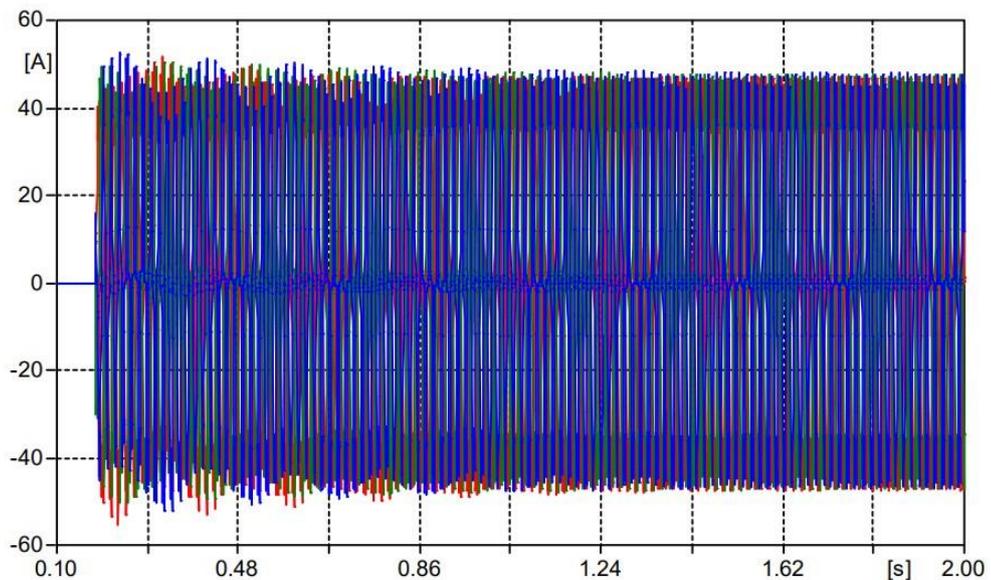
*Caso 6. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 31**

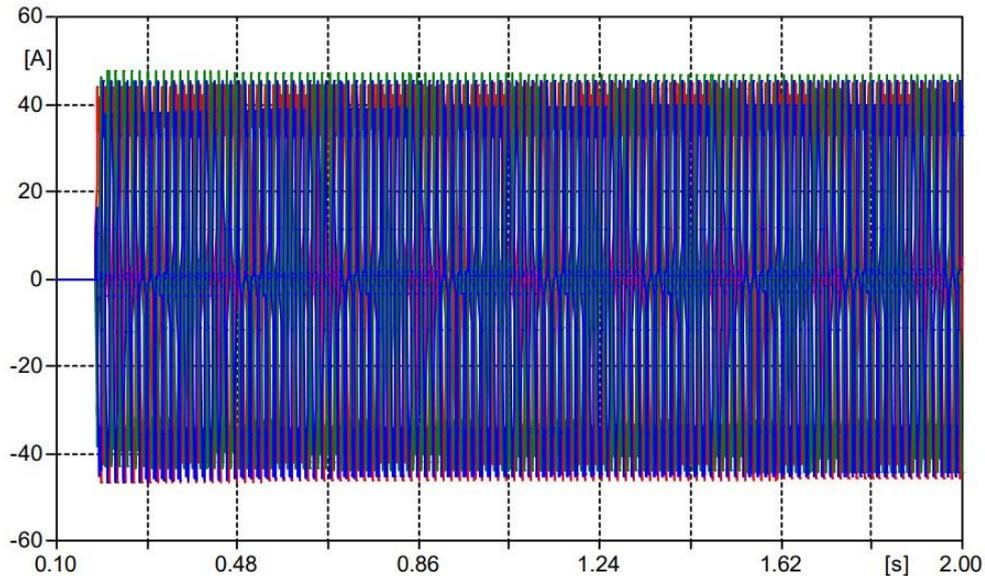
*Caso 7. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

### Figura 32

*Caso 8. Corrientes pico de inrush con mando sincronizado energizando autotransformador ATR-001 San José 500kV*



Nota. Actualización de estudios de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

#### **4.2.1.2 Lineamiento en la elaboración de ingeniería para la implementación de mando sincronizado**

Luego de realizar las simulaciones y observar que la corriente inrush se reduce al utilizar mando sincronizado mediante la metodología de flujo residual para energizar los ATR-001 y ATR-002, se procedió a realizar la ingeniería de implementación de mando sincronizado en la SE San José 500 kV, que tiene configuración de interruptor y medio. La subestación cuenta con 03 gabinetes de campo (Q11, Q13 y Q15) para los relés de mando sincronizado de la referencia F236 de ABB, los cuales serán reemplazados por 03 relés de mando sincronizado de la referencia Synchroteq Plus del fabricante Vizimax, ubicados en 01 gabinete en la caseta de control de la subestación.

Para la implementación, se actualizó y elaboró los siguientes planos, documentos y protocolos:

## 1. Planos:

- **Esquema unifilar general:**

En el plano de esquema unifilar se representó la disposición de los componentes electromecánicos, la identificación de equipos, la conexión de equipos, la configuración y el funcionamiento de la subestación San José 500 kV, según se detalla en la tabla N°18 y en la figura N°08.

**Tabla 18**

*Nomenclaturas de componentes del diagrama unifilar de la SE San José 500kV*

<b>Zona</b>	<b>Codificación</b>	<b>Nombre</b>
<b>Asociado al interruptor superior – INT-5971 con la barra A</b>	SBA-5971	Seccionador de barra A
	INT-5971	Interruptor de barra A
	TCA-5971	Transformador de corriente
	SBL-5971	Seccionador de enlace
	SAT-5971	Seccionador con puesta a tierra
	PRT-5971	Pararrayo o Descargador de sobretensión
	ATR-001	Autotransformador 001
	TTT-5971	Transformador de tensión
<b>Asociado al interruptor central – INT-5952</b>	SCA-5952	Seccionador de enlace
	INT-5952	Interruptor central
	TCC-5952	Transformador de corriente
	SCB-5952	Seccionador de enlace
<b>Asociado al interruptor superior – INT-5972 con la barra B</b>	SAT-5972	Seccionador con puesta a tierra
	PRT-5972	Pararrayo o Descargador de sobretensión
	ATR-002	Autotransformador 002
	TTT-5972	Transformador de tensión
	SBL-5972	Seccionador de enlace
	TCB-5972	Transformador de corriente
	INT-5972	Interruptor de barra B
	SBB-5972	Seccionador de barra B

Nota. Elaboración propia.

- **Esquemas de disposición mecánica de tablero de mando sincronizado.**

En el plano se representó el tipo de tablero utilizado, las características principales y la disposición de los equipos internos del tablero de mando sincronizado de la subestación San José 500 kV, conforme a lo detallado en la tabla N°19.

**Tabla 19**

*Características del tablero de mando sincronizado*

<b>Características del tablero de mando sincronizado</b>			
Tablero de uso interior, tipo auto soportado, marca RITTAL, modelo TS8, color RAL 7035, de dimensiones 800x800x2200 mm con puerta frontal de vidrio templado.			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción de equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
01	Switch de comunicación	ABB	AFS670
03	Equipo de mando sincronizado	VIZIMAX	SYCHROTEP PLUS
01	Bandeja porta laptop	-PT1	IU
01	Tomacorriente de 2X10 A + Tierra	BTICINO	BTICINO
03	Pulsador de mando de apertura color verde	ABB	ABB

Nota. Elaboración propia.

**Figura 33**

*Tablero Rittal para relés de mando sincronizado*



Nota. Sistema de armarios ensamblables TS 8, chapa de acero ([rittal.com](http://rittal.com))

- **Esquema funcional de tablero de mando sincronizado**

En el plano se representó de forma general los esquemas eléctricos de operación y lógica de control del mando sincronizado de la subestación San José 500 kV, de acuerdo con lo detallado en la tabla N°20.

**Tabla 20**

*Elementos generales del plano funcional de mando sincronizado*

<b>Elementos del plano funcional</b>	
<b>Generales</b>	Esquema de iluminación, tomacorriente y calefacción.
	Distribuciones en 125Vdc
	Alimentación DC de equipo Switch
<b>Armario de campo Q11</b>	Módulos de entradas digitales
	Módulos de salidas digitales
	Módulo de medida de sensores de voltaje
	Módulo de sensor de temperatura
	Módulo de bypass entrada digitales
	Módulo de señales análogas
	Módulo de bypass entrada digitales
	Módulo de bypass salida digitales
<b>Armario de campo Q13</b>	Módulos de entradas digitales
	Módulos de salidas digitales
	Módulo de medida de sensores de voltaje
	Módulo de sensor de temperatura
	Módulo de bypass entrada digitales
	Módulo de señales análogas
	Módulo de bypass entrada digitales
	Módulo de bypass salida digitales
<b>Armario de campo Q15</b>	Módulos de entradas digitales
	Módulos de salidas digitales
	Módulo de medida de sensores de voltaje
	Módulo de sensor de temperatura
	Módulo de bypass entrada digitales
	Módulo de señales análogas
	Módulo de bypass entrada digitales
	Módulo de bypass salida digitales

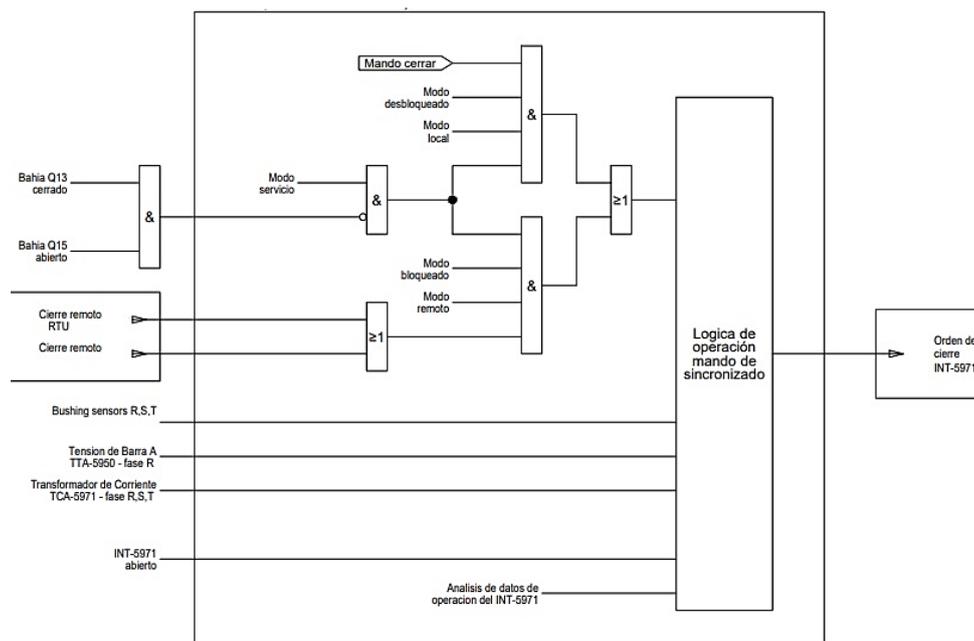
Nota. Elaboración propia.

- **Esquema de lógicos de control de mando sincronizado.**

En el plano se representó de forma general una representación esquemática de la lógica de funcionamiento del armario de campo al tablero de mando sincronizado de la subestación San José 500 kV. Se detalló las señales comunes de falla, cierre, aperturas, alarmas, entradas y salidas de señales, conforme a la información proporcionada.

**Figura 34**

*Esquema lógico del mando sincronizado*



Nota. Elaboración propia.

- **Equipos y conexión a ser conectados en el armario de campo Q11, Q13 y Q15**

En el plano se representó de forma general todos los equipos de alimentación, relés, relés auxiliares, contactores, borneras, pulsadores y señalizaciones para la conexión interna de los armarios de campos y el tablero de mando sincronizado, de acuerdo con la información proporcionada.

**2. Documentos:**

- **Lógica general de operación del mando sincronizado**

En el documento, presenté las condiciones generales de acciones permitidas y no permitidas que se deberán respetar para la operación del mando sincronizado de la subestación San José 500 kV, de acuerdo con lo detallado en la tabla N°21.

**Tabla 21***Condiciones de operación del mando sincronizado*

<b>Condiciones de operación</b>
No está permitida la energización, ni desenergización de los 02 autotransformadores (ATR 001 y ATR 002) a la vez
No está permitida la energización, ni desenergización del ATR 001 mediante el interruptor INT-5972
No está permitida la energización, ni desenergización del ATR 002 mediante el interruptor INT-5971
No está permitida la activación automática del módulo ByPass
No está permitida la activación remota del módulo ByPass
El módulo ByPass sólo se activará en modo local
Se tendrá un pulsador de apertura de respaldo en caso de falla del mando sincronizado Vizimax

Nota. Elaboración propia.

- **Ficha de conexionado interno y externo**

En el documento de ficha de conexionado interno representé el diámetro, tipo y metrado del cable desde un terminal a otro terminal del tablero de mando sincronizado.

En caso del conexionado externo se detalla los mismos datos mencionados pero conectados entre armarios de campos Q11, Q13 y Q15 al tablero de mando sincronizado de la subestación San José 500kV.

- **Lista de cables y materiales**

En el documento de lista de cables y materiales se detalló las características del cableado interno y sus componen del tablero de mando sincronizado de la subestación San José 500kV como se muestra en la tabla N°22 y 23.

**Tabla 22***Características de cables*

<b>Características de cables</b>		
Los cables para control, medición y protección serán de tipo FREETOX NH-80		
<b>Descripción de equipo</b>	<b>Color</b>	<b>Diámetro</b>
Circuito de corriente	Azul	2.5 mm <sup>2</sup>
Circuito de tensión	Rojo	2.5 mm <sup>2</sup>
Cableado de control, señalización y fuerza	Negro	2.5 mm <sup>2</sup>
Aterramiento de equipos	Amarillo/Verde	2.5 mm <sup>2</sup>

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 23***Materiales para el montaje del tablero de mando sincronizado*

<b>Materiales para el montaje del tablero de mando sincronizado</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción de equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
04	Canaletas de cables 80x80mm	Canaplast	CNP.E124
01	Canaletas de cables 60x80mm	Canaplast	CNP.E114
01	Mini interruptor termomagnético 10 A incluyendo contacto auxiliar. Modelo: S2C-H6R	ABB	S202 K10A
07	Mini interruptor termomagnético 4 A incluyendo contacto auxiliar. Modelo: S2C-H6R	ABB	S202M K4AUC
04	Mini interruptor termomagnético 4 A incluyendo contacto auxiliar. Modelo: S2C-H6R	ABB	S202 K4A
06	Relés repetidores de 125 Vdc de 4 contactos	FINDER	55.34.9.125.0040
01	Nota de tensión 125/24 Vdc de 1 Amp	PHOENIX CONTACT	STEP-PS/1AC/24 DC/1.75
01	Aislador de corriente DC entrada única/salida 4-20mA	UNISURCE	--
211	Borneras de paso	PHOENIX CONTACT	UK 6N
24	Borneras de corriente	PHOENIX CONTACT	URTK/S
--	Riel simétrico 35mm x 7.5 mm	--	--
01	Luminaria con lámpara fluorescente 20 W	Starluz	--
01	Interruptor final de carrera	Hanyoung	HY-LS803N
01	Rejilla de ventilación incluye filtro	Rittal	SK3240.200
01	Barra de puesta a tierra	--	--
01	Termostato de ventilación	Rittal	SK3110.000

Nota. Elaboración propia.

#### **4.2.1.3 Lineamiento en la planeación del proyecto**

Conforme al libro (A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)–Seventh Edition, 2021), se precisa que para la ejecución de proyectos, como en el caso de la implementación de los 03 relés de mando sincronizado para mitigar la corriente inrush en la energización de los autotransformadores de la subestación San José 500kV, se debe considerar la gestión del proyecto bajo una metodología ágil y un enfoque al valor para desarrollar los lineamientos que garanticen el cumplimiento del alcance, tiempo y costo.

Presenté los lineamientos en la planeación del proyecto. Se contó con el contrato firmado entre la contratante y la contratista, que especificó la descripción del servicio, objetivo, alcance, tipo de contrato, monto contractual, forma de pagos, plazo, procedimiento de pago, incumplimientos, garantías, penalidades, responsabilidades, impuestos y términos legales.

Una vez que tenía el contrato firmado, fue crucial tener claro el alcance general del proyecto y proceder a elaborar el presupuesto cero del proyecto. Esto es importante porque, desde la etapa de oferta, se presentó un valor de venta basado en costos que a menudo no son muy precisos, comprometiendo la utilidad. En el presupuesto cero, se consideró todos los costos implicados en la ejecución para presentar la utilidad proyectada. En este proyecto, se elaboró un presupuesto cero considerando las siguientes actividades, como se muestra en la figura 35.

**Figura 35**

*Presupuesto cero del proyecto*

Centro de costos	Unidad	Cantidad	Oferta (USD)		Presupuesto Cero (USD)		Diferencia USD Equivalentes (Oferta - Presupuesto 0)
			Valor Unitario	Valor Total	Valor Unitario	Valor Total	
<b>INGENIERÍA</b>				<b>USD 11,718.75</b>		<b>USD 9,697.19</b>	<b>USD 2,021.56</b>
Revisión y actualización de ingeniería	Gl	1.00	USD 6,718.75	USD 6,718.75	USD 7,111.14	USD 7,111.14	-USD 392.39
Actualización del estudio de energización	Gl	1.00	USD 5,000.00	USD 5,000.00	USD 2,586.05	USD 2,586.05	USD 2,413.95
<b>COMPRAS</b>				<b>USD 18,876.00</b>		<b>USD 16,932.38</b>	<b>USD 1,943.62</b>
Tarjeta SPSBO							
Suministro principal tarjeta SPSBO	Und	3.00	USD 5,849.00	USD 17,547.00	USD 5,290.00	USD 15,870.00	USD 1,677.00
Transporte Canada - Perú	Gl	1.00	USD 993.00	USD 993.00	USD 898.00	USD 898.00	USD 95.00
Compra de contactos para MCBs	Gl	1.00	USD 336.00	USD 336.00	USD 164.38	USD 164.38	USD 171.62
<b>MONTAJE Y PRUEBAS</b>				<b>USD 97,059.77</b>		<b>USD 75,408.82</b>	<b>USD 21,650.95</b>
<b>Costos indirectos</b>							
Residente EM	mes	1.00			USD 4,176.04	USD 4,176.04	
Técnico electricista	mes	2.00			USD 1,442.67	USD 2,885.34	
Insumos	Gl	1.00			USD 500.00	USD 500.00	
Suministros menores	Gl	1.00			USD 1,000.00	USD 1,000.00	
Envío de materiales	Gl	1.00			USD 500.00	USD 500.00	
Camioneta	Gl	1.00				USD 3,287.67	
Heramientas y materiales	Gl	1.00					
<b>Ejecución</b>	Gl	1.00	<b>USD 97,059.77</b>	<b>USD 97,059.77</b>		<b>USD 63,059.77</b>	
Recableado del tablero (45%)				USD 36,026.90		USD 28,376.90	USD 7,650.00
Pruebas SAT (45%)				USD 36,026.90		USD 28,376.90	USD 7,650.00
Puesta en servicio (10%)				USD 6,305.98		USD 6,305.98	USD 0.00
<b>COSTOS INDIRECTOS Y GERENCIA</b>				<b>USD 44,255.47</b>		<b>USD 41,521.01</b>	<b>USD 2,734.46</b>
<b>Personal</b>							
Personal Directivo en Sede	Gl	1.00	USD 5,915.18	USD 5,915.18	USD 5,370.26	USD 5,370.26	USD 544.92
Personal en campo	Gl	1.00	USD 22,101.23	USD 22,101.23	USD 20,988.77	USD 20,988.77	USD 1,112.46
<b>Instalaciones Locativas</b>							
Alquiler o construcción de instalaciones para comedor	Gl	3.00	USD 1,800.00	USD 5,400.00	USD 1,800.00	USD 5,400.00	USD 0.00
Compra de hardware para ingenieros	Gl	2.00	USD 800.00	USD 1,600.00	USD 100.00	USD 200.00	USD 1,400.00
<b>Servicios Mensuales en Obra</b>							
Servicio de celular	Gl	8.00	USD 50.00	USD 400.00	USD 50.00	USD 400.00	USD 0.00
Compra de celulares	Gl	2.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 153.85	USD 307.69	-USD 307.69
<b>Transportes</b>							
Camionetas	Gl						
Maquina seca	día	60.00	USD 110.00	USD 6,600.00	USD 70.00	USD 4,200.00	USD 2,400.00
Combustible	día	60.00	USD 20.00	USD 1,200.00	USD 15.38	USD 923.08	USD 276.92
Transporte para llevar las instalaciones locativas	día	2.00	USD 0.00	USD 0.00	USD 256.41	USD 512.82	-USD 512.82
<b>Garantías y Seguros</b>							
Fiel cumplimiento	Gl	1.00	USD 809.44	USD 809.44	USD 1,801.99	USD 1,801.99	-USD 992.55
Anticipo	Gl	1.00			USD 1,416.40	USD 1,416.40	-USD 1,416.40
Financiación	Gl	1.00	USD 229.61	USD 229.61	USD 0.00	USD 0.00	USD 229.61
<b>SUBTOTAL</b>				<b>USD 171,909.99</b>		<b>USD 143,559.40</b>	<b>USD 28,350.59</b>
<b>AIU</b>				<b>USD 36,171.21</b>		<b>USD 36,171.21</b>	
Administración	Und	0.11		USD 22,781.42		USD 22,781.42	
Imprevistos	Und	0.03		USD 5,738.10		USD 5,738.10	
Utilidad	Und	0.04		USD 7,651.70		USD 7,651.70	
<b>TOTAL</b>				<b>USD 208,081.20</b>			
<b>CONTINGENCIA Y RIESGOS</b>	Gl			USD 3,438.20			
<b>GRAN TOTAL VENTA</b>				<b>USD 211,519.40</b>		<b>RENTABILIDAD DEL PROYECTO</b>	<b>USD 36,002.29</b>

Nota. Elaboración propia.

Se elaboró el cronograma del proyecto en MS Project para garantizar una línea base y realizar un seguimiento de las actividades presentadas al contratante. Se eligió MS Project debido a su amplio alcance, que permite ingresar porcentajes de avance, costos del proyecto, líneas base y generar indicadores como el PV (Valor planeado), AC (Costo Real), EV (Valor Ganado), CPI (Índice de Rendimiento del Costo), SPI (Índice de Rendimiento del Cronograma), que son fundamentales para medir la rentabilidad del proyecto en tiempo y costo. Este cronograma se muestra en el Anexo 4.

Para la comunicación con el cliente, se elaboraron las matrices de comunicación y el organigrama para garantizar un flujo adecuado y que las comunicaciones lleguen a los involucrados del proyecto. Tanto las matrices de comunicación como el organigrama siguen la estructura mostrada en la siguiente tabla 24 e figura 36, respectivamente.

**Tabla 24**

*Matriz de comunicaciones*

<b>Matriz de comunicaciones</b>					
<b>Proyecto: Comisionamiento de relés de mando sincronizado de marca Vizimax en la subestación San José 500kV</b>					
<b>Cargo</b>	<b>Persona de contacto</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Comunicaciones</b>		
			<b>Cartas</b>	<b>Electrónicas</b>	<b>Celular</b>
<b>Área de proyecto</b>					
Gerente General					
Director del proyecto					
Ingeniero asistente					
Compras					
Administrador de obra					
<b>Área de ingeniería</b>					
Ingeniero de estudios eléctricos					
Ingeniero de sistemas secundarios					
<b>Supervisión</b>					
Ingeniero Residente					
Ingeniero HSE					
Ingeniero de protección y control					
Ingeniero de pruebas de equipos de patio					
Especialista vendor de la marca Vizimax					

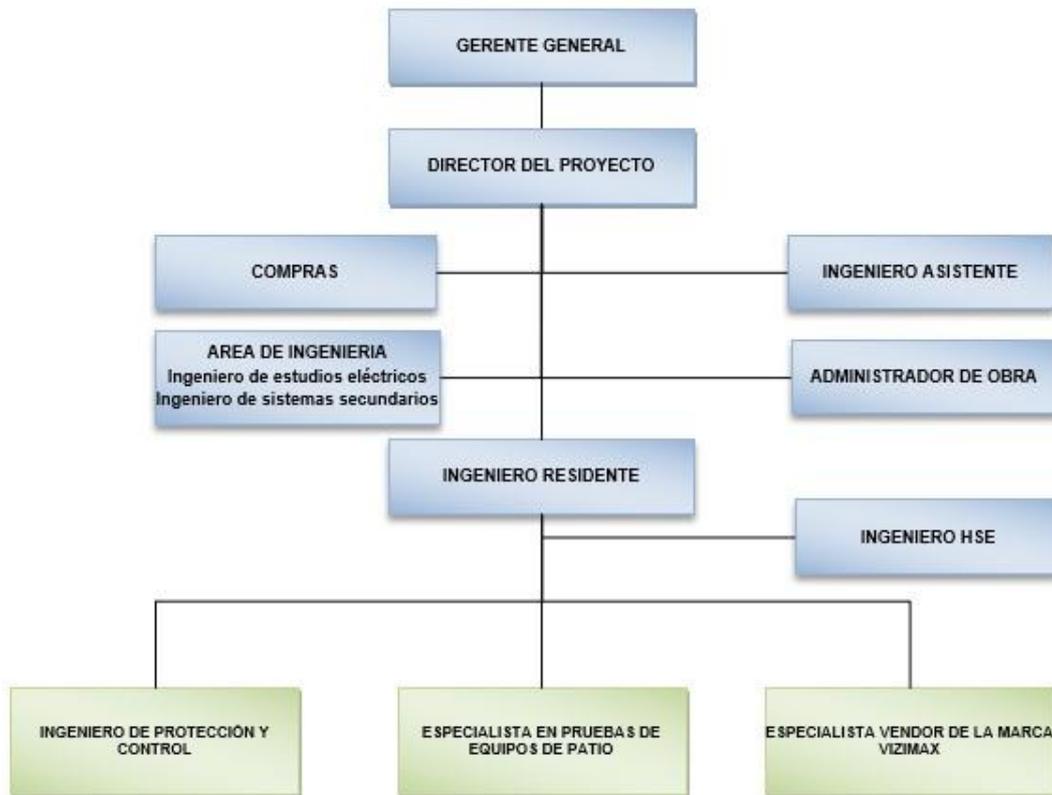
Nota. Elaboración propia.

**Figura 36**

*Organigrama de proyecto*

## ORGANIGRAMA

Comisionamiento de relés de mando sincronizado de marca Vizimax en la subestación San José 500kV



Nota. Elaboración propia.

En los procesos administrativos, fue crucial tener en cuenta los hitos de facturación y los hitos de ingresos y egresos. La presentación de las valorizaciones, conforme a los hitos del proyecto, dependerá de la empresa. Se presentó la valorización y sus anexos con los sustentos. Una vez aprobada por el cliente, se presentó un acta que formalizó la entrega y validación de la valorización presentada. En el Anexo 05, se muestra un modelo para la valorización.

En los procesos de recursos humanos, fue esencial considerar el reclutamiento de profesionales con experiencia, teniendo en cuenta las bases del contrato que detallan los años de experiencia, la carrera del profesional y la cantidad de proyectos realizados con similitudes.

En los procesos de ingeniería, se contó con un documento maestro que muestre el estado de los documentos, si están aprobados (A), aprobados con comentarios (ACC) o

devueltos por comentarios (DPC) por el cliente. Además, incluía las fechas de envío, fechas de recepción de documentos, días de retraso de entrega por la contratista y días de retraso de revisión del cliente. Esto permitió llevar un orden y seguimiento de los documentos y planos del proyecto.

En el proceso de compras, gestioné órdenes de compra (OC) para materiales solicitados por ingeniería, suministros de relé Vizimax, bushing sensors, tableros, cables de control y protección, herramientas, estaciones de emergencia, estaciones de residuos sólidos, entre otros.

Para el personal, se consideró la compra de Equipos de Protección Personal (**EPP**) especiales, ya que se realizaron trabajos en circuito energizado. Conté con trajes ignífugos con una capacidad específica y estar homologados con el estándar del cliente. También realicé órdenes de servicio (OS) para el alquiler de camionetas, concesionaria de alimentos, contenedores de oficinas, baños químicos, lavamanos, vigilancia y otros requerimientos del proyecto.

En el proceso de habilitación del personal, se tuvo en cuenta que la SE San José 500kV está dentro de la minera Sociedad Minera Cerro Verde, que maneja estándares de seguridad elevados. El personal fue capacitado mediante cursos específicos para su acreditación en la mina. Para ingresar a la SE San José 500kV, se presentó la documentación del personal, la guía de remisión de los materiales y equipos.

#### **4.2.1.4 Lineamiento para montaje de relés Synchroteq Plus en tablero de mando sincronizado.**

El lineamiento para el montaje de los 03 relés Synchroteq Plus de la marca Vizimax, con las referencias C2-5210-IED-2101, C2-5210-IED-2102 y C2-5210-IED-2103, en el tablero de mando sincronizado. Estos relés operan los interruptores de potencia INT-5971, INT-5952 e INT-5972 con el propósito de mitigar las corrientes inrush en la energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV.

En la figura 37 se muestra el relé Synchroteq Plus Unit STP 030000 de la marca Vizimax. Este dispositivo desempeña un papel crucial en la mejora del rendimiento y la confiabilidad de los interruptores automáticos de alta tensión. Logra esto controlando con precisión la conmutación del interruptor, lo que reduce el estrés en los dispositivos eléctricos y minimiza el desgaste del interruptor. Además, la plataforma SynchroTeq Plus proporciona una monitorización exhaustiva del interruptor, lo que facilita la identificación y resolución rápida de problemas.

**Figura 37**

*SynchroTeq Plus Unit STP 030000*

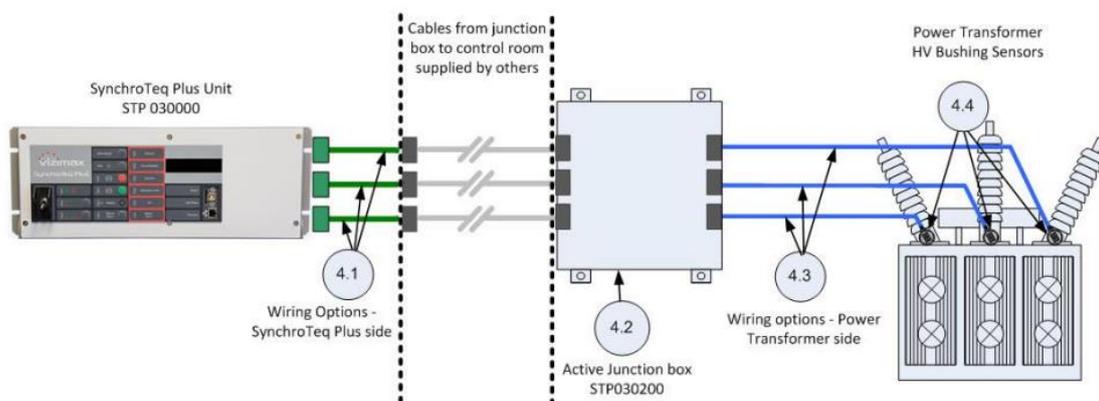


Nota. <https://www.vizimax.com/synchroteq/>

En la figura 38, se proporciona una descripción detallada de la conexión externa del relé Synchroteq Plus Unit STP 030000. Esta conexión se realiza hasta la Active Junction Box mediante cables de control. Posteriormente, se especifica el cableado desde la Active Junction Box hasta los bushing sensors del autotransformador.

**Figura 38**

*Conexión externa del SynchroTeq Plus Unit STP 030000*

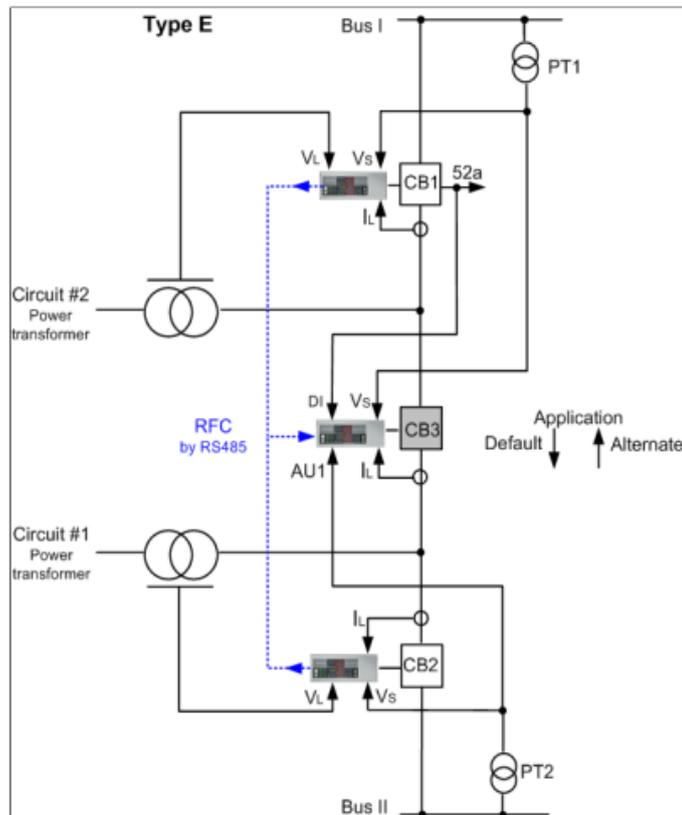


Nota. <https://www.vizimax.com/synchroteq/>

En la figura 39, se presenta un diagrama unifilar que detalla la conexión de los 03 relés Synchroteq Plus Unit STP 030000, cada uno asociado a un interruptor específico en la subestación de interruptor y medio. En este esquema, se observa que el relé ubicado en la parte inferior y superior recibe la señal de voltaje (VL) de los autotransformadores 01 y 02. En cambio, el relé correspondiente al interruptor medio recibe las señales del flujo residual provenientes de los relés ubicados en la parte superior e inferior.

**Figura 39**

*Diagrama unifilar de los relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000*



Nota. <https://www.vizimax.com/synchroteq/>

Una vez aprobada la ingeniería, se inició con la instalación de los 03 relés Synchroteq Plus en el tablero de mando sincronizado, como se muestra en la figura 40. Antes de iniciar el montaje, se verificó la disponibilidad de todos los componentes necesarios y garantizar la seguridad del entorno de trabajo. Los relés se fijaron a una placa de montaje utilizando tornillos para asegurar una sujeción adecuada.

### **Figura 40**

*Instalación de 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 41 se muestra el cableado interno de los 03 relés Synchroteq Plus, conforme a los planos esquemáticos. Los materiales se detallaron en el listado de cables internos y en el plano metalmecánico del tablero.

## Figura 41

*Cableado interno de 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 42, se aprecian los acabados finales que se realizan en el cableado interno de los 03 relés Synchroteq Plus. Esto incluye el peinado de los cables y el marcado de cada entrada y salida de los cables.

**Figura 42**

*Peinado y marquillado de cables internos de los 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 43, se observan la actividad de megado de los cables internos donde se revisó su continuidad, y el amarillado en los planos de conexión interna para asegurarse de que la conexión interna de los relés en el tablero fuera correcta.

**Figura 43**

*Megado y amarillado de cables internos de los 03 relés SynchroTeq Plus Unit STP 030000*

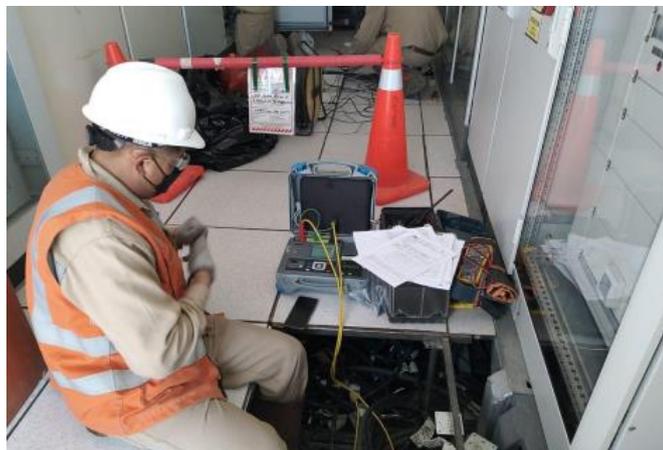


Nota. Elaboración propia.

En la figura 44, se observan la actividad de megado de los cables externos que fueron conectados al MCB del tablero de mando sincronizado.

**Figura 44**

*Megado de cables externos de gabinetes de campo al tablero de mando sincronizado*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 45, se observa la finalización de acabados en las conexiones internas del tablero y se procedió a realizar las pruebas SAT de los relés.

**Figura 45**

*Culminación de conexión interna, externa y pruebas SAT a los Relés*



Nota. Elaboración propia.

Para las pruebas SAT de los tableros, se consideró una inspección visual y física del tablero de mando sincronizado, así como el control del proceso y las entradas binarias de dispositivos en dicho tablero. La información que se tuvo en cuenta fue la siguiente:

**1. Inspección visual y física del tablero de mando sincronizado Vizimax:**

**Tabla 25**

*Inspección visual y física de tablero de mando sincronizado*

<b>1.1</b>	<b>Dimensionado</b>	<b>Estado</b>
	Verificación de las dimensiones externas	Conforme
<b>1.2</b>	<b>Puerta frontal exterior</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado exterior	Conforme
	Lamina de vidrio templado	Conforme
	Etiqueta del Fabricante	Conforme
	Perno de Aterramiento de puerta	Conforme
	Cerradura y llaves	Conforme

	Bisagras de puerta	Conforme
	Empaquetadura	Conforme
<b>1.3</b>	<b>Plancha exterior lateral izquierda</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado exterior	Conforme
	Perno de Aterramiento de puerta	Conforme
	Empaquetadura	Conforme
<b>1.4</b>	<b>Plancha exterior lateral derecha</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado exterior	Conforme
	Perno de Aterramiento de puerta	Conforme
	Empaquetadura	Conforme
<b>1.5</b>	<b>Plancha posterior del tablero</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado exterior	Conforme
	Perno de Aterramiento de puerta	Conforme
	Empaquetadura	Conforme
<b>1.6</b>	<b>Tapa superior del tablero</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado exterior	Conforme
	Cáncamos para izaje	Conforme
	Perno de Aterramiento de puerta	Conforme
	Empaquetadura	Conforme
	Estructura mecánica superior	Conforme
<b>1.7</b>	<b>Puerta interior (Bastidor)</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado exterior	Conforme
	Fijación de equipos	Conforme
	Ubicación de planchas de aluminio anonizado	Conforme
	Fijación de rieles y canaletas	Conforme
	Cerraduras superior e inferior	Conforme
	Etiquetas exteriores de identificación de equipos	Conforme
	Etiquetas exteriores de identificación de equipos	Conforme
	Perno de Aterramiento de puerta	Conforme
<b>1.8</b>	<b>Parte Interna – Lateral Izquierda</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado	Conforme
	Fijación de equipos	Conforme
	Fijación de rieles, canaletas, bornes y regleteros	Conforme
	Identificación de equipos según lista de materiales y regletero de bornes	Conforme
	Perno de Aterramiento	Conforme
<b>1.9</b>	<b>Parte Interna – Lateral Derecha</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado	Conforme
	Fijación de equipos	Conforme
	Fijación de rieles y canaletas	Conforme
	Identificación de equipos según lista de materiales y regletero de bornes	Conforme
	Perno de Aterramiento	Conforme
<b>1.10</b>	<b>Parte Interna – Posterior</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado	Conforme
	Fijación de equipos	Conforme
	Fijación de rieles, canaletas, bornes y regleteros	Conforme
	Identificación de equipos según lista de materiales y regletero de bornes	Conforme

	Perno de Aterramiento	Conforme
<b>1.11</b>	<b>Tapa para Entrada de Cables</b>	<b>Estado</b>
	Acabados y pintado	Conforme
	Fijación de tapa para entrada de cables	Conforme
	Zócalo del tablero	Conforme
	Fijación de tapas laterales del zócalo	Conforme

Nota. Elaboración propia.

## 2. Control de proceso del tablero de mando sincronizado Vizimax:

**Tabla 26**

*Control de proceso de tablero de mando sincronizado*

<b>2.1</b>	<b>Ensamble del Tablero</b>	<b>Estado</b>
	Los paneles cumplen con el grado IP y el color RAL	Conforme
	Los paneles cumplen con la descripción de los planos	Conforme
	Los parantes están completos y ensamblados correctamente	Conforme
	Se colocaron las estructuras metálicas del panel según los planos	Conforme
	Se colocaron las canaletas según lo indicado en el plano	Conforme
	Se colocaron todos los equipos según lo mostrado en el plano	Conforme
	Las canaletas se ubicaron según la disposición en los planos	Conforme
	Los equipos de ventilación y rejillas se instalaron según la disposición en los planos	Conforme
	La barra de tierra se ha instalado correctamente	Conforme
	Las tapas laterales están en perfecto estado (no están dobladas) con sus pernos de sujeción y se han instalado correctamente	Conforme
	El rack está colocado de manera correcta. El soporte de bastidor tiene la altura correcta	Conforme
	Las puertas móviles, abren, cierra, y giran con gran facilidad	Conforme
	Se ubicaron los soportes de los limits switchs de forma correcta	Conforme
	Los pisos móviles se ubicaron de forma correcta	Conforme
	No existen filos cortantes en la estructura	Conforme
	La tornillería y su utilización es la adecuada	Conforme
	La superficie de piezas pintadas o galvanizadas están en buen estado	Conforme
	La ubicación en el rack móvil de las tapas de aluminio del mismo color y acabado. Instalación de manera uniforme	Conforme
	El calado en las tapas de aluminio no debe tener rebabas y mantener la línea recta de calado o la forma circular según sea el diseño	Conforme

La instalación de equipos y accesorios en el bastidor móvil es de acuerdo a los planos mecánicos	Conforme
Correcto sistema de alumbrado, ventilación y calefacción	Conforme
Correcta visualización de placas de identificación y rótulos de equipos	Conforme
<b>2.2 Cableado</b>	<b>Estado</b>
El tipo y sección de los cables corresponde a lo descrito en los planos	Conforme
Los cables no se encuentran apoyados en zonas filosas, partes activas	Conforme
El material aislante de los cables se encuentra en buen estado	Conforme
Ninguna parte del cable (alambre) sobresale el terminal en ambos lados	Conforme
Están bien peinados los cables dentro de las canaletas	Conforme
Todos los cables que se dirigen desde el interior del Panel a la puerta deben estar bien ajustados y tener buen acabado con espiral	Conforme
La cantidad de cables que pasan por la canaleta no deben exceder el 90% de volumen de dicha canaleta	Conforme
Los terminales de conexión y los bornes corresponden al tamaño de los cables	Conforme
Solo debe haber 2 cables como máximo conectados a los bornes o equipos	Conforme
Todos los terminales deben tener un buen prensado y no deben estar deteriorados	Conforme
Todos los cables deben estar debidamente identificados y correctamente marquillados	Conforme
Los colores de los cables corresponden a los establecidos en planos	Conforme
La ejecución del peinado de los cables a los equipos en puerta está bien realizada	Conforme
Los bornes de paso están ajustados correctamente. Están bien instalados los puentes metálicos en los bornes de paso	Conforme
Los cables conectados en los bornes de los equipos están ajustados correctamente	Conforme
Los puentes metálicos aislados han sido instalados correctamente en los bornes de los relés	Conforme
Los bornes de corriente deben estar ubicados correctamente (lado A externo, lado B interno)	Conforme
Los bornes de corriente deben tener instalados sus puentes cortocircuitables y sus separadores de fase	Conforme
Los bornes de tensión y disparo deben estar ubicados correctamente (lado A externo, lado B interno)	Conforme
Los cables instalados en bornes de todos los equipos (relés repetidores, medidores, etc.)	Conforme

El cableado del circuito de corriente alterna del Panel esta conexionado correctamente	Conforme
Los cables de comunicaciones están peinados al interior de las canaletas del tablero	Conforme

Nota. Elaboración propia.

### 3. Entradas binarias de dispositivos del tablero de sincronizado Vizimax:

**Tabla 27**

*Entradas binarias de relés de mando sincronizado*

3.1	Descripción	Tensión de prueba Vdc	Estado
	Alimentación de Tarjeta	131	Conforme
	INT-5971 Posición Cerrado Fase R	131	Conforme
	INT-5971 Posición Cerrado Fase S	131	Conforme
	INT-5971 Posición Cerrado Fase T	131	Conforme
	INT-5971 Posición Abierto Fase R	131	Conforme
	INT-5971 Posición Abierto Fase S	131	Conforme
	INT-5971 Posición Abierto Fase T	131	Conforme
	Mando de Cierre de INT-5971	131	Conforme
	Mando de Apertura de INT-5971	131	Conforme
	Comunicación de Operación de ByPass	131	Conforme
	Reserva	131	Conforme
	Señal de Bloqueo Externo del Interruptor	131	Conforme
	Reserva	131	Conforme
	Mando de Cierre	131	Conforme
	Mando de Apertura	131	Conforme
	Relé Syncrotech fuera de servicio	131	Conforme
	Falla interna de módulo By-Pass	131	Conforme
	Falla interna de módulo By-Pass	131	Conforme
	Reserva	131	Conforme
	Syncrotech en By-Pass	131	Conforme
	Alarma: Equipo en falla	131	Conforme
	Alarma: Equipo fuera de servicio	131	Conforme
	Alarma: Falla sensor	131	Conforme
	Alarma: En Interfase con interruptor	131	Conforme
	Equipo en modo local	131	Conforme
	Problemas en el control de cierre	131	Conforme
	Problemas en el control de apertura	131	Conforme
	Mando de Cierre Interruptor Fase R	131	Conforme
	Mando de Cierre Interruptor Fase S	131	Conforme
	Mando de Cierre Interruptor Fase T	131	Conforme
	Alimentación del Bushing Sensor Fase R	131	Conforme
	Lectura de Tensión AC en Fase R	131	Conforme
	Temperatura de Buje Fase R - Reserva	131	Conforme
	Alimentación del Bushing Sensor Fase S	131	Conforme
	Lectura de Tensión AC en Fase S	131	Conforme

Temperatura de Buje Fase S - Reserva	131	Conforme
Alimentación del Bushing Sensor Fase T	131	Conforme
Lectura de Tensión AC en Fase T	131	Conforme
Temperatura de Buje Fase T - Reserva	131	Conforme

Nota. Elaboración propia.

En la figura 46 se muestra los bushing sensors que instalamos en los 06 bushing de los autotransformadores ATR-001 y ATR-002.

**Figura 46**

*Bushing sensors*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 47 se muestra la instalación de cada bushing sensor en las fases R, S y T de los bushing de los autotransformadores ATR-001 y ATR-002.

**Figura 47**

*Instalación de bushing sensor a los ATR-001 y ATR-002*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 48, se observa la desconexión de los relés de mando sincronizado ABB que dejarán de operar, ya que se reemplazó por los relés de mando sincronizado Vizimax.

## Figura 48

*Retiro de cableado de relés ABB existentes en gabinetes de campo*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 49, se observa el desmontaje de los 03 relés de mando sincronizado ABB que dejó de operar, ya que fueron reemplazados por los relés de mando sincronizado Vizimax.

### **Figura 49**

*Desmontaje de relés ABB existentes en gabinetes de campo*



Nota. Elaboración propia.

En la figura 50 se muestra el sellado del espacio abierto que dejó los relés de mando sincronizado ABB en los gabinetes de campo.

### **Figura 50**

*Sellado de espacios abiertos al desmontar los relés ABB*



Nota. Elaboración propia.

#### **4.2.1.5 Lineamiento para pruebas SAT de los 03 relés de mando sincronizado Sychroteq Plus**

Para realizar las pruebas SAT, se tuvo en cuenta que la subestación está en operación y los autotransformadores ATR-001 y ATR-002 están energizados. Por lo cual, programó cortes en la Subestación San José 500kV coordinando previamente con Sociedad Minera Cerro Verde (SMCV). Con el corte programado, se procedió al primer comisionamiento del nuevo tablero de mando sincronizado, instalado en la caseta de campo del diámetro 1 dentro de la SE San José 500 kV.

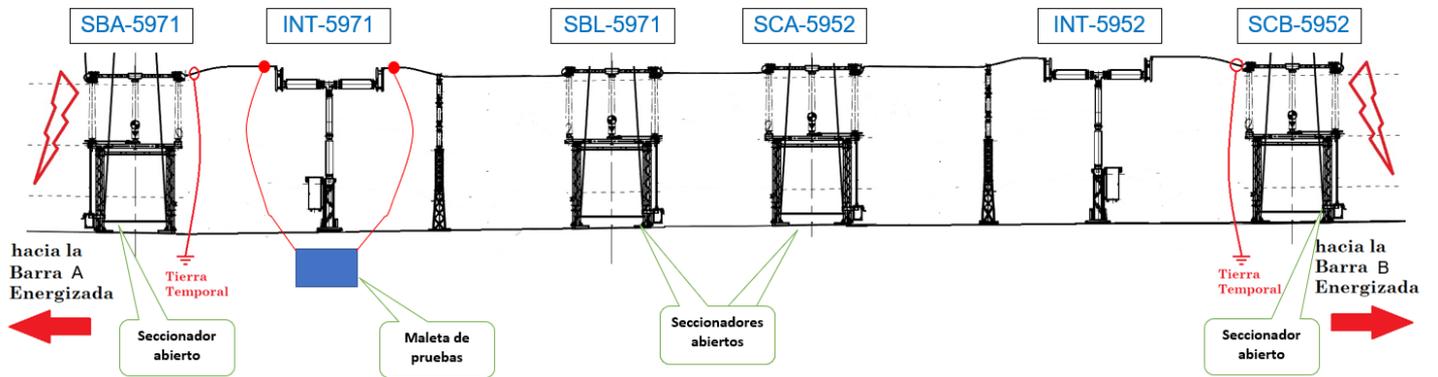
- **Prueba SAT al relé de mando sincronizado SychroTeq Pkus C2-5210-IED-2101 que opera al interruptor INT-5971:**

Primero, se realizó las pruebas en vacío (sin tensión) al interruptor INT-5971. Para esta prueba, los seccionadores SBA-5971, SBL-5971, SCA-5952 y SCB-5952 estaban abiertos para proceder con las pruebas de señalización y tiempos de operación de apertura y cierre del interruptor INT-5971, tal como se muestra en la figura 51. Este procedimiento se llevó a cabo según el siguiente lineamiento:

- Bloquear el autotransformador ATR-001.
- Instalar las tierras temporarias con un manlift.
- Posicionamiento del manlift.
- Instalación de la maleta de pruebas.
- Ejecución de las pruebas en vacío de 05 cierres y 05 aperturas de las Fases R, S y T del INT-5971.
- Verificación y validación de resultados.
- Diligenciamiento de los datos al protocolo.
- Desconexión de cables de maleta de pruebas.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Retiro del manlift.
- Desbloquear el autotransformador ATR-001.

**Figura 51**

*Esquema ilustrativo para pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5971*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 52**

*Pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5971*



Nota. Elaboración propia.

Los valores de los tiempos de operación para 5 aperturas y 5 cierres del interruptor INT-5971 se detallan en la tabla 28.

**Tabla 28***Tiempos de operación de apertura y cierre al INT-5971*

<b>Operaciones</b>	<b>Tiempo (ms)</b>		<b>Tiempo (ms)</b>
	<b>Fase R</b>	<b>Fase S</b>	<b>Fase T</b>
<b>Cierre 1</b>	53.280	52.341	52.703
<b>Apertura 1</b>	18.128	18.216	18.020
<b>Cierre 2</b>	54.384	53.961	54.358
<b>Apertura 2</b>	18.385	18.742	18.641
<b>Cierre 3</b>	54.258	51.964	54.128
<b>Apertura 3</b>	18.960	18.154	18.965
<b>Cierre 4</b>	53.896	52.254	54.842
<b>Apertura 4</b>	18.961	18.542	18.632
<b>Cierre 5</b>	53.485	53.846	54.312
<b>Apertura 5</b>	18.256	18.485	18.780

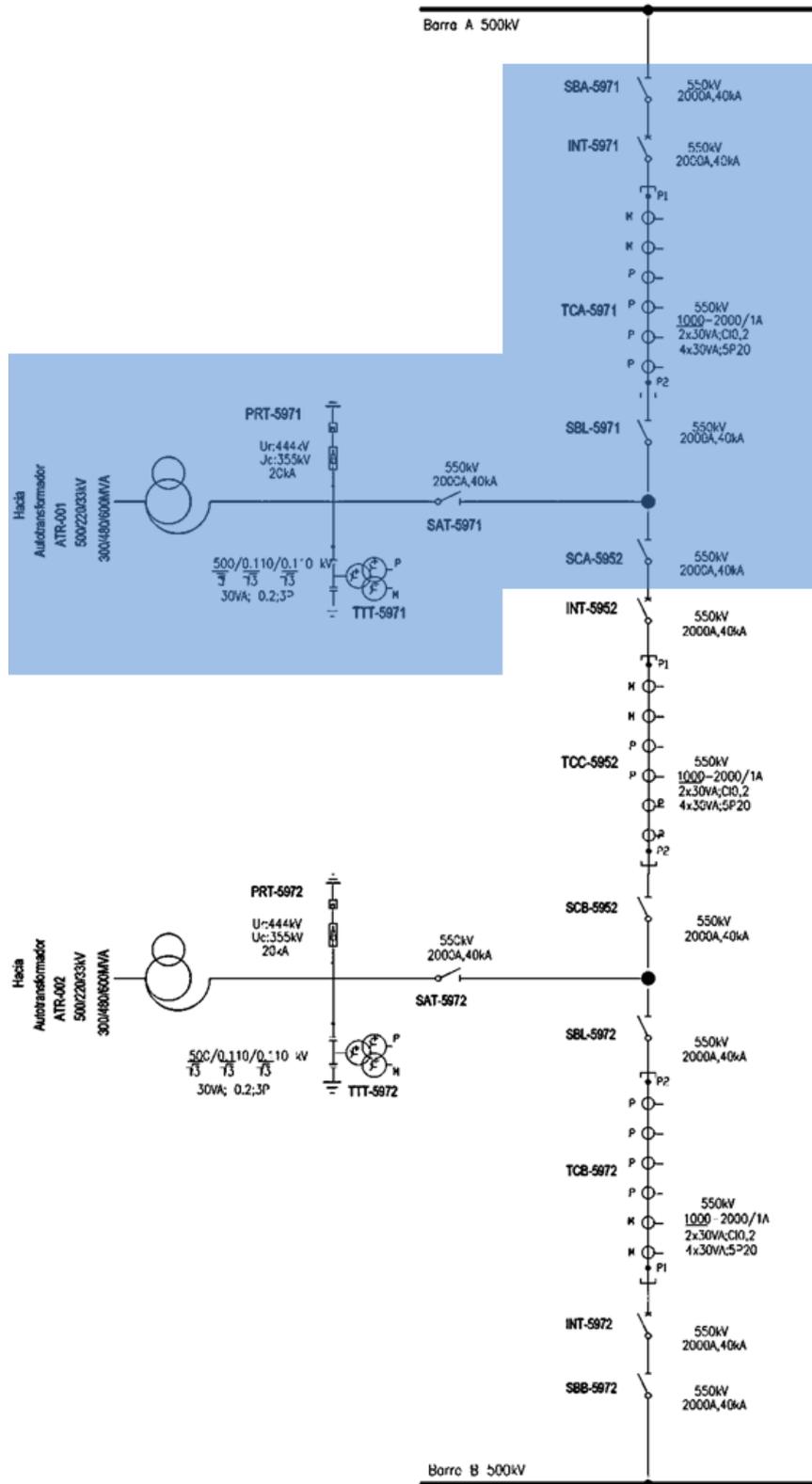
Nota. Elaboración propia.

Después de obtener los tiempos de operación de cierre y apertura sin tensión del INT-5971, se procedió al comisionamiento del relé de mando sincronizado SynchroTeq Plus C2-5210-IED-2101, que operaba el interruptor INT-5971 para energizar el autotransformador ATR-001, como se muestra en la figura 53. El comisionamiento se llevó a cabo mediante el siguiente lineamiento:

- Bloquear autotransformador ATR-001.
- Instalación de la maleta de pruebas.
- Verificación de ajustes finales pre energización.
- Desmagnetización del ATR-001.
- Ejecución de las pruebas de energización del autotransformador ATR-001 a través de la barra A con 13 energizaciones por el interruptor INT-5971.
- Extracción de eventos post energización, oscilografías.
- Verificación y validación de resultados.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Desconexión de cables de maleta de pruebas.
- Desbloquear el autotransformador ATR-001.

### Figura 53

Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2101 que opera al interruptor INT-5971 para energizar el autotransformador ATR-001



Nota. Elaboración propia.

Los valores de tiempos esperados (ms) y tiempos medidas (ms) de energización del autotransformador ATR-001 mediante el INT-5971 se detallan en la tabla 29.

**Tabla 29**

*Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-001 mediante el INT-5971*

	<b>CIERRE R</b>		<b>CIERRE S</b>		<b>CIERRE T</b>	
	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
	<b>esperado</b>	<b>medido</b>	<b>esperado</b>	<b>medido</b>	<b>esperado</b>	<b>medido</b>
	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>
<b>Energización 01</b>	54.21	53.568	55.05	54.945	55.87	55.302
<b>Energización 02</b>	54.21	55.334	55.05	54.876	55.87	54.453
<b>Energización 03</b>	54.21	54.533	55.05	54.604	55.87	55.239
<b>Energización 04</b>	54.21	53.995	55.05	55.120	55.87	54.854
<b>Energización 05</b>	54.21	54.448	55.05	54.947	55.87	52.854
<b>Energización 06</b>	54.21	54.443	55.05	55.090	55.87	55.163
<b>Energización 07</b>	54.21	53.457	55.05	54.925	55.87	56.002
<b>Energización 08</b>	54.21	53.514	55.05	55.065	55.87	55.647
<b>Energización 09</b>	54.21	52.75	55.05	54.796	55.87	55.307
<b>Energización 10</b>	54.21	52.782	55.05	55.116	55.87	54.140
<b>Energización 11</b>	54.21	54.785	55.05	55.698	55.87	54.944
<b>Energización 12</b>	54.21	54.610	55.05	55.568	55.87	55.324
<b>Energización 13</b>	54.21	54.364	55.05	55.729	55.87	55.171

Nota. Elaboración propia.

Los valores de corrientes por unidad (p.u.) de energización del autotransformador ATR-001 mediante el INT-591 se detallan en la tabla 30.

**Tabla 30**

*Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-001 mediante el INT-5971*

	<b>CIERRE R</b>	<b>CIERRE S</b>	<b>CIERRE T</b>
	<b>I [p.u.]</b>	<b>I [p.u.]</b>	<b>I [p.u.]</b>
<b>Energización 01</b>	0.06	0.05	0.05
<b>Energización 02</b>	0.02	0.05	0.09

<b>Energización 03</b>	0.01	0.01	0.35
<b>Energización 04</b>	0.11	0.05	0.24
<b>Energización 05</b>	0.04	0.03	0.06
<b>Energización 06</b>	0.04	0.08	0.03
<b>Energización 07</b>	0.06	0.28	0.05
<b>Energización 08</b>	0.08	0.03	0.04
<b>Energización 09</b>	0.03	0.04	0.19
<b>Energización 10</b>	0.04	0.04	0.02
<b>Energización 11</b>	0.11	0.13	0.12
<b>Energización 12</b>	0.05	0.22	0.05
<b>Energización 13</b>	0.05	0.07	0.19

Nota. Elaboración propia.

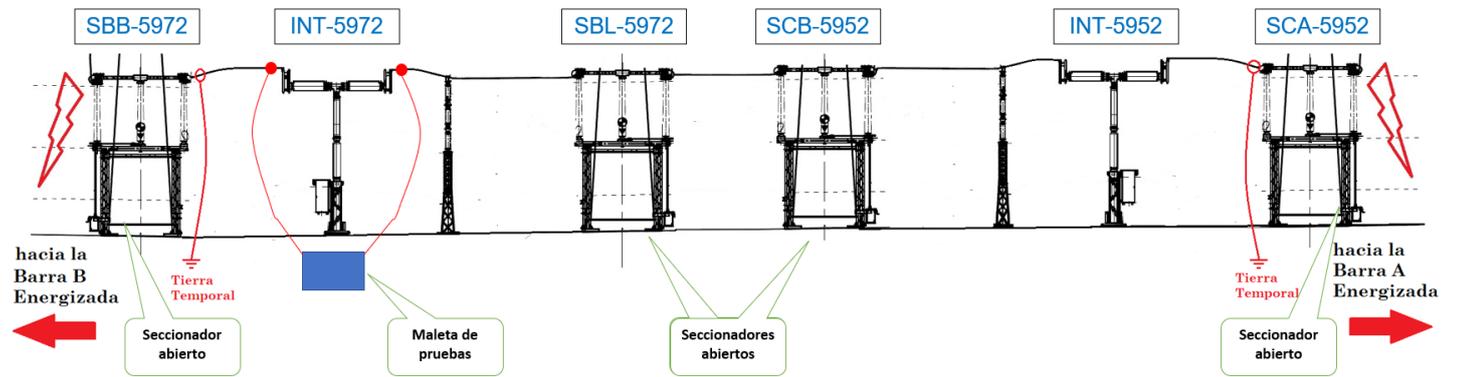
- **Prueba SAT al relé de mando sincronizado SynchroTeq Pkus C2-5210-IED-2103 que opera al interruptor INT-5972:**

Primero, se llevaron a cabo las pruebas en vacío (sin tensión) en el interruptor INT-5972. Para esta prueba, los seccionadores SBB-5972, SBL-5972, SCB-5952 y SCA-5952 debieron estar abiertos para proceder con las pruebas de señalización y los tiempos de operación de apertura y cierre del INT-5972, como se mostró en la figura 54, mediante el siguiente lineamiento:

- Bloquear el autotransformador ATR-002.
- Instalar las tierras temporarias con un manlift.
- Posicionamiento del manlift.
- Instalación de la maleta de pruebas.
- Ejecución de las pruebas en vacío de 05 cierres y 05 aperturas de las Fases R, S y T del INT-5972.
- Verificación y validación de resultados.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Desconexión de cables de maleta de pruebas.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Retiro del manlift.
- Desbloquear el autotransformador ATR-002.

**Figura 54**

*Esquema ilustrativo para pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5972*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 55**

*Pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5972*



Nota. Elaboración propia.

Los valores de tiempos de operación de 05 aperturas y 05 cierres del interruptor INT-5972 se detallan en la tabla 31.

**Tabla 31**

*Tiempos de operación de apertura y cierre al INT-5972*

<b>Operaciones</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
	<b>Fase R</b>	<b>Fase S</b>	<b>Fase T</b>
<b>Cierre 1</b>	54.580	55.331	53.803
<b>Apertura 1</b>	19.139	19.336	19.050
<b>Cierre 2</b>	55.419	54.797	55.136
<b>Apertura 2</b>	19.099	19.218	19.167
<b>Cierre 3</b>	55.415	52.635	55.537
<b>Apertura 3</b>	19.050	19.188	19.031
<b>Cierre 4</b>	54.888	53.575	55.023
<b>Apertura 4</b>	19.134	19.152	19.052
<b>Cierre 5</b>	54.580	53.674	55.631
<b>Apertura 5</b>	19.099	19.095	19.033

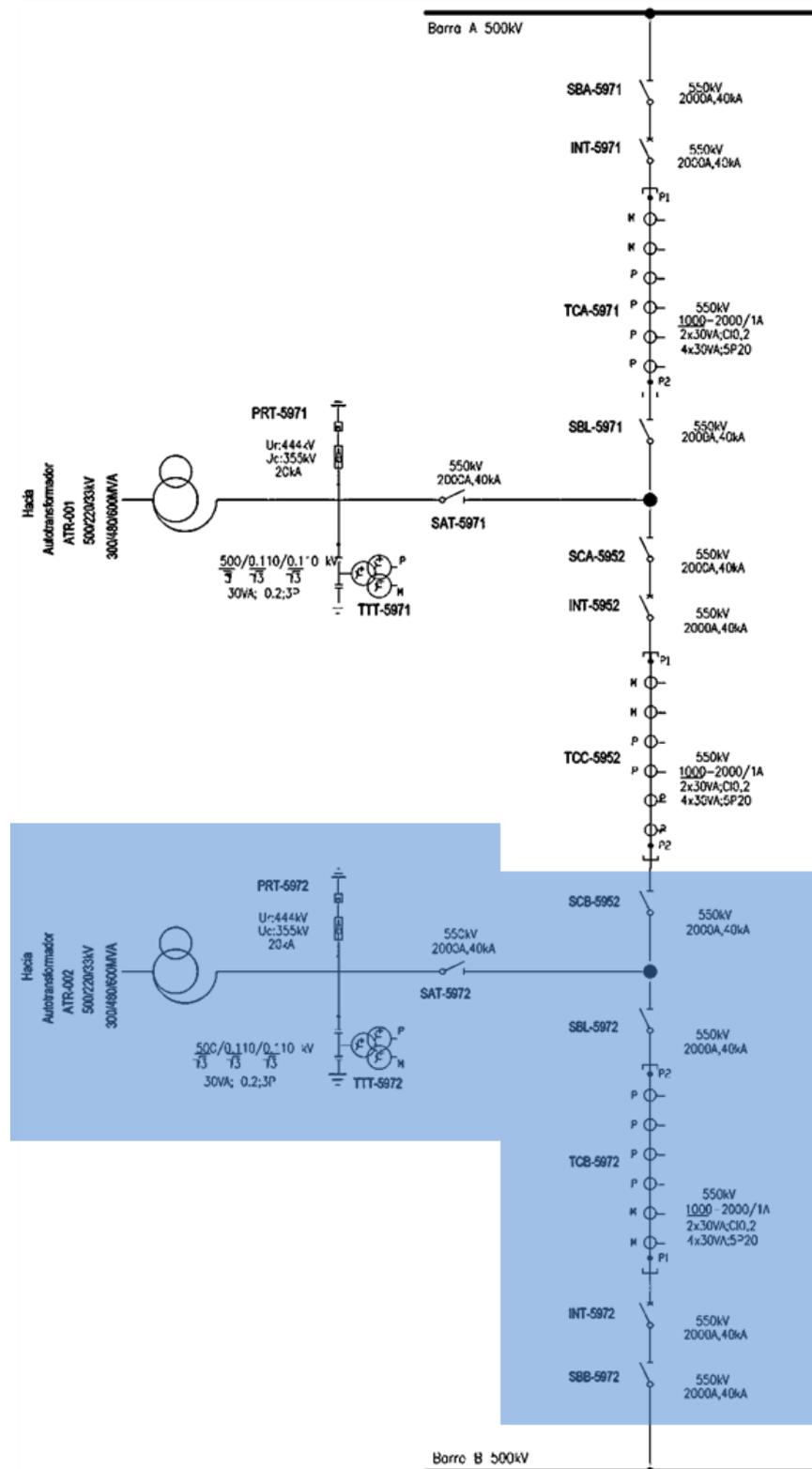
Nota. Elaboración propia.

Después de obtener los tiempos de operación de cierre y apertura sin tensión del INT-5972, se llevó a cabo el comisionamiento al relé de mando sincronizado SynchroTeq Plus C2-5210-IED-2103, que operaba el interruptor INT-5972 para energizar el autotransformador ATR-002, como se mostró en la figura 56. El comisionamiento se llevó a cabo mediante el siguiente lineamiento:

- Bloquear autotransformador ATR-002.
- Instalación de la maleta de pruebas.
- Verificación de ajustes finales pre energización.
- Desmagnetización del ATR-002.
- Ejecución de las pruebas de energización del autotransformador ATR-002 a través de la barra B con 04 energizaciones por el interruptor INT-5972.
- Extracción de eventos post energización, oscilografías.
- Verificación y validación de resultados.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Desconexión de cables de maleta de pruebas.
- Desbloquear el autotransformador ATR-002.

**Figura 56**

*Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2103 que opera al interruptor INT-5972 para energizar el autotransformador ATR-002*



Nota. Elaboración propia.

Los valores de tiempos esperados (ms) y tiempos medidos (ms) de energización del autotransformador ATR-002 mediante el INT-5972 se detallan en la tabla 32.

**Tabla 32**

*Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-002 mediante el INT-5972*

	CIERRE R		CIERRE S		CIERRE T	
	Valor esperado	Valor medido	Valor esperado	Valor medido	Valor esperado	Valor medido
	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)
<b>Energización 01</b>	54.60	55.232	52.90	53.230	55.21	55.858
<b>Energización 02</b>	54.60	55.106	52.90	52.749	55.21	56.373
<b>Energización 03</b>	54.60	53.918	52.90	54.349	55.21	56.744
<b>Energización 04</b>	54.60	55.379	52.90	53.254	55.21	55.515

Nota. Elaboración propia.

Los valores de corrientes por unidad (p.u.) de energización del autotransformador ATR-002 mediante el INT-5972 se detallan en la tabla 33.

**Tabla 33**

*Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-002 mediante el INT-5972*

	CIERRE R	CIERRE S	CIERRE T
	I [p.u.]	I [p.u.]	I [p.u.]
<b>Energización 01</b>	0.04	0.14	0.03
<b>Energización 02</b>	0.13	0.02	0.05
<b>Energización 03</b>	0.04	0.05	0.05
<b>Energización 04</b>	0.05	0.21	0.05

Nota. Elaboración propia.

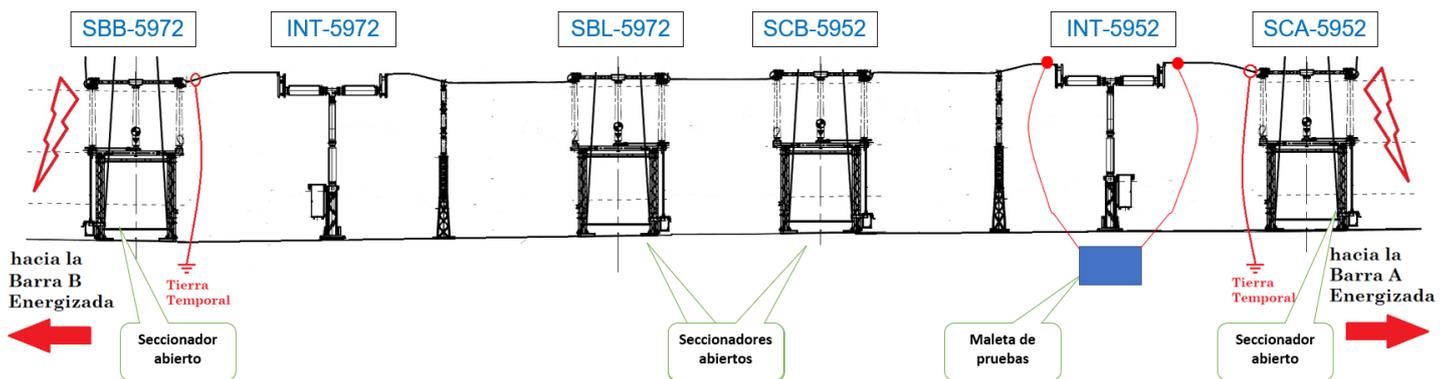
- **Prueba SAT al relé de mando sincronizado SynchroTeq Pkus C2-5210-IED-2102 que opera al interruptor INT-5952:**

Primero, se llevaron a cabo las pruebas en vacío (sin tensión) en el interruptor INT-5952. Para esta prueba, los seccionadores SBB-5972, SBL-5972, SCB-5952 y SCA-5952 debieron estar abiertos para proceder con las pruebas de señalización y los tiempos de operación de apertura y cierre del INT-5952, como se mostró en la figura 57, siguiendo el siguiente lineamiento:

- Bloquear los autotransformadores ATR-001 y ATR-002.
- Instalar las tierras temporarias con un manlift.
- Posicionamiento del manlift.
- Instalación de la maleta de pruebas.
- Ejecución de las pruebas en vacío de 05 cierres y 05 aperturas de las Fases R, S y T del INT-5952.
- Verificación y validación de resultados.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Desconexión de cables de maleta de pruebas.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Retiro del manlift.
- Desbloquear los autotransformadores ATR-001 y ATR-002.

**Figura 57**

*Esquema ilustrativo para pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5952*



Nota. Elaboración propia.

## Figura 58

### Pruebas de tiempos de apertura y cierre del INT-5952



Nota. Elaboración propia.

Los valores de tiempos de operación de 05 aperturas y 05 cierres del interruptor INT-5952 se detalla en la tabla 34.

**Tabla 34**

*Tiempos de operación de apertura y cierre al INT-5952*

Operaciones	Tiempo (ms)	Tiempo (ms)	Tiempo (ms)
	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre 1	55.01	52.754	56.573
Apertura 1	19.149	19.688	18.459
Cierre 2	54.133	51.809	52.156
Apertura 2	19.400	19.675	18.400
Cierre 3	54.835	52.754	56.573
Apertura 3	19.231	19.662	18.577
Cierre 4	54.629	53.125	56.265
Apertura 4	19.342	19.865	18.439

<b>Cierre 5</b>	55.299	54.786	57.219
<b>Apertura 5</b>	19.325	19.545	18.358

Nota. Elaboración propia.

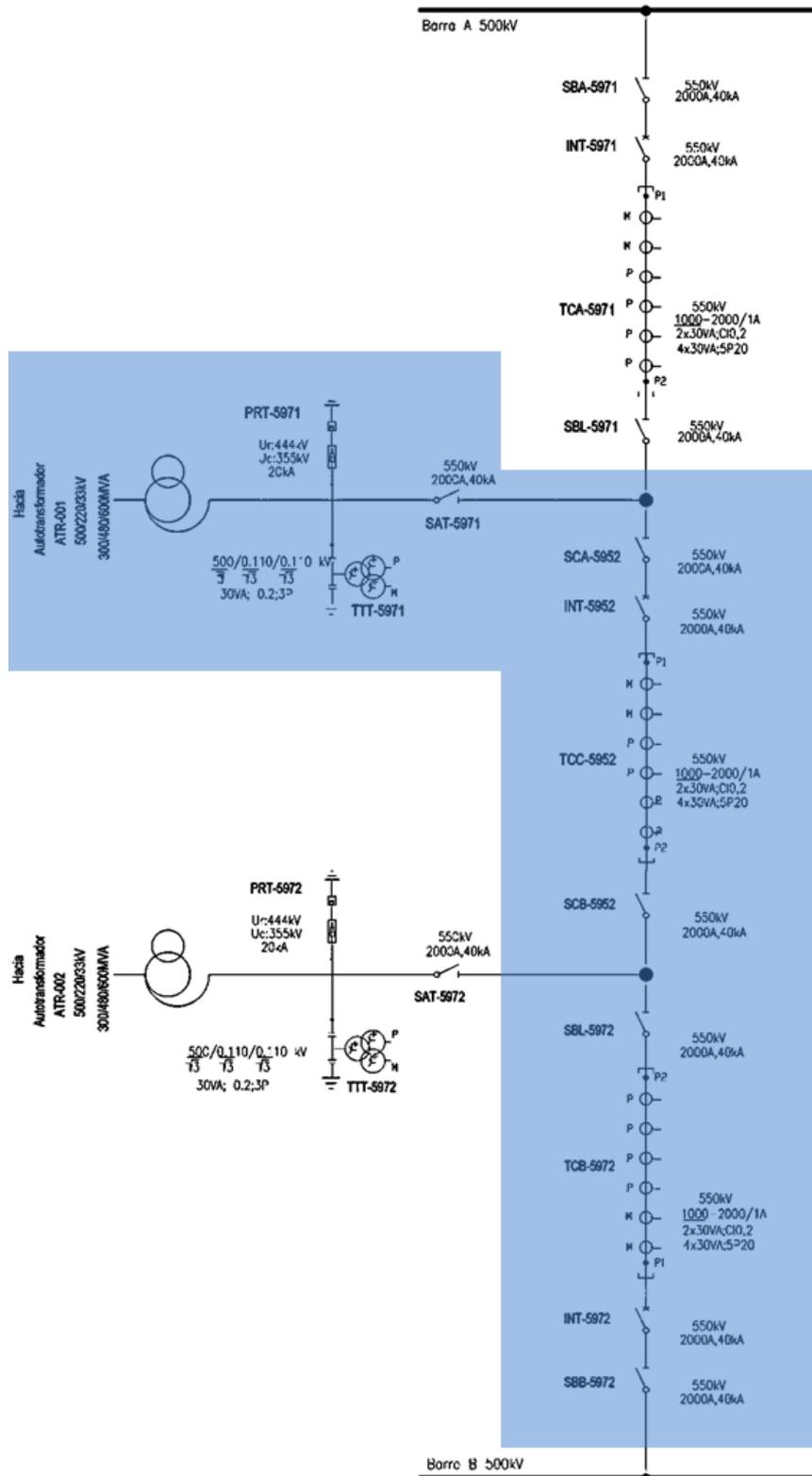
Después de obtener los tiempos de operación de cierre y apertura sin tensión del INT-5952, se llevó a cabo el comisionamiento al relé de mando sincronizado SynchroTeq Plus C2-5210-IED-2102, que operaba el interruptor INT-5952 para energizar el autotransformador ATR-001 por la barra B con el INT-5972, como se mostró en la figura 59, y el autotransformador ATR-002 por la barra A con el INT-5971, como se mostró en la figura 60. Esto se llevó a cabo mediante el siguiente lineamiento:

Energización del ATR-001 por la barra B:

- Bloquear los autotransformadores ATR-001.
- Instalación de la maleta de pruebas.
- Verificación de ajustes finales pre energización.
- Desmagnetización del ATR-001.
- Ejecución de las pruebas de energización del autotransformador ATR-001 a través de la barra B con 03 energizaciones por el interruptor INT-5972 e INT-5952.
- Extracción de eventos post energización, oscilografías.
- Verificación y validación de resultados.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Desconexión de cables de maleta de pruebas.
- Desbloquear el autotransformador ATR-001.

**Figura 59**

*Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2102 que opera al interruptor INT-5952 para energizar el autotransformador ATR-001 por la barra B*



Nota. Elaboración propia.

Los valores de tiempos esperados (ms) y tiempos medidas (ms) de energización del autotransformador ATR-001 mediante el INT-5952, se detalla en la tabla 35.

**Tabla 35**

*Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-001 mediante el INT-5952*

	CIERRE R		CIERRE S		CIERRE T	
	Valor esperado (ms)	Valor medido (ms)	Valor esperado (ms)	Valor medido (ms)	Valor esperado (ms)	Valor medido (ms)
<b>Energización 01</b>	56.100	56.381	55.800	54.962	57.100	56.486
<b>Energización 02</b>	56.100	55.986	55.800	56.747	57.100	56.442
<b>Energización 03</b>	56.100	56.789	55.800	56.603	57.100	56.601

Nota. Elaboración propia.

Los valores de corrientes por unidad (p.u.) de energización del autotransformador ATR-001 mediante el INT-5952, se detalla en la tabla 36.

**Tabla 36**

*Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-001 mediante el INT-5972*

	CIERRE R	CIERRE S	CIERRE T
	I [p.u.]	I [p.u.]	I [p.u.]
<b>Energización 01</b>	0.40	0.10	0.07
<b>Energización 02</b>	0.12	0.17	0.17
<b>Energización 03</b>	0.06	0.07	0.43

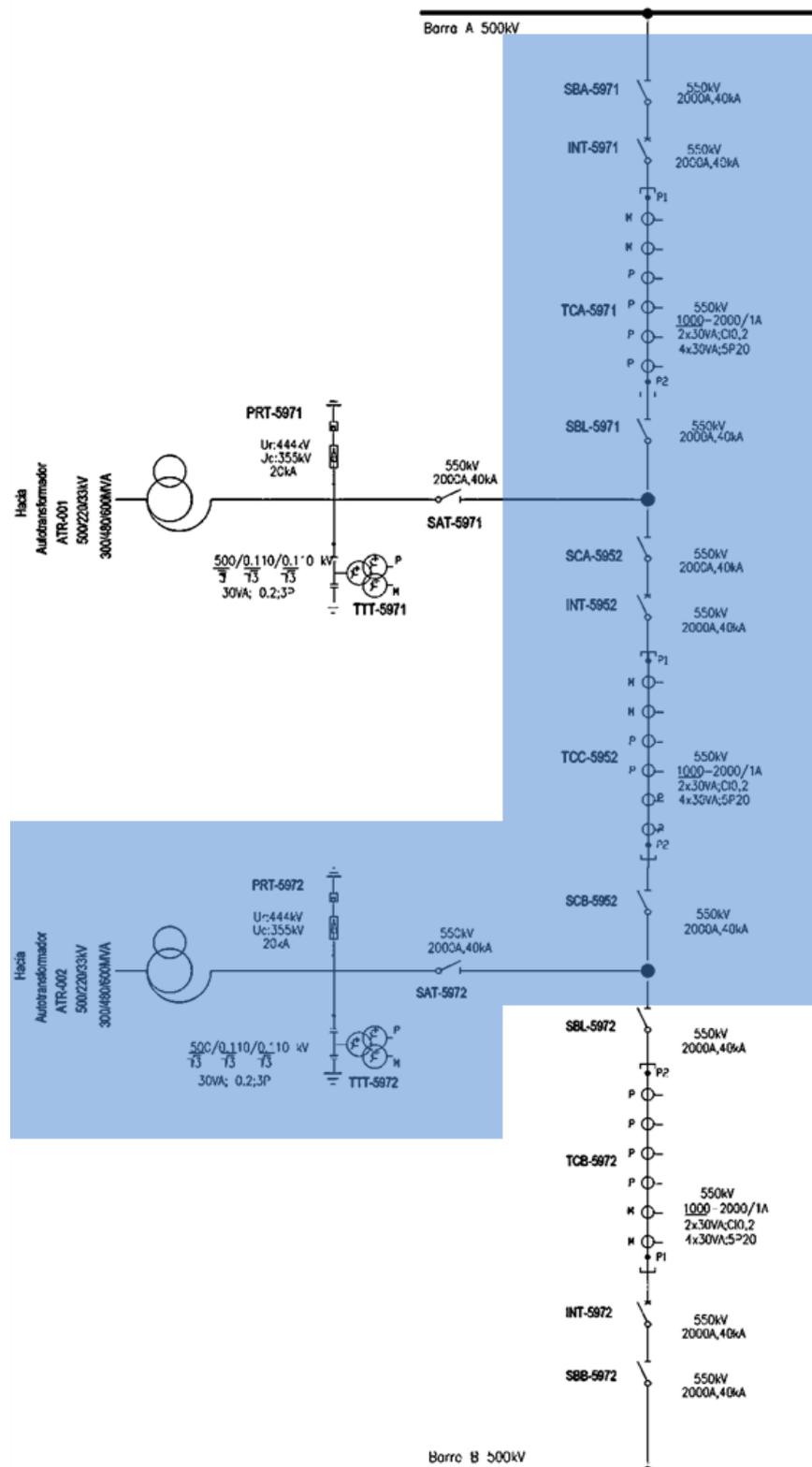
Nota. Elaboración propia.

Energización del ATR-002 por la barra A:

- Bloquear los autotransformadores ATR-002.
- Instalación de la maleta de pruebas.
- Verificación de ajustes finales pre energización.
- Desmagnetización del ATR-002.
- Ejecución de las pruebas de energización del autotransformador ATR-002 a través de la barra A con 11 energizaciones por el interruptor INT-5971 e INT-5952.
- Extracción de eventos post energización, oscilografías.
- Verificación y validación de resultados.
- Desinstalación de las tierras temporarias.
- Desconexión de cables de maleta de pruebas.
- Desbloquear los autotransformadores ATR-002.

**Figura 60**

*Comisionamiento de relé C2-5210-IED-2102 que opera al interruptor INT-5952 para energizar el autotransformador ATR-002 por la barra A*



Nota. Elaboración propia.

Los valores de tiempos esperados (ms) y tiempos medidos (ms) de energización del autotransformador ATR-002 mediante el INT-5952 se detallan en la tabla 37.

**Tabla 37**

*Valores de tiempos esperados y medidos del ATR-002 mediante el INT-5952*

	<b>CIERRE R</b>		<b>CIERRE S</b>		<b>CIERRE T</b>	
	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
	<b>esperado</b>	<b>medido</b>	<b>esperado</b>	<b>medido</b>	<b>esperado</b>	<b>medido</b>
	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>	<b>(ms)</b>
<b>Energización 01</b>	56.101	56.741	53.601	54.057	58.101	55.109
<b>Energización 02</b>	56.101	56.783	53.601	54.096	58.101	58.701
<b>Energización 03</b>	56.101	56.155	53.601	56.501	58.101	58.410
<b>Energización 04</b>	56.101	56.930	53.601	56.767	58.101	58.448
<b>Energización 05</b>	56.101	57.329	53.601	53.950	58.101	59.339
<b>Energización 06</b>	56.101	57.302	53.601	56.206	58.101	58.607
<b>Energización 07</b>	56.101	57.417	53.601	54.416	58.101	58.395
<b>Energización 08</b>	56.101	55.544	53.601	55.019	58.101	58.610
<b>Energización 09</b>	56.101	55.989	53.601	56.260	58.101	57.945
<b>Energización 10</b>	56.101	57.380	53.601	54.767	58.101	59.570
<b>Energización 11</b>	56.101	57.393	53.601	57.820	58.101	57.811

Nota. Elaboración propia.

Los valores de corrientes por unidad (p.u.) de energización del autotransformador ATR-002 mediante el INT-5952 se detallan en la tabla 38.

**Tabla 38**

*Valores de corrientes por unidad en las energizaciones al ATR-002 mediante el INT-5952*

	<b>CIERRE R</b>	<b>CIERRE S</b>	<b>CIERRE T</b>
	<b>I [p.u.]</b>	<b>I [p.u.]</b>	<b>I [p.u.]</b>
<b>Energización 01</b>	0.59	0.24	0.80
<b>Energización 02</b>	0.52	0.27	0.21
<b>Energización 03</b>	0.14	0.24	0.48
<b>Energización 04</b>	0.20	1.32	0.80
<b>Energización 05</b>	0.19	0.32	0.35
<b>Energización 06</b>	0.05	0.06	0.30
<b>Energización 07</b>	0.10	0.55	0.29
<b>Energización 08</b>	0.01	0.01	0.36
<b>Energización 09</b>	0.37	0.10	0.25

<b>Energización 10</b>	0.06	0.08	0.48
<b>Energización 11</b>	0.05	0.05	0.22

Nota. Elaboración propia.

### **Figura 61**

*Configuración, verificación del funcionamiento y operación de relé SynchroTeq Plus a cargo del especialista VIZIMAX*



Nota. Elaboración propia.

### **4.3.Población y muestra**

La población y muestra de la presente investigación consisten en un conjunto específico de relés de mando sincronizado que son operados por los interruptores de potencia automáticos de tanque vivo de 2 cámaras de 550 kV para energizar 02 autotransformadores de 600 MVA correspondientes a la subestación San José 500 kV, la cual es propiedad de la minera Sociedad Minera Cerro Verde. La configuración de la subestación es de interruptor y medio.

#### **Población**

La población objeto de estudio en esta investigación comprende los 03 relés Synchroteq Plus de la marca Vizimax, con las codificaciones C2-5210-IED-2101, C2-5210-IED-2102 y C2-5210-IED-2103, instalados en el tablero de mando sincronizado. Estos relés operan los 03 interruptores de potencia designados como INT-5971, INT-5952 e INT-5972, con el propósito de mitigar las corrientes inrush en la energización de los 02 autotransformadores de 600 MVA de la Subestación San José de 550 kV, la cual es propiedad de la minera Sociedad Minera Cerro Verde.

#### **Muestra**

Según (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010), en su libro *Metodología de la investigación* expresa que "si la población es menor a cincuenta (50), la población es igual a la muestra". En este contexto, la muestra para esta investigación fueron los protocolos de los 03 relés Synchroteq Plus de la marca Vizimax con codificaciones C2-5210-IED-2101, C2-5210-IED-2102 y C2-5210-IED-2103. Estos relés operan los interruptores de potencia INT-5971, INT-5952 e INT-5972 en la Subestación San José de 500 kV, propiedad de la minera Sociedad Minera Cerro Verde. A continuación, se presentan detalles técnicos de los 03 interruptores de potencia en la tabla correspondiente.

**Tabla 39***Muestra de estudio de interruptores*

Componente	Equipo	Tipo de equipo	Modelo	Tipo de mecanismo	Marca	Tensión nominal Ur (kV)	Corriente nominal de servicio Ir (A)	Corriente nominal de ruptura en cortocircuito Isc (kA)
INT-5971	Interruptor de potencia	Interruptor automático de tanque vivo de 2 cámaras	HPL-550B2	BLG1002A	ABB	550	2000	40
INT-5952	Interruptor de potencia	Interruptor automático de tanque vivo de 2 cámaras	HPL-550B2	BLG1002A	ABB	550	2000	40
INT-5972	Interruptor de potencia	Interruptor automático de tanque vivo de 2 cámaras	HPL-550B2	BLG1002A	ABB	550	2000	40

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 40***Muestra de estudio de relés de mando sincronizado*

Componente	Equipo	Modelo	Versión	Marca	Tensión nominal (kV)	Tensión auxiliar (V)	Corriente nominal por fase (A)
C2-5210-IED-2101	Relé de mando sincronizado	Synchroteq Plus	FW 2.0	Vizimax	500	132.5	693
C2-5210-IED-2102	Relé de mando sincronizado	Synchroteq Plus	FW 2.0	Vizimax	500	132.5	693
C2-5210-IED-2103	Relé de mando sincronizado	Synchroteq Plus	FW 2.0	Vizimax	500	132.5	693

Nota. Elaboración propia.

**Tipo de muestreo**

Según (Sampieri, Collado, & Baptista, 2010), en su libro *Metodología de la investigación*, indican que el muestreo no probabilístico determina que los elementos de la muestra no dependen de la probabilidad, sino de las características de la investigación o de quien realiza la muestra, el procedimiento no es mecánico y tampoco existen fórmulas de probabilidad.

#### **4.4. Técnicas de recolección de datos**

Según (Rojas, 2021), en su libro *metodología de la investigación*, la técnica documental sirve para la revisión de una gran variedad de Notas de información y obtener información necesaria que permita construir un marco teórico y conceptual para la investigación.

En cuanto a la recolección de datos, se emplea la técnica de Análisis Documental, ya que la información necesaria para la investigación se obtuvo registrando datos de investigaciones previamente realizadas por otros autores, específicamente en los protocolos de pruebas SAT de los relés de mando sincronizado que operan los interruptores de potencia.

En el Anexo 02, se presenta el formato de los protocolos de pruebas SAT de los relés de mando sincronizado Vizimax, que contiene toda la información necesaria de un registro de datos realizado a los mencionados relés para mitigar las corrientes de energización en los autotransformadores.

#### **4.5. Instrumentos de recolección de datos**

Según (Sabino, 2014), en su libro *el proceso de investigación*, menciona que un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso que el investigador utiliza para que pueda aproximarse a los fenómenos de la investigación y poder extraer información.

El instrumento de recolección de datos que se empleó en la presente investigación fue la maleta de prueba de relés CMC-356 de la marca OMICRON como se muestra en la figura 62. Este equipo se utilizar para probar los 03 relés Synchroteq Plus marza Vizimax C2-5210-IED-2101, C2-5210-IED-2102 y C2-5210-IED-2103, en la cual los valores medidos y valores esperados de tiempo (ms) en los eventos de energización de apertura, cierre y los valores de la corriente (p.u) de los 03 interruptores INT-5971, INT-5952 e INT-5972 son diligenciados en los protocolos de pruebas *SAT* relé de mando sincronizado detallado en el anexo 02.

## Figura 62

Maleta de pruebas CMC-356 de la Marca OMICRON



Nota. <https://www.omicronenergy.com/es/productos/cmc-356/>

### 4.5.1 Validez

Según (Rebollo & Ábalos , 2022) en su libro *Metodología de la Investigación Holística (3.ª ed.)*, menciona que la validez es el grado en que un instrumento mide realmente lo que quiere medir y la validez de contenido se relaciona al proceso de construcción del instrumento y a la medición del dominio de áreas posibles en las que se expresa el evento.

La validez del instrumento de recolección de datos se presenta en las especificaciones técnicas certificadas según ISO 9001 a la maleta de prueba de relés CMC-356 de la marca OMICRON, como se muestra en el anexo 03.

### 4.5.2 Confiabilidad

Según (Rebollo & Ábalos , 2022) en su libro *Metodología de la Investigación Holística (3.ª ed.)*, menciona que el instrumento de recolección de datos es confiable cuando se le aplica reiterativamente el instrumento a la unidad de estudio, los resultados obtenidos son aproximadamente iguales.

Para la confiabilidad de los resultados de la presente investigación, se realizó 13 mediciones al relé de mando sincronizado SynchroTeq Pkus C2-5210-IED-2101 que opera el INT-5971, obteniendo datos similares como se muestra en la tabla 30. Se realizó 04 mediciones al relé de mando sincronizado SynchroTeq Pkus C2-5210-IED-2103 que opera el INT-5972, obteniendo datos similares como se muestra en la tabla 33. Se realizó 14 mediciones al relé de mando sincronizado SynchroTeq Pkus C2-5210-IED-2102 que opera el INT-5952, obteniendo datos similares como se muestra en las tablas 36 y 38.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

Con el propósito de alcanzar los objetivos de la presente investigación, se proporcionaron las siguientes tablas que resumen los valores obtenidos durante el comisionamiento de los 03 relés Synchroteq Plus de la marca Vizimax, con las codificaciones C2-5210-IED-2101, C2-5210-IED-2102 y C2-5210-IED-2103. Estos relés operaron los 03 interruptores de potencia INT-5971, INT-5952 e INT-5972 para mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores ATR-001 y ATR-002 en la *SE* San José de 500 kV.

En la tabla 41, se detalla los valores de corriente de energización por la implementación del lineamiento en la elaboración de estudios eléctricos, ingeniería, planeación del proyecto, montaje y ejecución de pruebas *FAT* y *SAT*, donde se obtuvo valores menores de 0.25 p.u. en la energización 02 y energización 11 del relé de mando sincronizado C2-5210-IED-2102 que opera el INT-5952 para energizar los ATR-001 y ATR-002. Por lo que podemos afirmar que se acepta la hipótesis general porque la implementación del lineamiento influyó en el comisionamiento de relés de *MS* que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en *SE AT-EAT*.

En la tabla 42, se detalla los valores de corrientes de energización con y sin relés de mando sincronizado en las simulaciones en el estudio eléctrico, donde el valor más alto de corriente máxima de energización sin relé de mando sincronizado se presentó en el caso 04 con un valor de corriente de 1248.6 A o 1.27 p.u. y con la implementación del relé de mando sincronizado, la corriente máxima de energización se presentó en el caso 05 con un valor de energización de 56.94 A o 0.0581 p.u. Por lo que podemos afirmar que se acepta la hipótesis específica 01, porque existe una relación directa y significativa entre los valores de corriente de energización con y sin relé de mando sincronizado obtenidos en el estudio eléctrico para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en *SE AT-EAT*.

En la tabla 43, se detalla los valores de tiempos de apertura y cierre, donde los menores valores de tiempo en el INT-5971 fue en el Cierre 1 con valores de 53.28 ms en la fase R, 52.341 en la fase S y 52.703 ms en la fase T y Apertura 1 con valores de 18.128 ms en la fase R, 18.216 en la fase S y 18.020 en la fase T. Los menores valores de tiempo en el INT-5972 fueron en el Cierre 4 con valores de 54.888 ms en la fase R, 53.575 en la fase S y 55.023 ms en la fase T y Apertura 5 con valores de 19.099 ms en la fase R, 19.095 en la fase S y 19.033 en la fase T. Los menores valores de tiempo en el INT-5952 fueron en el Cierre 2 con valores de 54.133 ms en la fase R, 51.809 en la fase S y 52.156 ms en la fase T y Apertura 5 con valores de 19.325 ms en la fase R, 19.545 en la fase S y 18.358 en la fase T. Por lo que podemos afirmar que se acepta la hipótesis específica 02, porque los tiempos de apertura y cierre del interruptor generó resultados en el comisionamiento de relés **MS** para mitigar la corriente de energización de autotransformadores de potencia en **SE AT-EAT**.

En la tabla 44, se detalla los valores **RDDS** durante las pruebas de comisionamiento a los relés, donde los valores **RDDS** que más se acercan al 1.0 p.u. corresponden al INT-5971 en la fase R con un valor **RDDS** de 0.835 p.u., en la fase S con un valor **RDDS** de 0.690 p.u. y en la fase T con un valor **RDDS** de 0.790 p.u. Por lo que podemos afirmar que se acepta la hipótesis específica 03, porque los valores de **RDDS** generaron resultados en el comisionamiento de relés **MS** para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en **SE AT-EAT**.

En la figura 63, se muestra el flujo residual junto con la corriente en las fases R, S y T durante la desenergización de los autotransformadores ATR-001 y ATR-002. Cada vez que la fase S va más allá de 1 p.u. en ese colapso (la primera vez en un círculo azul, la segunda vez en un círculo naranja), se pudo observar una pequeña corriente en las fases R y T. Por lo que podemos afirmar que se acepta la hipótesis específica 04, porque la medición de flujo residual mediante bushing sensor influyó en el comisionamiento de relés **MS** para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en **SE AT-EAT**.

En la figura 64, se muestra el bajo nivel de meseta de saturación en las polaridades negativas de las fases R y T de los autotransformadores ATR-001 y ATR-002. Se pudo observar una pequeña joroba o también llamada saturación de corriente (corrientes en color más oscuro, en la figura 64) incluso en régimen permanente tanto en la fase R (color rojo) como en la T (color azul) en su respectivo paso por cero del flanco ascendente de la tensión (en color más claro). Por lo que podemos afirmar que se acepta la hipótesis específica 05, porque la curva de saturación del autotransformador influyó en el comisionamiento de relés MS para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en *SE AT-EAT*.

**Tabla 41***Resumen de los resultados del comisionamiento de los 03 relés Synchroteq Plus*

	INT-5971			INT-5972			INT-5952					
	ATR-001			ATR-002			ATR-001			ATR-002		
	CIERRE R I [p.u.]	CIERRE S I [p.u.]	CIERRE T I [p.u.]	CIERRE R I [p.u.]	CIERRE S I [p.u.]	CIERRE T I [p.u.]	CIERRE R I [p.u.]	CIERRE S I [p.u.]	CIERRE T I [p.u.]	CIERRE R I [p.u.]	CIERRE S I [p.u.]	CIERRE T I [p.u.]
<b>Energización 01</b>	0.06	0.05	0.05	0.04	0.14	0.03	0.40	0.10	0.07	0.59	0.24	0.80
<b>Energización 02</b>	0.02	0.05	0.09	0.13	0.02	0.05	0.12	0.17	0.17	0.52	0.27	0.21
<b>Energización 03</b>	0.01	0.01	0.35	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.43	0.14	0.24	0.48
<b>Energización 04</b>	0.11	0.05	0.24	0.05	0.21	0.05	-	-	-	0.20	1.32	0.80
<b>Energización 05</b>	0.04	0.03	0.06	-	-	-	-	-	-	0.19	0.32	0.35
<b>Energización 06</b>	0.04	0.08	0.03	-	-	-	-	-	-	0.05	0.06	0.30
<b>Energización 07</b>	0.06	0.28	0.05	-	-	-	-	-	-	0.10	0.55	0.29
<b>Energización 08</b>	0.08	0.03	0.04	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	0.36
<b>Energización 09</b>	0.03	0.04	0.19	-	-	-	-	-	-	0.37	0.10	0.25
<b>Energización 10</b>	0.04	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-	0.06	0.08	0.48
<b>Energización 11</b>	0.11	0.13	0.12	-	-	-	-	-	-	0.05	0.05	0.22
<b>Energización 12</b>	0.05	0.22	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Energización 13</b>	0.05	0.07	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 42***Resumen de valores de corriente de energización sin/con relé de mando sincronizado*

Casos	Energización sin relé de mando sincronizado		Energización con relé de mando sincronizado	
	Corriente Máxima (Apico)	Corriente Máxima (p.u.)	Corriente Máxima (Apico)	Corriente Máxima (p.u.)
<b>Caso 1</b>	919.66	0.94	55.26	0.0564
<b>Caso 2</b>	1078.00	1.10	48.29	0.0493
<b>Caso 3</b>	1247.80	1.27	53.54	0.0546
<b>Caso 4</b>	<b>1248.60</b>	<b>1.27</b>	49.42	0.0504
<b>Caso 5</b>	972.77	0.99	<b>56.94</b>	<b>0.0581</b>
<b>Caso 6</b>	1193.00	1.22	49.34	0.0503
<b>Caso 7</b>	1114.10	1.14	55.32	0.0564
<b>Caso 8</b>	1238.60	1.26	47.77	0.0487

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 43***Resumen de tiempos de operación de apertura y cierre de los INT-5971, INT-5972 e INT-5952*

<b>Operaciones</b>	<b>INT-5971</b>			<b>INT-5972</b>			<b>INT-5952</b>		
	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo	Tiempo
	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)	(ms)
	Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
<b>Cierre 1</b>	53.280	52.341	52.703	54.580	55.331	53.803	55.01	52.754	56.573
<b>Apertura 1</b>	18.128	18.216	18.020	19.139	19.336	19.050	19.149	19.688	18.459
<b>Cierre 2</b>	54.384	53.961	54.358	55.419	54.797	55.136	54.133	51.809	52.156
<b>Apertura 2</b>	18.385	18.742	18.641	19.099	19.218	19.167	19.400	19.675	18.400
<b>Cierre 3</b>	54.258	51.964	54.128	55.415	52.635	55.537	54.835	52.754	56.573
<b>Apertura 3</b>	18.960	18.154	18.965	19.050	19.188	19.031	19.231	19.662	18.577
<b>Cierre 4</b>	53.896	52.254	54.842	54.888	53.575	55.023	54.629	53.125	56.265
<b>Apertura 4</b>	18.961	18.542	18.632	19.134	19.152	19.052	19.342	19.865	18.439
<b>Cierre 5</b>	53.485	53.846	54.312	54.580	53.674	55.631	55.299	54.786	57.219
<b>Apertura 5</b>	18.256	18.485	18.780	19.099	19.095	19.033	19.325	19.545	18.358

Nota. Elaboración propia.

**Tabla 44**

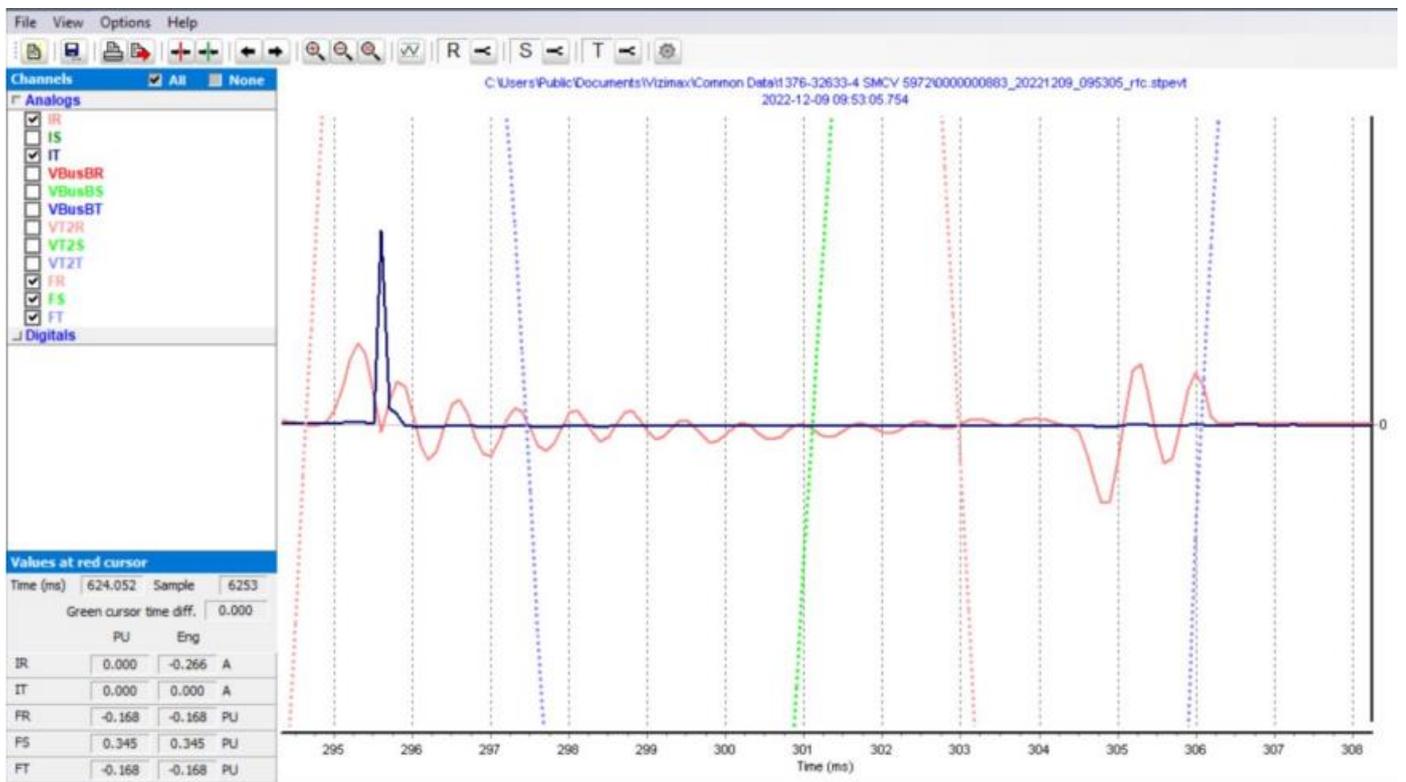
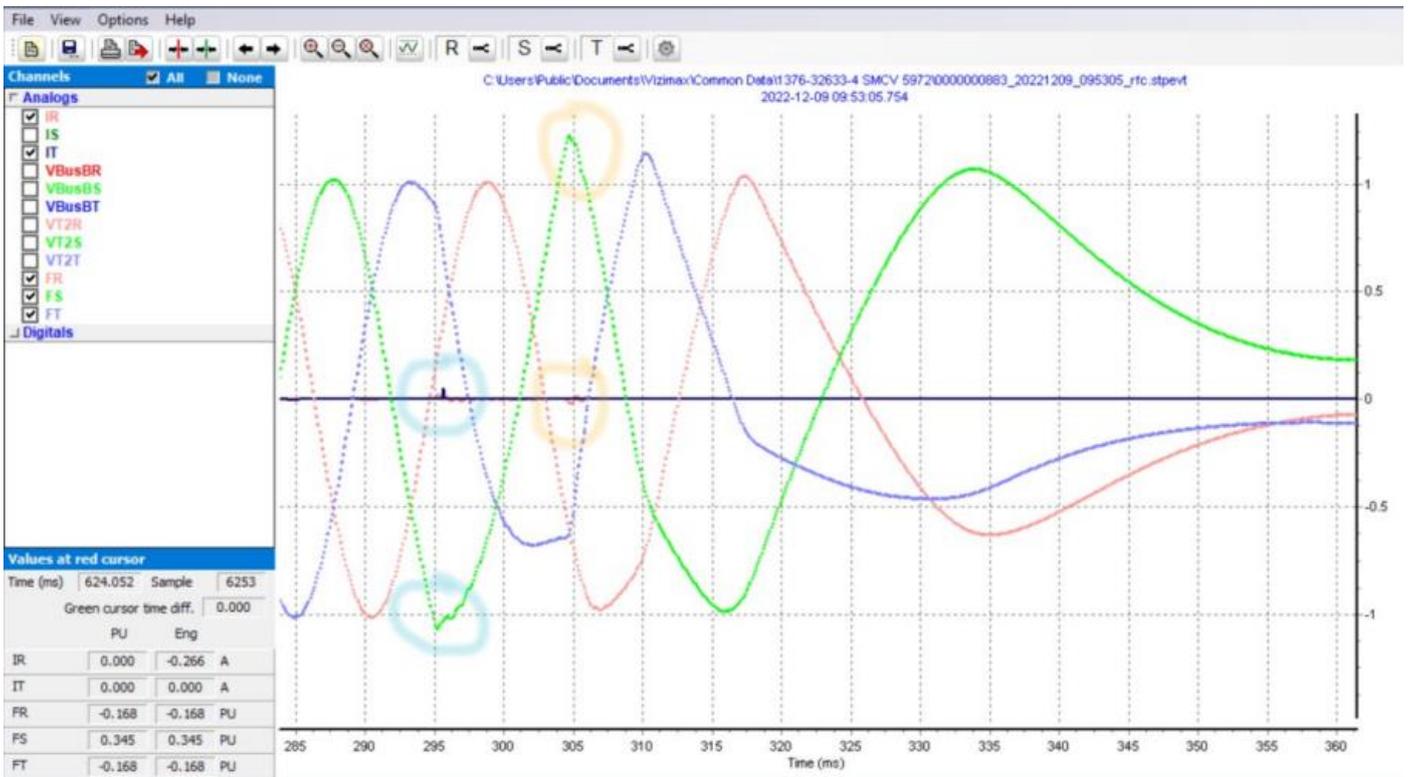
*Resumen de valores RDDS (p.u.) de los INT-5971, INT-5972 e INT-5952*

<b>Valores RDDS (p.u.)</b>			
<b>Fases</b>	<b>INT-5971</b>	<b>INT-5972</b>	<b>INT-5952</b>
<b>Fase R</b>	0.835	0.650	0.600
<b>Fase S</b>	0.690	0.740	0.670
<b>Fase T</b>	0.790	0.675	0.600

Nota. Elaboración propia.

**Figura 63**

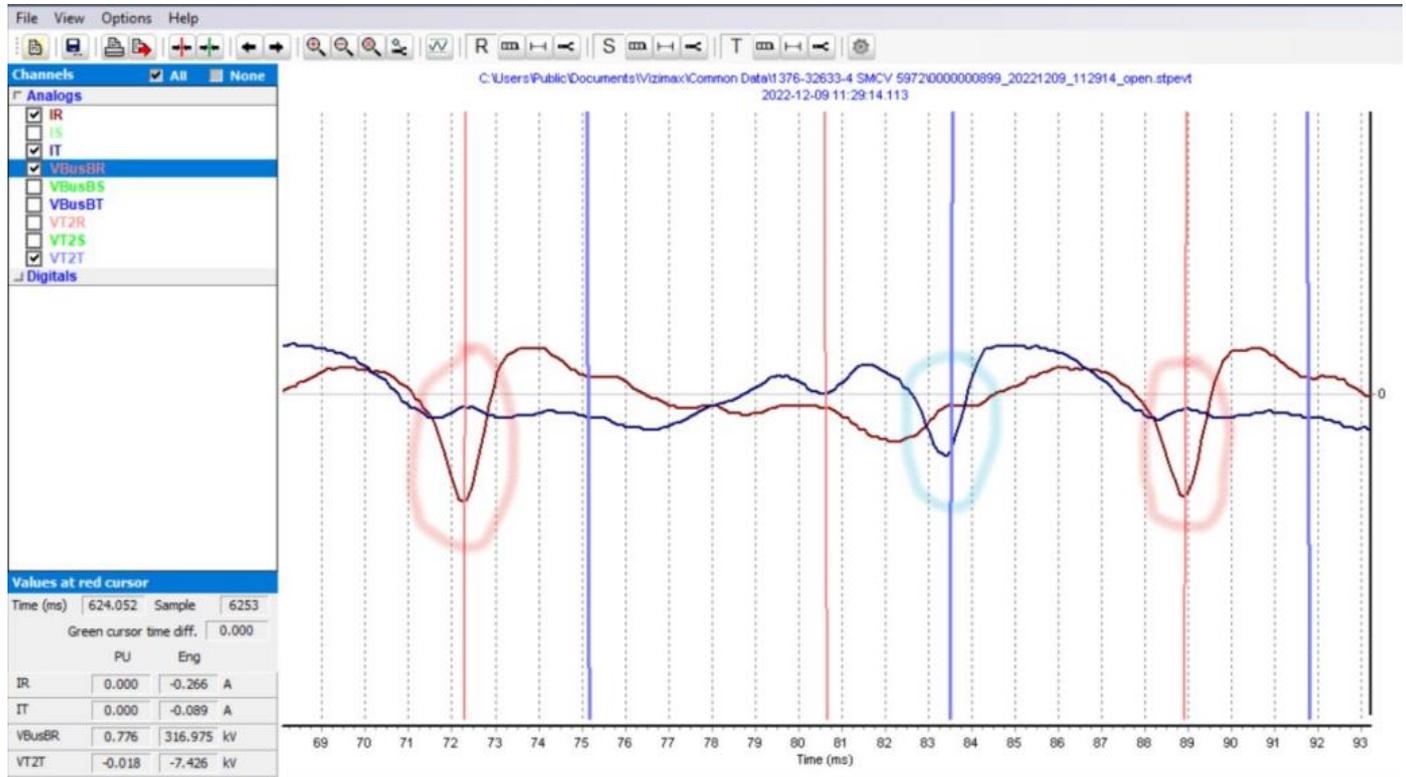
*Medición de flujo residual de los autotransformadores mediante bushing sensor*



Nota. Protocolos SAT de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

**Figura 64**

*Curva de saturación del autotransformador en régimen estacionario*



Nota. Protocolos SAT de energización de los autotransformadores de la SE San José 500kV-HMV Ingenieros Ltda.

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Habiendo expuesto minuciosamente los hallazgos de la investigación en relación con el lineamiento, valores de corrientes de energización con y sin relés de mando sincronizado, tiempos de apertura y cierre de los interruptores, valores RDDS, flujo residual y la curva de saturación del autotransformador.

#### **Hipótesis general**

- Los resultados con respecto a la implementación del lineamiento en la elaboración de estudios eléctricos, ingeniería, planeación del proyecto, montaje y ejecución de pruebas FAT y SAT resultaron exitosos. Al realizar distintas energizaciones a los 03 relés de mando sincronizado, se configuraron y mejoraron valores de corriente de energización. En el comisionamiento del relé C2-5210-IED-2102 que opera el INT-5952 para energizar los ATR-001 y ATR-002, se obtuvo valores menores de 0.25 p.u. en la energización 02 y energización 11. Esto significa corrientes de inserción por debajo del 25% del valor nominal, cumpliendo así con lo indicado por el PR-20 del COES, que establece la implementación de un dispositivo de sincronización de maniobras a los transformadores de potencia de 500/220kV para reducir las corrientes de energización.

#### **Hipótesis principal 01**

- El resultado en las simulaciones de estudio eléctrico con respecto a la máxima corriente de energización sin mando sincronizado fue de 1.27 p.u. Esto indica que se encuentra cerca al límite de corriente conforme a la IEC 60076-7:2018, que establece que el límite de corriente para grandes transformadores de potencia con cargas de emergencia de corta duración es 1.5 p.u. Sin embargo, el resultado en las simulaciones de estudio eléctrico con respecto a la máxima corriente de energización con mando sincronizado fue de 0.0581 p.u. Esto significa que, teóricamente, la implementación del mando sincronizado disminuye la energización de autotransformadoras para no perjudicar al sistema.

#### **Hipótesis principal 02**

- Los resultados obtenidos en las pruebas SAT de los tiempos de apertura de los interruptores de doble cámara INT-5971, INT-5952 e INT-5972 fueron  $< 1/8$  de ciclo, y los tiempos de cierre fueron  $< 1/8$  de ciclo, conforme lo indica la norma IEC 62271-100, cláusula 5.101. En algunos casos, existe una pequeña diferencia

debido a la poca precisión de los contactos auxiliares 52a de cada interruptor. Revisando que los tiempos medidos en las pruebas SAT guardan relación de similitud con los tiempos esperados.

### **Hipótesis principal 03**

- En lo que respecta a los valores RDDS, los resultados fueron muy bajos en los INT-5971, INT-5952 e INT-5972. Teniendo en cuenta que el RDDS (tasa de disminución de la fuerza dieléctrica) es la pendiente (en kV/ms o por unidad) por la cual el aislamiento disminuye en las cámaras del interruptor a medida que los polos se acercan durante un cierre. El relé de mando sincronizado SynchroTeq Plus lo utiliza para calcular la duración del arco que se forma en la cámara principal milisegundos antes de que los contactos de la cámara principal se toquen. Determinar en qué punto se formará el arco fue de suma importancia, ya que es donde se energizó los autotransformadores de potencia ATR-001 y ATR-002. Los valores bajos de RDDS tienden a amplificar el impacto de desviaciones muy pequeñas en el tiempo de operación de los interruptores. Conforme a las especificaciones de fábrica, en la Tabla 4, para que un interruptor energice un autotransformador de potencia, un RDDS superior a 2 p.u. se considera excelente, un RDDS de 1 p.u. se considera aceptable y un RDDS de 0.7 se considera críticamente deficiente. Calculamos valores RDDS menores de 0.7 p.u. en los INT-5972 e INT-5952 debido a la poca precisión de los contactos auxiliares 52a de los interruptores mencionados.

### **Hipótesis principal 04**

- Con respecto al flujo residual, los valores junto con la corriente en cada fase durante una desenergización se consideran aceptables por tener una pequeña corriente en las fases R y T para determinar en qué punto se formará el arco en que se energizan los autotransformadores.

### **Hipótesis principal 05**

- En cuanto a los resultados de la curva de saturación de los autotransformadores ATR-001 y ATR-002, fueron bajos en las polaridades negativas de las fases R y T. En las pruebas SAT, se detectó una alta sensibilidad de los autotransformadores, donde se saturaban en régimen permanente con RDDS de 0.7 p.u. Esto indica que los autotransformadores se saturan antes de llevar a su capacidad nominal.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES

1. Se determinó que los resultados del lineamiento en el comisionamiento de los relés de MS que operan mediante el cálculo de flujo residual es efectivo para mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia en SE AT-EAT. La implementación del lineamiento propuesto fue exitosa y no se presentaron problemas durante la energización de los autotransformadores de potencia. El lineamiento propuesto se basa en la elaboración de estudios eléctricos, ingeniería, planeación del proyecto, montaje y ejecución de pruebas FAT y SAT de los relés de mando sincronizado. Los resultados mostraron que la implementación del lineamiento propuesto es capaz de reducir la corriente de energización en un promedio de 25% por debajo de su nominal. Esto significa que el relé de MS tendrá una menor probabilidad de dispararse erróneamente durante la energización de un autotransformador de potencia, reduciendo el riesgo de apagones o perturbaciones en el sistema eléctrico brindando una mejor seguridad y confiabilidad de las redes eléctricas.
2. Se determinó que la corriente de energización con mando sincronizado es 95.41% menor que la corriente de energización sin mando sincronizado, esto significa que la implementación del mando sincronizado disminuye significativamente la corriente de energización de los autotransformadores. Al retrasar el cierre del interruptor, el relé de mando sincronizado permite que la corriente de energización sea menor, lo que reduce el riesgo de daños al autotransformador y ayuda a proteger el sistema eléctrico.
3. Se determinó en las pruebas SAT que los tiempos de apertura y cierre de los interruptores de doble cámara INT-5971, INT-5952 e INT-5972 son inferiores a  $< 1/8$  de ciclo. Estos tiempos cumplen con la norma IEC 62271-100, cláusula 5.101. indican que los tiempos de apertura y cierre de los interruptores de doble cámara INT-5971, INT-5952 e INT-5972 son adecuados para mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia en SE AT-EAT. Para mejorar la precisión de los tiempos de apertura, se recomienda que los interruptores sean modificados para utilizar contactos auxiliares 52a de mayor precisión.

4. Se determinó que los valores RDDS en el interruptor INT-5971 son aceptables en todas las fases con valores de 0,835 pu, 0,690 pu y 0,790 pu en las fases R, S y T, respectivamente. Sin embargo, los interruptores INT-5972 e INT-5952 presentaron valores RDDS bajos en las fases R y S, con valores de 0,650 pu y 0,670 pu, respectivamente. La causa principal de estos bajos valores RDDS es la baja precisión de los contactos auxiliares 52a de los interruptores mencionados. Esta baja precisión puede provocar que el relé de mando sincronizado SynchroTeq Plus calcule incorrectamente la duración del arco que se forma en la cámara principal del interruptor. Esto, a su vez, puede provocar que el relé dispare prematuramente o que no dispare en absoluto, lo que puede causar daños al autotransformador de potencia. Para mitigar este problema, se recomienda reemplazar los contactos auxiliares 52a de los interruptores INT-5972 e INT-5952 por contactos más precisos. También se recomienda realizar pruebas SAT adicionales para verificar que los nuevos contactos hayan mejorado los valores RDDS de los interruptores.
  
5. Se determinó que la medición de flujo residual mediante los bushing sensor es una herramienta eficaz para el comisionamiento de relés MS para mitigar la corriente de inrush de los autotransformadores de potencia. Los valores de flujo residual medidos en las pruebas fueron aceptables, con valores de alrededor de 100 mA en las fases R y T. Estos valores indican que hay una pequeña corriente residual en las fases R y T durante una desenergización. Esta corriente residual es necesaria para que el relé de mando sincronizado SynchroTeq Plus calcule con precisión la duración del arco que se forma en la cámara principal del interruptor. La medición de flujo residual proporciona al relé MS información adicional que puede ser utilizada para mejorar la precisión del cálculo de la duración del arco. Esto, a su vez, puede ayudar a mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia, lo que reduce el riesgo de daños al autotransformador o de disparos erróneos del relé MS.
  
6. Se determinó que la curva de saturación de los autotransformadores ATR-001 y ATR-002 es baja en las polaridades negativas de las fases R y T. Esto indica que los autotransformadores se saturan antes de llevar a su capacidad nominal. La saturación de los autotransformadores en régimen permanente con RDDS de 0.7 p.u. es un factor que puede afectar negativamente el comisionamiento de relés MS para mitigar

la corriente de energización. Esto se debe a que la saturación del autotransformador puede provocar que el relé MS dispare prematuramente o que no dispare en absoluto. Para mitigar este problema se debe Revisar las condiciones de los autotransformadores para identificar la causa de la baja saturación, si es por suciedad se puede realizar una limpieza o mantenimiento y si es un problema de diseño o construcción se debe considerar la posibilidad de realizar modificaciones o reemplazos.

## **7. Trabajo futuro**

En la próxima fase de esta investigación consistirá en la extensión y aplicación de los lineamientos desarrollados en la tesis original a bancos de reactores en subestaciones de alta y extra tensión. Este trabajo futuro implica un análisis detallado de la aplicabilidad de los relés de mando sincronizado en esta nueva configuración, con un enfoque específico en la optimización de parámetros y sensibilidades para adaptarse a las características eléctricas distintivas de los bancos de reactores. Se propondrán estrategias de comisionamiento que consideren las particularidades de la reactancia y la corriente capacitiva asociada, y se llevarán a cabo experimentos prácticos para validar la eficacia de estos relés en la mitigación de corrientes de energización específicas de los bancos de reactores. Además, se explorará el impacto en la red eléctrica, analizando aspectos como armónicos y fluctuaciones de voltaje. La colaboración con expertos en la industria permitirá el desarrollo de guías normativas específicas para el uso de relés de mando sincronizado en el comisionamiento de bancos de reactores, proporcionando pautas para su implementación segura y eficiente en este contexto. Este enfoque integral tiene como objetivo contribuir significativamente al avance en la mitigación de corrientes de energización en diversas configuraciones de subestaciones eléctricas.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)–Seventh Edition.* (2021). Project Management Institute.
- Bejmert, D., Kereit, M., & Boehme, K. (2022). Controlled energization procedures of power transformers. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 135, 107555.
- Campos Salazar, S. J. (2021). Análisis de transitorios electromagnéticos ante la energización del transformador de potencia de 3.5 MVA en la Subestación Bolívar de la Compañía Minera Catalina Huanca. *Repositorio UNCP*.
- Cano-González, R., Bachiller-Soler, A., Rosendo-Macías, J., & Álvarez-Cordero, G. (2017). Controlled switching strategies for transformer inrush current reduction: A comparative study. *Electric Power Systems Research*, 12-18.
- Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional. (2013). *Estándar PR-20. Ingreso, Modificación y Retiro de Instalaciones en el SEIN*.
- Cueva Quintanilla, H. A. (2019). Diseño, montaje, pruebas y puesta en servicio en protección, control, automatización, telecomunicaciones y servicios auxiliares de la SE Orcotuna-Concepción. *Repositorio UNCP*.
- Gonzales, R. C., Soler, D. A., & Macías, D. J. (2015). *Aportaciones a la conexión controlada de transformadores de potencia*. Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla.
- International Electrotechnical Commission. (2013). *Standar IEC 60255-26. Measuring relays and protection equipment - Part 26: Electromagnetic compatibility requirements*.
- International Electrotechnical Commission. (2018). *Estándar IEC 60076-7. Power transformers - Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers*.
- International Electrotechnical Commission. (2021). *Standar IEC 62271-100. High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating-current circuit-breakers*.
- Llactahuamán Hinostroza, L. (2022). Determinación de ajustes en los relés de mano sincronizado aplicados a la disminución de la corriente de inserción en los transformadores de potencia. *RENATI*.
- Lobo, L. M. (2014). Modelo de transformadores en saturación utilizando funciones de cálculo de parámetros en EMTP-RV. *Ingeniería*, 24(2), 105-116.
- Ma, G. M., Li, C. R., Quan, J. T., & Jiang, J. (2010). Measurement of VFTO based on the transformer bushing sensor. *IEEE transactions on power delivery*, 26(2), 684-692.

- Martinez Vega, J. (2013). Dielectric materials for electrical engineering. *John Wiley & Sons*.
- Mercier, A., De Carufel, S., Filion, Y., Portales, E., Caron, J., & Taillefer, P. (2014). Upgrading HVAC circuit breakers using controlled switching: Hydro-Quebec's 20 year experience. *In 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition*, 1-5.
- Oliveira, M. O., Bretas, A. S., Perrone, O. E., Reversat, J. H., Muñoz, H. E., & Orellana Paucar, R. S. (2016). Principales características de la corriente inrush en transformadores. *Centro de Estudios de Energía para el Desarrollo (CEED) de la Facultad de Ingeniería de Oberá, Universidad Nacional de Misiones (UNAM), Argentina*.
- Oré Vásquez, D. E. (2015). Reducción de la corriente de magnetización Inrush durante la energización de un transformador de potencia de 300 MVA mediante el uso de mando sincronizado. *ALICIA*.
- Parikh, U., & Bhalja, B. R. (2016). Mitigation of magnetic inrush current during controlled energization of coupled un-loaded power transformers in presence of residual flux without load side voltage measurements. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 76, 156-164.
- Project Management Institute. (2021). El estándar para la dirección de proyectos y Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Séptima Edición.
- Ramírez González, C. F. (2021). *Subestaciones de alta y extra tensión guía práctica de diseño*. Bogotá.
- Rebollo, P. A., & Ábalos, E. M. (2022). *Metodología de la Investigación*. Editorial Autores de Argentina.
- Rioual, M., Digard, H., Legrand, X., & Martin, C. (2011). Field application of a synchronous controller based on the measurement of residual fluxes for the energization of a step-up transformer. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*.
- Rojas, V. (2021). *Metodología de la Investigación: diseño, ejecución e informe*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Sabino, C. A. (2014). *El proceso de investigación*. Episteme.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Baptista, M. P. (2010). *Metodología de la investigación*. México DF: McGRAW-HILL.
- Taillefer, P., Poutrain, L., & Sanchez, J. (2018). Limiting Voltage Dips & Inrush Currents When Energizing Power Transformers Controlled Switching of Gang Operated Switches-Theory and Case Study. *In 2018 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 1-5.

- Torresi, A. (2021). Ensayo de Transformadores. *Amazon Digital Services LLC - KDP Print US*.
- Trashorras Montecelos, J. (2015). *Subestaciones eléctricas*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Tudela, Ó. R., Aponte, G., Muñoz, F. A., & Cárdenas, A. (2010). Fenómeno de la Remanencia en Transformadores. *Energía y Computación, 18(1)*.
- Yauri Sencia, J. C. (2023). Análisis de transitorios electromagnéticos por maniobra en energización de transformador de potencia de 220/138/22,9 kV mediante software ATP Draw (Alternative Transients Program). *Repositorio UNSA*.

**ANEXO 1**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Título de la investigación:** “*LINEAMIENTO EN EL COMISIONAMIENTO DE RELÉS MS QUE OPERAN MEDIANTE EL CÁLCULO DE FLUJO RESIDUAL PARA MITIGAR LAS CORRIENTES DE ENERGIZACIÓN DE LOS AUTOTRANSFORMADORES DE POTENCIA EN SE AT-EAT*”.

**Autor:** NILSON VALENTIN TIMOTEO.

**Tabla 45**

*Matriz de consistencia*

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Metodología	Población y muestra	Técnicas de recolección
<p><b>Problema general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿De qué manera influye implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en <i>SE AT-EAT</i>?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar un lineamiento en el comisionamiento de los relés de <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en <i>SE AT-EAT</i>.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar un lineamiento influye en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual para mitigar la corriente de energización de los autotransformadores de potencia en <i>SE AT-EAT</i>.</li> </ul>	<p><b>Independiente</b></p> <p>Lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lineamiento en estudios eléctricos</li> <li>Lineamiento de ingeniería</li> <li>Lineamiento de planificación del proyecto</li> <li>Lineamiento en montaje</li> <li>Lineamiento en las pruebas <i>FAT</i> y <i>SAT</i></li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>El tipo de investigación será Aplicada.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b></p> <p>El nivel de Investigación será Explicativa.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <p>El diseño de Investigación será No Experimental de Tipo Longitudinales o evolutivos.</p>	<p><b>Población</b></p> <p>En la presente investigación, la población la constituyen 03 interruptores de potencia denominados INT-5971, INT-5952 e INT-5972 correspondientes a la subestación San José 500 kV que le pertenece a la minera Sociedad Minera Cerro Verde.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>Según Hernández (2003), cuando la población es inferior a cincuenta (50), se considera que la población es igual a la muestra. En este caso, la muestra consistirá en los 14 puntos de entrega.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pruebas SAT</li> <li>Pruebas FAT</li> <li>Protocolos</li> <li>Lineamientos</li> <li>Diagramas unifilares</li> <li>Manuales de operación</li> <li>Esquemas funcionales</li> <li>Esquemas de principio</li> <li>Esquemas lógicos</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mitigar valores de corriente de energización?</li> <li>¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a calcular los tiempos de apertura y cierre?</li> </ol>	<p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mitigar valores de corriente de energización.</li> <li>Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a calcular los tiempos de apertura y cierre.</li> </ol>	<p><b>Hipótesis específicas:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mitigar valores de corriente de energización.</li> <li>Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <i>MS</i> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a calcular los tiempos de apertura y cierre.</li> </ol>	<p><b>Dependiente</b></p> <p>Mitigar las corrientes de energización de los autotransformadores de potencia en <i>SE AT-EAT</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valores de corriente de energización</li> <li>Tiempos de apertura y cierre</li> <li>Valores de <i>RDDS</i></li> <li>Flujo residual</li> <li>Curva de saturación</li> </ul>			

<p>3. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a determinar los valores de <b>RDDS</b>?</p>	<p>3. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a determinar los valores de <b>RDDS</b>.</p>	<p>3. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a determinar los valores de <b>RDDS</b>.</p>					
<p>4. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual favorece a mitigar el flujo residual?</p>	<p>4. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual favorece a mitigar el flujo residual.</p>	<p>4. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual favorece a mitigar el flujo residual.</p>					
<p>5. ¿De qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mejorar la curva de saturación?</p>	<p>5. Comprobar de qué manera implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mejorar la curva de saturación.</p>	<p>5. Implementar un lineamiento en el comisionamiento de relés <b>MS</b> que operan mediante el cálculo de flujo residual ayuda a mejorar la curva de saturación.</p>					

Nota. Elaboración propia.

**ANEXO 2**  
**INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

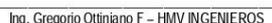
0	Emitido para revisión	21.01.2023	N.V.T	G.O.F.	CERRO VERDE
Revisión	Descripción	Fecha	Realizó	Revisó	Aprobó
<b>CLIENTE:</b>  <b>Cerro Verde</b>		<b>S.E. SAN JOSE</b>			
<b>CONTRATISTA:</b> 		<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>			
Responsable	Nombre	Fecha			
Preparó	Nilson Valentin T.	21.01.2023			
Revisó	Gregorio Ottiniano F.	21.01.2023			
Aprobó	Gregorio Ottiniano F.	21.01.2023			
Senior		21.01.2023			
Cliente	Cerro Verde S.A.	21.01.2023			
Documento N°: H MV-MIP17Z35-2102563-PTC-003				Revisión: 0	
				Páginas: 17	
<b>Nombre del documento:</b>					

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 2 de 17



### Contenido

<b>1. PRUEBA DE CALIFICACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ESTÁNDARES.....</b>	<b>4</b>
<b>3. INFORMACIÓN DEL IED.....</b>	<b>6</b>
<b>4. TIPO DE PRUEBA – ALCANCE .....</b>	<b>6</b>
<b>5. EQUIPO DE PRUEBAS .....</b>	<b>6</b>
<b>6. FP1 – RELE DE MANDO SINCRONIZADO .....</b>	<b>7</b>
6.1. FICHA DEL DISPOSITIVO .....	7
6.2. ALCANCE DE PRUEBA .....	7
6.3. INSPECCIÓN VISUAL .....	7
6.4. PRUEBA DE ENTRADAS BINARIAS .....	8
6.5. PRUEBA DE SALIDAS BINARIAS .....	8
6.6. VERIFICACIÓN DE SEÑALIZACIÓN LED .....	9
9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 1 – T2 (16 enero):.....	10
9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 2 – T2 (16 enero):.....	11
9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 3 – T2 (16 enero):.....	11
9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 4 – T2 (16 enero):.....	12
9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 5 – T2 (16 enero):.....	12
9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 6 – T2 (16 enero):.....	12
9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 7 – T2 (16 enero):.....	13
9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 8 – T2 (17 enero):.....	13
9.1.5. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 9 – T2 (18 enero):.....	14
9.1.6. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 10 – T2 (18 enero):.....	14
9.1.7. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 11 – T2 (18 enero):.....	14
9.1.8. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 12 – T1 (19 enero):.....	15
9.1.9. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 13 – T1 (19 enero):.....	15
9.1.10. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 14 – T1 (19 enero):.....	15

V°B° Contratista:  <div style="text-align: center;">             Ing. Gregorio Ottimiano F – HMV INGENIEROS         </div>	V°B° Supervisor SMCV
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 3 de 17	



<b>10. RESULTADO DE LA PRUEBA .....</b>	<b>17</b>
<b>11. OBSERVACIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>12. COMENTARIOS.....</b>	<b>17</b>
<b>13. ANEXOS Y REPORTES ADJUNTOS.....</b>	<b>17</b>
<b>14. PERSONAL RESPONSABLE .....</b>	<b>17</b>

V°B° Contratista:  <hr style="width: 80%; margin-left: auto; margin-right: auto;"/> Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 4 de 17

## 1. PRUEBA DE CALIFICACIÓN

Los resultados de las pruebas de aceptación en Fabrica serán transcritos en la columna denominada FAT.

Marca de Prueba	Descripción
X	Prueba realizada y exitosa
F	Prueba realizada pero fallida
	Prueba no realizada (en blanco, sin marcar)
-	Prueba no aplicable

Por lo general durante las pruebas FAT solo son repetidos un subconjunto de pruebas. Las pruebas no realizadas se dejan en blanco como se describe en el cuadro anterior.

## 2. ESTÁNDARES

Los estándares, normativas y recomendaciones aplicables para la elaboración y ejecución de las pruebas FAT del presente documento son detallados a continuación.

Estándar	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61439-1	<b>Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión – Parte 1: "Reglas generales"</b> La primera norma aborda las características, propiedades y rendimiento comunes a todos los cuadros, los cuales serán después detallados en las normas específicas relevantes.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61439-2	<b>Cuadros de distribución de potencia y maniobra</b> Estas normas son aplicables a todos los cuadros de distribución y control de baja tensión (aquellos en los que la tensión nominal no supera los 1000 V para CA o los 1500 V para CC). En este documento, el término "cuadro" se utiliza para hacer referencia a un conjunto de equipos de protección y maniobra de baja tensión.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60083	<b>Estándar para enchufes y tomacorrientes domésticos o similares</b> Aplicable a la instalación de equipos suministradores de baja tensión, como enchufes y tomacorrientes, a nivel doméstico y de uso industrial de bajo consumo.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61000-4-2	<b>Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad ante descargas electrostáticas</b> Aplicable a la instalación de equipos eléctricos de bajo consumo, con el fin de determinar el grado de aislamiento antes descargas electrostáticas.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60529	<b>Grados de protección proporcionados por gabinetes</b> Esta norma se aplica a la clasificación de los grados de protección (código IP) proporcionados por los gabinetes para equipos eléctricos con un voltaje nominal que no exceda los 72,5 Kv.

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 5 de 17

Estándar	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60050-447	<b>Vocabulario Electrotécnico Internacional</b>  Condensa las definiciones técnicas del vocabulario usado comúnmente en el ámbito eléctrico.
<input checked="" type="checkbox"/> PR20 COES SINAC	<b>Procedimiento técnico del comité de operación económica del SEIN</b>  Establece los requisitos, condiciones, responsabilidades y pasos necesarios para la conexión, modificación y el retiro de instalaciones eléctricas en el SEIN y la integración de instalaciones de transmisión, de acuerdo a los principios y normas que regulan las funciones del COES. Establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño de las instalaciones eléctricas que se conecten al SEIN.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60255-1	<b>Relés de medida y equipos de protección: Requerimientos Generales</b>  Forma parte de la norma IEC 60255 y proporciona un perfil general respecto a los requerimientos que deben cumplir los equipos de medida y protección para una adecuada aplicación de estas en los sistemas eléctricos a ser medidos y protegidos.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60255-24	<b>Formato común para el intercambio de datos transitorios (COMTRADE) para sistemas de energía</b>  Aplicable a la elaboración, análisis de fallas, intercambio de datos transitorios y su uso durante las pruebas de protección de los sistemas eléctricos.

V°B° Contratista:  <hr/> Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV			
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>		
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1	
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 6 de 17	

### 3. INFORMACIÓN DEL IED

<b>SUBESTACIÓN</b>	SAN JOSE - 5952
<b>NIVEL DE TENSION</b>	500 KV
<b>PROPIEDAD DE</b>	CERRO VERDE
<b>TABLERO</b>	MANDO SINCRONIZADO
<b>TAG</b>	C2-5210-IED-2102
<b>LUGAR DE PRUEBAS</b>	SUBESTACION SAN JOSE 500 KV
<b>FECHA</b>	16-01-23
<b>PLANOS DE REFERENCIA</b>	

### 4. TIPO DE PRUEBA – ALCANCE

DISPOSITIVOS		
MODELO – MARCA	FUNCIÓN	TAG
VIZIMAX – SYNCHROTEQ PLUS	RELE DE MANDO SINCRONIZADO	C2-5210-IED-2102

<input type="checkbox"/> PRUEBA FAT	<input checked="" type="checkbox"/> PRUEBA SAT	<input type="checkbox"/> PRUEBA DE MANTENIMIENTO
<input type="checkbox"/> CONTROL	<input type="checkbox"/> MEDICIÓN	<input type="checkbox"/> PROTECCIÓN

### 5. EQUIPO DE PRUEBAS

MARCA Y MODELO	CMC-356	<input checked="" type="checkbox"/> CHECKED
NÚMERO DE SERIE	LC-001U	<input checked="" type="checkbox"/> CHECKED

V°B° Contratista:	V°B° Supervisor SMCV:
 Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 7 de 17



## 6. FP1 – RELE DE MANDO SINCRONIZADO

### 6.1. FICHA DEL DISPOSITIVO

MARCA/FABRICANTE	VIZIMAX	TENSIÓN AUXILIAR	132.5 volts
MODELO	SYNCHROTEQ PLUS	TENSIÓN NOMINAL	500 kV L-L
NÚMERO DE SERIE	1376-32636-7	CORRIENTE NOMINAL	693 A por fase
VERSIÓN RELÉ	FW 2.0	FRECUENCIA	60 Hz
VERSIÓN INTERFAZ	VIZIMAX COMISSIONING TOOL 5.0	TAG DEL EQUIPO	

**Nota:** Todos los mandos de apertura y cierre son enviados por el controlador RET670.

### 6.2. ALCANCE DE PRUEBA

APLICA	NO APLICA	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INSPECCIÓN VISUAL
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ENTRADAS BINARIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SALIDAS BINARIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SEÑALIZACION LED
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INYECCIONES SECUNDARIAS (MEDICIÓN)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	CONTROL
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PROTECCIÓN
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICACIÓN DE EVENTOS Y OSCILGRAFIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICAR SINCRONIZACIÓN HORARIA
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICAR LA NO PÉRDIDA DE LAS SEÑALES EN 61850

### 6.3. INSPECCIÓN VISUAL

	CONFORME	OBSERVADO	N.A.
ASPECTO EXTERIOR (SIN DAÑO VISIBLE)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISPLAY DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TECLADO FRONTAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
COMUNICACIÓN EN PUERTOS FRONTAL Y POSTERIOR DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONDICIÓN DE LOS LEDS DE SEÑALIZACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 8 de 17

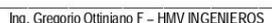
CONEXIONADO Y ROTULACIÓN DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
-------------------------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------

#### 6.4. PRUEBA DE ENTRADAS BINARIAS

DESIGNACIÓN		DESCRIPCIÓN	V°B°
TERMINAL	VARIABLE		
X1	DI1+	posición de INT-5971 (solo para INT-5952)	<input checked="" type="checkbox"/>
X2	DI1-	N/A (retorno).	<input checked="" type="checkbox"/>
X4	DI2+	Bloquear cierre.	<input checked="" type="checkbox"/>
X5	DI2-	N/A (retorno).	<input checked="" type="checkbox"/>
X7	DI3+	Bloquear apertura.	<input checked="" type="checkbox"/>
X8	DI3-	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
Y1	52b phA	52b fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
Y2	52a phA	52a fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
Y4	52b phB	52a fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
Y5	52a phB	52b fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
Y7	52b phC	52a fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
Y8	52a phC	52b fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
Z8	Open	Mando de apertura	<input checked="" type="checkbox"/>
Z6	Close	Mando de cierre.	<input checked="" type="checkbox"/>

#### 6.5. PRUEBA DE SALIDAS BINARIAS

DESIGNACIÓN		DESCRIPCIÓN	V°B°
TERMINAL	VARIABLE		
A1	R1NO	Alarmas agrupadas en modo remoto, por ejemplo, fuera de servicio forzado.	<input checked="" type="checkbox"/>
A2	R2NO	Problema de apertura del interruptor, por ejemplo, apertura aleatoria.	<input checked="" type="checkbox"/>
A3	R3NO	Problema de cierre del interruptor, por ejemplo, cierre aleatorio	<input checked="" type="checkbox"/>
A4	R123C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
A5	R4NO	N/A (no utilizada)	<input checked="" type="checkbox"/>
A6	R5NO	Problema de apertura controlada (por ejemplo, pérdida de voltaje de sincronización + apertura aleatoria)	<input checked="" type="checkbox"/>
A7	R6NO	Problema de cierre controlada (por ejemplo, pérdida de voltaje de sincronización + cierre aleatorio)	<input checked="" type="checkbox"/>
A8	R456C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
B1	R7NO	Modo local	<input checked="" type="checkbox"/>
B2	R8NO	Alarma de monitoreo de interruptor + alarma de entrada digital, por ejemplo, número máximo de operaciones excedido.	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:	V°B° Supervisor SMCV
 Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	

S.E. SAN JOSE 500/220 kV			
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>		
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1	
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 9 de 17	

B3	R9NO	Alarma de sensor	<input checked="" type="checkbox"/>
B4	R789C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
B5	R10NO	N/A (no cableada)	<input checked="" type="checkbox"/>
B6	R10NC	En servicio	<input checked="" type="checkbox"/>
B7	R10C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
B8	R11NO	N/A (no cableada)	<input checked="" type="checkbox"/>
C1	R11NC	Alarma fatal	<input checked="" type="checkbox"/>
C2	R11C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
AA1	OPEN A	Mando de apertura fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
AA2	CLOSE A	Mando de cierre fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
AA3	OPEN B	Mando de apertura fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
AA4	CLOSE B	Mando de cierre fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
AA5	OPEN C	Mando de apertura fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
AA6	CLOSE C	Mando de cierre fase T	<input checked="" type="checkbox"/>

#### 6.6. VERIFICACIÓN DE SEÑALIZACIÓN LED

LED	TIPO	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	LED	Presione el botón "LED Test".	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  <hr style="width: 80%; margin-left: auto; margin-right: auto;"/> Ing. Gregorio Ottiniano F - HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 10 de 17



## 7. MEDICION DE MEDIDAS ANALOGICAS

NÚMERO DE CANAL/ MODULO ANALOGO	TAG	RELACION DE TC	RELACION DE TP	VALOR ESPERADO (A), (V)	VALOR MEDIDO (A), (kV)	ROTACION
O1:O2 (I fase R)	I1	1000/1	N/A	100	98.6	Positivo balanceado
N1:N2 (I fase S)	I2	1000/1	N/A	200	99.7	Positivo balanceado
M1:M2 (I fase T)	I3	1000/1	N/A	300	99.5	Positivo balanceado
P1:P2 (Vbarra-faseR)	V1	N/A	500/100	500	500.1	Correcto
P4:P5	V2	No existe TT				
P7:P8	V3	No existe TT				
L7:L8 (VT fase R)	V1	N/A	---	---	---	---
K7:K8 (VT fase S)	V2	N/A	---	---	---	---
J7:J8 (VT fase T)	V3	N/A	---	---	---	---
Z1:Z2 (CB Vol)	VCB	N/A	N/A	125	131.9	N/A
C4:C5	V	N/A (Fuente de alimentación)				
S4:S5 (Vaux) (solo para INT-5952)	V1	N/A	---	500	499.1	---

## 8. MANIOBRAS DE INTERRUPTOR (OFF LOAD) APERTURA Y CIERRE:

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE LOS TIMING TEST APERTURA.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	VERIFICACION DE LOS TIMING TEST CIERRE.	<input checked="" type="checkbox"/>
3	VERIFICACION QUE NO HAY ALARMAS (SI HAY CONDICIONES)	<input checked="" type="checkbox"/>

## 9. VERIFICACION DE SETTINGS Y OSCIOGRAFIA:

### 9.1.1. EVENTO DE ENERGIACION CIERRE 1 – T2 (16 enero):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------





S.E. SAN JOSE 500/220 kV			
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>		
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1	
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 13 de 17	

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.102	57.302	0.05
CIERRE S	---	55.802	56.206	0.06
CIERRE T	---	58.102	58.607	0.3

**9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 7 – T2 (16 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.102	57.417	0.1
CIERRE S	---	55.802	54.416	0.55
CIERRE T	---	58.102	58.395	0.29

**9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 8 – T2 (17 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.101	55.544	0.01
CIERRE S	---	55.801	55.019	0.01
CIERRE T	---	59.101	58.610	0.36

V°B° Contratista:  <hr style="width: 100%;"/> Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 14 de 17

**9.1.5. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 9 – T2 (18 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms, (degrees))	VALOR MEDIDO (ms, (degrees))	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.103	55.989	0.37
CIERRE S	---	55.803	56.260	0.1
CIERRE T	---	58.103	57.945	0.25

**9.1.6. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 10 – T2 (18 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms, (degrees))	VALOR MEDIDO (ms, (degrees))	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.101	57.380	0.06
CIERRE S	---	55.801	54.767	0.08
CIERRE T	---	58.101	59.57	0.48

**9.1.7. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 11 – T2 (18 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 15 de 17



TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.103	57.393	0.05
CIERRE S	---	55.803	57.820	0.05
CIERRE T	---	57.103	57.811	0.22

**9.1.8. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 12 – T1 (19 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.100	56.381	0.4
CIERRE S	---	55.800	54.962	0.1
CIERRE T	---	57.100	56.486	0.07

**9.1.9. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 13 – T1 (19 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.1	55.986	0.12
CIERRE S	---	55.8	56.747	0.17
CIERRE T	---	57.1	56.442	0.17

**9.1.10. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 14 – T1 (19 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  _____ Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV			
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>		
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1	
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 16 de 17	

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	56.100	56.789	0.06
CIERRE S	---	55.800	56.603	0.07
CIERRE T	---	57.100	56.601	0.43

V°B° Contratista:  <hr style="width: 80%; margin-left: auto; margin-right: auto;"/> Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-003	Página : 17 de 17

**10. RESULTADO DE LA PRUEBA**

<b>APROBADO</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>APROBADO CON OBSERVACIONES</b>	<input type="checkbox"/>
<b>NO APROBADO</b>	<input type="checkbox"/>

**11. OBSERVACIONES**

Ninguna.

**12. COMENTARIOS**

---

**13. ANEXOS Y REPORTE ADJUNTOS**

1.- Archivos fuente de configuración del rele.
2.- Oscilografías registradas

**14. PERSONAL RESPONSABLE**

Ejecutor	Supervisor
Entidad:	Entidad:
Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:

V°B° Contratista:  <p style="text-align: center;">_____ Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS</p>	V°B° Supervisor SMCV
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

0	Emitido para revisión	21.01.2023	N.V.T	G.O.F.	CERRO VERDE
Revisión	Descripción	Fecha	Realizó	Revisó	Aprobó
<b>CLIENTE:</b>  <b>Cerro Verde</b>		<b>S.E. SAN JOSE</b>			
<b>CONTRATISTA:</b>  <b>H MV</b> <b>INGENIEROS</b>		<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>			
Responsable	Nombre	Fecha			
Preparó	Nilson Valentin T.	21.01.2023			
Revisó	Gregorio Ottiniano F.	21.01.2023			
Aprobó	Gregorio Ottiniano F.	21.01.2023			
Senior		21.01.2023			
Ciente	Cerro Verde S.A.	21.01.2023			
Documento N°: H MV-MIP17Z35-2102563-PTC-004				Revisión: 0	
				Páginas: 15	
<b>Nombre del documento:</b>					

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 2 de 15



### Contenido

<b>1. PRUEBA DE CALIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ESTÁNDARES.....</b>	<b>3</b>
<b>3. INFORMACIÓN DEL IED.....</b>	<b>5</b>
<b>4. TIPO DE PRUEBA – ALCANCE .....</b>	<b>6</b>
<b>5. EQUIPO DE PRUEBAS .....</b>	<b>6</b>
<b>6. FP1 – RELE DE MANDO SINCRONIZADO .....</b>	<b>6</b>
6.1. FICHA DEL DISPOSITIVO .....	6
6.2. ALCANCE DE PRUEBA .....	6
6.3. INSPECCIÓN VISUAL.....	7
6.4. PRUEBA DE ENTRADAS BINARIAS .....	7
6.5. PRUEBA DE SALIDAS BINARIAS .....	8
6.6. VERIFICACIÓN DE SEÑALIZACIÓN LED .....	9
9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 1 (19 enero):.....	10
9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 2 (19 enero):.....	10
9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 3 (19 enero):.....	10
9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 4 (19 enero):.....	11
9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 5: .....	11
9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 6: .....	12
9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 7: .....	12
9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 8: .....	12
9.1.5. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 9: .....	13
9.1.6. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 10: .....	13
<b>10. RESULTADO DE LA PRUEBA .....</b>	<b>15</b>
<b>11. OBSERVACIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>12. COMENTARIOS.....</b>	<b>15</b>
<b>13. ANEXOS Y REPORTES ADJUNTOS.....</b>	<b>15</b>
<b>14. PERSONAL RESPONSABLE .....</b>	<b>15</b>

V°B° Contratista:  <div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; width: 80%; margin: 0 auto;">           Ing. Gregorio Ottimiano F – HMV INGENIEROS         </div>	V°B° Supervisor SMCV
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 3 de 15

## 1. PRUEBA DE CALIFICACIÓN

Los resultados de las pruebas de aceptación en Fabrica serán transcritos en la columna denominada FAT.

Marca de Prueba	Descripción
X	Prueba realizada y exitosa
F	Prueba realizada pero fallida
	Prueba no realizada (en blanco, sin marcar)
-	Prueba no aplicable

Por lo general durante las pruebas FAT solo son repetidos un subconjunto de pruebas. Las pruebas no realizadas se dejan en blanco como se describe en el cuadro anterior.

## 2. ESTÁNDARES

Los estándares, normativas y recomendaciones aplicables para la elaboración y ejecución de las pruebas FAT del presente documento son detallados a continuación.

Estándar	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61439-1	<b>Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión – Parte 1: "Reglas generales"</b> La primera norma aborda las características, propiedades y rendimiento comunes a todos los cuadros, los cuales serán después detallados en las normas específicas relevantes.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61439-2	<b>Cuadros de distribución de potencia y maniobra</b> Estas normas son aplicables a todos los cuadros de distribución y control de baja tensión (aquellos en los que la tensión nominal no supera los 1000 V para CA o los 1500 V para CC). En este documento, el término "cuadro" se utiliza para hacer referencia a un conjunto de equipos de protección y maniobra de baja tensión.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60083	<b>Estándar para enchufes y tomacorrientes domésticos o similares</b> Aplicable a la instalación de equipos suministradores de baja tensión, como enchufes y tomacorrientes, a nivel doméstico y de uso industrial de bajo consumo.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61000-4-2	<b>Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad ante descargas electrostáticas</b> Aplicable a la instalación de equipos eléctricos de bajo consumo, con el fin de determinar el grado de aislamiento antes descargas electrostáticas.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60529	<b>Grados de protección proporcionados por gabinetes</b> Esta norma se aplica a la clasificación de los grados de protección (código IP) proporcionados por los gabinetes para equipos eléctricos con un voltaje nominal que no exceda los 72,5 Kv.

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 4 de 15



Estándar	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60050-447	<b>Vocabulario Electrotécnico Internacional</b>  Condensa las definiciones técnicas del vocabulario usado comúnmente en el ámbito eléctrico.
<input checked="" type="checkbox"/> PR20 COES SINAC	<b>Procedimiento técnico del comité de operación económica del SEIN</b>  Establece los requisitos, condiciones, responsabilidades y pasos necesarios para la conexión, modificación y el retiro de instalaciones eléctricas en el SEIN y la integración de instalaciones de transmisión, de acuerdo a los principios y normas que regulan las funciones del COES. Establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño de las instalaciones eléctricas que se conecten al SEIN.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60255-1	<b>Relés de medida y equipos de protección: Requerimientos Generales</b>  Forma parte de la norma IEC 60255 y proporciona un perfil general respecto a los requerimientos que deben cumplir los equipos de medida y protección para una adecuada aplicación de estas en los sistemas eléctricos a ser medidos y protegidos.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60255-24	<b>Formato común para el intercambio de datos transitorios (COMTRADE) para sistemas de energía</b>  Aplicable a la elaboración, análisis de fallas, intercambio de datos transitorios y su uso durante las pruebas de protección de los sistemas eléctricos.

V°B° Contratista:   _____ Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
----------------------------------------------------------------------------------	----------------------



S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 6 de 15

#### 4. TIPO DE PRUEBA – ALCANCE

DISPOSITIVOS		
MODELO – MARCA	FUNCIÓN	TAG
VIZIMAX – SYNCHROTEQ PLUS	RELE DE MANDO SINCRONIZADO	C2-5210-IED-2102

<input type="checkbox"/> PRUEBA FAT	<input checked="" type="checkbox"/> PRUEBA SAT	<input type="checkbox"/> PRUEBA DE MANTENIMIENTO
<input type="checkbox"/> CONTROL	<input type="checkbox"/> MEDICIÓN	<input type="checkbox"/> PROTECCIÓN

#### 5. EQUIPO DE PRUEBAS

MARCA Y MODELO	CMC356	<input type="checkbox"/> CHECKED
NÚMERO DE SERIE	LC001U	<input type="checkbox"/> CHECKED

#### 6. FP1 – RELE DE MANDO SINCRONIZADO

##### 6.1. FICHA DEL DISPOSITIVO

MARCA/FABRICANTE	VIZIMAX	TENSIÓN AUXILIAR	132.5 volts
MODELO	SYNCHROTEQ PLUS	TENSIÓN NOMINAL	500 kV L-L
NÚMERO DE SERIE	1376-32634-5	CORRIENTE NOMINAL	693 A por fase
VERSIÓN RELÉ	FW 2.0	FRECUENCIA	60 Hz
VERSIÓN INTERFAZ	VIZIMAX COMMISSIONING TOOL 5.0	TAG DEL EQUIPO	

**Nota:** Todos los mandos de apertura y cierre son enviados por el controlador RET670.

##### 6.2. ALCANCE DE PRUEBA

APLICA	NO APLICA	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INSPECCIÓN VISUAL
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ENTRADAS BINARIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SALIDAS BINARIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SEÑALIZACION LED
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INYECCIONES SECUNDARIAS (MEDICIÓN)

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV			
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>		
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1	
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 7 de 15	

APLICA	NO APLICA	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	CONTROL
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PROTECCIÓN
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICACIÓN DE EVENTOS Y OSCILGRAFIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICAR SINCRONIZACIÓN HORARIA
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICAR LA NO PÉRDIDA DE LAS SEÑALES EN 61850

### 6.3. INSPECCIÓN VISUAL

	CONFORME	OBSERVADO	N.A.
ASPECTO EXTERIOR (SIN DAÑO VISIBLE)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISPLAY DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TECLADO FRONTAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
COMUNICACIÓN EN PUERTOS FRONTAL Y POSTERIOR DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONDICIÓN DE LOS LEDS DE SEÑALIZACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONEXIONADO Y ROTULACIÓN DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 6.4. PRUEBA DE ENTRADAS BINARIAS

DESIGNACIÓN		DESCRIPCIÓN	V°B°
TERMINAL	VARIABLE		
X1	DI1+	posición de INT-5971 (solo para INT-5952)	<input checked="" type="checkbox"/>
X2	DI1-	N/A (retorno).	<input checked="" type="checkbox"/>
X4	DI2+	Bloquear cierre.	<input checked="" type="checkbox"/>
X5	DI2-	N/A (retorno).	<input checked="" type="checkbox"/>
X7	DI3+	Bloquear apertura.	<input checked="" type="checkbox"/>
X8	DI3-	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
Y1	52b phA	52b fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
Y2	52a phA	52a fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
Y4	52b phB	52a fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
Y5	52a phB	52b fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
Y7	52b phC	52a fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
Y8	52a phC	52b fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
Z8	Open	Mando de apertura	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV				
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>			
	Área : Subestación Eléctrica			Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004			Página : 8 de 15

DESIGNACIÓN		DESCRIPCIÓN	V°B°
TERMINAL	VARIABLE		
Z6	Close	Mando de cierre.	<input checked="" type="checkbox"/>

#### 6.5. PRUEBA DE SALIDAS BINARIAS

DESIGNACIÓN		DESCRIPCIÓN	V°B°
TERMINAL	VARIABLE		
A1	R1NO	Alarmas agrupadas en modo remoto, por ejemplo, fuera de servicio forzado.	<input checked="" type="checkbox"/>
A2	R2NO	Problema de apertura del interruptor, por ejemplo, apertura aleatoria.	<input checked="" type="checkbox"/>
A3	R3NO	Problema de cierre del interruptor, por ejemplo, cierre aleatorio	<input checked="" type="checkbox"/>
A4	R123C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
A5	R4NO	N/A (no utilizada)	<input checked="" type="checkbox"/>
A6	R5NO	Problema de apertura controlada (por ejemplo, pérdida de voltaje de sincronización + apertura aleatoria)	<input checked="" type="checkbox"/>
A7	R6NO	Problema de cierre controlada (por ejemplo, pérdida de voltaje de sincronización + cierre aleatorio)	<input checked="" type="checkbox"/>
A8	R456C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
B1	R7NO	Modo local	<input checked="" type="checkbox"/>
B2	R8NO	Alarma de monitoreo de interruptor + alarma de entrada digital, por ejemplo, número máximo de operaciones excedido.	<input checked="" type="checkbox"/>
B3	R9NO	Alarma de sensor	<input checked="" type="checkbox"/>
B4	R789C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
B5	R10NO	N/A (no cableada)	<input checked="" type="checkbox"/>
B6	R10NC	En servicio	<input checked="" type="checkbox"/>
B7	R10C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
B8	R11NO	N/A (no cableada)	<input checked="" type="checkbox"/>
C1	R11NC	Alarma fatal	<input checked="" type="checkbox"/>
C2	R11C	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
AA1	OPEN A	Mando de apertura fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
AA2	CLOSE A	Mando de cierre fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
AA3	OPEN B	Mando de apertura fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
AA4	CLOSE B	Mando de cierre fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
AA5	OPEN C	Mando de apertura fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
AA6	CLOSE C	Mando de cierre fase T	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  <hr style="width: 100%;"/> Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 9 de 15



#### 6.6. VERIFICACIÓN DE SEÑALIZACIÓN LED

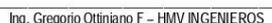
LED	TIPO	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	LED	Presione el botón "LED Test".	<input checked="" type="checkbox"/>

#### 7. MEDICION DE MEDIDAS ANALOGICAS

NÚMERO DE CANAL/ MODULO ANALOGO	TAG	RELACIÓN DE TC	RELACIÓN DE TP	VALOR ESPERADO (A), (V)	VALOR MEDIDO (A), (kV)	ROTACION
O1:O2 (I fase R)	I1		N/A	100	99.8	Positivo balanceado
N1:N2 (I fase S)	I2		N/A	200	197.6	Positivo balanceado
M1:M2 (I fase T)	I3		N/A	300	297.5	Positivo balanceado
P1:P2 (Vbarra-faseR)	V1	N/A		500.	500.1	Correcto
P4:P5	V2	No existe TT				
P7:P8	V3	No existe TT				
L7:L8 (VT fase R)	V1	N/A	---	---	---	---
K7:K8 (VT fase S)	V2	N/A	---	---	---	---
J7:J8 (VT fase T)	V3	N/A	---	---	---	---
Z1:Z2 (CB Vol)	VCB	N/A	N/A	125	134.4	N/A
C4:C5	V	N/A (Fuente de alimentación)				
S4:S5 (Vaux) (solo para INT-5952)	V1	N/A	---	500	4995	---

#### 8. MANIOBRAS DE INTERRUPTOR (OFF LOAD) APERTURA Y CIERRE:

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE LOS TIMING TEST APERTURA.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	VERIFICACION DE LOS TIMING TEST CIERRE.	<input checked="" type="checkbox"/>
3	VERIFICACION QUE NO HAY ALARMAS (SI HAY CONDICIONES)	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:	V°B° Supervisor SMCV
 Ing. Gregorio Ottiniano F - HMV INGENIEROS	

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 10 de 15



## 9. VERIFICACION DE SETTINGS Y OSCILOGRAFIA:

### 9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 1 (19 enero):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	53.568	0.06
CIERRE S	---	55.05	54.945	0.05
CIERRE T	---	55.87	55.302	0.05

### 9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 2 (19 enero):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	55.334	0.02
CIERRE S	---	55.05	54.876	0.05
CIERRE T	---	55.87	54.453	0.09

### 9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 3 (19 enero):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Otтинiano F - HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 11 de 15



TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	54.533	0.01
CIERRE S	---	55.05	54.604	0.01
CIERRE T	---	55.87	55.239	0.35

**9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 4 (19 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	53.995	0.11
CIERRE S	---	55.05	55.120	0.05
CIERRE T	---	55.87	54.854	0.24

**9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 5 (20 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	54.448	0.04
CIERRE S	---	55.05	54.947	0.03
CIERRE T	---	55.87	52.854	0.06

V°B° Contratista:  <hr style="width: 100%;"/> Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 12 de 15



**9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 6 (20 enero)::**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	54.443	0.04
CIERRE S	---	55.05	55.090	0.08
CIERRE T	---	55.87	55.163	0.03

**9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 7 (20 enero)::**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	53.457	0.06
CIERRE S	---	55.05	54.925	0.28
CIERRE T	---	55.87	56.002	0.05

**9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 8 (20 enero)::**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------



S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 14 de 15

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	54.785	0.11
CIERRE S	---	55.05	55.698	0.13
CIERRE T	---	55.87	54.944	0.12

**9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 12 (20 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	54.610	0.05
CIERRE S	---	55.05	55.568	0.22
CIERRE T	---	55.87	55.324	0.05

**9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 13 (20 enero):**

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.21	54.364	0.05
CIERRE S	---	55.05	55.729	0.07
CIERRE T	---	55.87	55.171	0.19

V°B° Contratista:    Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
-----------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-004	Página : 15 de 15

**10. RESULTADO DE LA PRUEBA**

<b>APROBADO</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>APROBADO CON OBSERVACIONES</b>	<input type="checkbox"/>
<b>NO APROBADO</b>	<input type="checkbox"/>

**11. OBSERVACIONES**

Ninguna.

**12. COMENTARIOS**

----

**13. ANEXOS Y REPORTE ADJUNTOS**

1.- Archivos fuente de configuración del rele.
2.- Oscilografías registradas

**14. PERSONAL RESPONSABLE**

Ejecutor	Supervisor
Entidad:	Entidad:
Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:

V°B° Contratista:	V°B° Supervisor SMCV
 Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	

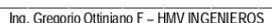
0	Emitido para revisión	21.01.2023	N.V.T	G.O.F.	CERRO VERDE
Revisión	Descripción	Fecha	Realizó	Revisó	Aprobó
<b>CLIENTE:</b>  <b>Cerro Verde</b>		<b>S.E. SAN JOSE</b>			
<b>CONTRATISTA:</b> 		<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>			
Responsable	Nombre	Fecha			
Preparó	Nilson Valentin T.	21.01.2023			
Revisó	Gregorio Ottiniano F.	21.01.2023			
Aprobó	Gregorio Ottiniano F.	21.01.2023			
Senior		21.01.2023			
Cliente	Cerro Verde S.A.	21.01.2023			
Documento N°: H MV-MIP17Z35-2102563-PTC-002				Revisión: 0	
				Páginas: 15	
<b>Nombre del documento:</b>					

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 2 de 12



### Contenido

<b>1. PRUEBA DE CALIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ESTÁNDARES.....</b>	<b>3</b>
<b>3. INFORMACIÓN DEL IED.....</b>	<b>5</b>
<b>4. TIPO DE PRUEBA – ALCANCE .....</b>	<b>6</b>
<b>5. EQUIPO DE PRUEBAS .....</b>	<b>6</b>
<b>6. FP1 – RELE DE MANDO SINCRONIZADO .....</b>	<b>6</b>
6.1. FICHA DEL DISPOSITIVO .....	6
6.2. ALCANCE DE PRUEBA .....	6
6.3. INSPECCIÓN VISUAL.....	7
6.4. PRUEBA DE ENTRADAS BINARIAS .....	7
6.5. PRUEBA DE SALIDAS BINARIAS .....	8
6.6. VERIFICACIÓN DE SEÑALIZACIÓN LED .....	9
9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 1 (17-01):.....	10
9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 2 (17-01):.....	10
9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 3 (18-01):.....	10
9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 4 (19-01):.....	11
<b>10. RESULTADO DE LA PRUEBA .....</b>	<b>12</b>
<b>11. OBSERVACIONES.....</b>	<b>12</b>
<b>12. COMENTARIOS.....</b>	<b>12</b>
<b>13. ANEXOS Y REPORTES ADJUNTOS.....</b>	<b>12</b>
<b>14. PERSONAL RESPONSABLE .....</b>	<b>12</b>

V°B° Contratista:  <div style="text-align: center;">             Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS         </div>	V°B° Supervisor SMCV
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 3 de 12

## 1. PRUEBA DE CALIFICACIÓN

Los resultados de las pruebas de aceptación en Fabrica serán transcritos en la columna denominada FAT.

Marca de Prueba	Descripción
X	Prueba realizada y exitosa
F	Prueba realizada pero fallida
	Prueba no realizada (en blanco, sin marcar)
-	Prueba no aplicable

Por lo general durante las pruebas FAT solo son repetidos un subconjunto de pruebas. Las pruebas no realizadas se dejan en blanco como se describe en el cuadro anterior.

## 2. ESTÁNDARES

Los estándares, normativas y recomendaciones aplicables para la elaboración y ejecución de las pruebas FAT del presente documento son detallados a continuación.

Estándar	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61439-1	<b>Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión – Parte 1: "Reglas generales"</b> La primera norma aborda las características, propiedades y rendimiento comunes a todos los cuadros, los cuales serán después detallados en las normas específicas relevantes.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61439-2	<b>Cuadros de distribución de potencia y maniobra</b> Estas normas son aplicables a todos los cuadros de distribución y control de baja tensión (aquellos en los que la tensión nominal no supera los 1000 V para CA o los 1500 V para CC). En este documento, el término "cuadro" se utiliza para hacer referencia a un conjunto de equipos de protección y maniobra de baja tensión.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60083	<b>Estándar para enchufes y tomacorrientes domésticos o similares</b> Aplicable a la instalación de equipos suministradores de baja tensión, como enchufes y tomacorrientes, a nivel doméstico y de uso industrial de bajo consumo.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 61000-4-2	<b>Pruebas y técnicas de medida para prueba de inmunidad ante descargas electrostáticas</b> Aplicable a la instalación de equipos eléctricos de bajo consumo, con el fin de determinar el grado de aislamiento antes descargas electrostáticas.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60529	<b>Grados de protección proporcionados por gabinetes</b> Esta norma se aplica a la clasificación de los grados de protección (código IP) proporcionados por los gabinetes para equipos eléctricos con un voltaje nominal que no exceda los 72,5 Kv.

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 4 de 12



Estándar	Nombre
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60050-447	<b>Vocabulario Electrotécnico Internacional</b>  Condensa las definiciones técnicas del vocabulario usado comúnmente en el ámbito eléctrico.
<input checked="" type="checkbox"/> PR20 COES SINAC	<b>Procedimiento técnico del comité de operación económica del SEIN</b>  Establece los requisitos, condiciones, responsabilidades y pasos necesarios para la conexión, modificación y el retiro de instalaciones eléctricas en el SEIN y la integración de instalaciones de transmisión, de acuerdo a los principios y normas que regulan las funciones del COES. Establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño de las instalaciones eléctricas que se conecten al SEIN.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60255-1	<b>Relés de medida y equipos de protección: Requerimientos Generales</b>  Forma parte de la norma IEC 60255 y proporciona un perfil general respecto a los requerimientos que deben cumplir los equipos de medida y protección para una adecuada aplicación de estas en los sistemas eléctricos a ser medidos y protegidos.
<input checked="" type="checkbox"/> IEC 60255-24	<b>Formato común para el intercambio de datos transitorios (COMTRADE) para sistemas de energía</b>  Aplicable a la elaboración, análisis de fallas, intercambio de datos transitorios y su uso durante las pruebas de protección de los sistemas eléctricos.

V°B° Contratista:   <hr style="width: 100%;"/> Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 5 de 12
		

### 3. INFORMACIÓN DEL IED

<b>SUBESTACIÓN</b>	SAN JOSE - 5972
<b>NIVEL DE TENSION</b>	500 KV
<b>PROPIEDAD DE</b>	CERRO VERDE
<b>TABLERO</b>	MANDO SINCRONIZADO
<b>TAG</b>	C2-5210-IED-2103
<b>LUGAR DE PRUEBAS</b>	SUBESTACION SAN JOSE 500 KV
<b>FECHA</b>	20-01-2023
<b>PLANOS DE REFERENCIA</b>	

V°B° Contratista:   <hr style="width: 100%;"/> Ing. Gregorio Ottimiano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV			
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>		
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1	
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 6 de 12	

#### 4. TIPO DE PRUEBA – ALCANCE

DISPOSITIVOS		
MODELO – MARCA	FUNCIÓN	TAG
VIZIMAX – SYNCHROTEQ PLUS	RELE DE MANDO SINCRONIZADO	C2-5210-IED-2103

<input type="checkbox"/> PRUEBA FAT	<input checked="" type="checkbox"/> PRUEBA SAT	<input type="checkbox"/> PRUEBA DE MANTENIMIENTO
<input type="checkbox"/> CONTROL	<input type="checkbox"/> MEDICIÓN	<input type="checkbox"/> PROTECCIÓN

#### 5. EQUIPO DE PRUEBAS

MARCA Y MODELO	MC356	<input checked="" type="checkbox"/> CHECKED
NÚMERO DE SERIE	LC001U	<input checked="" type="checkbox"/> CHECKED

#### 6. FP1 – RELE DE MANDO SINCRONIZADO

##### 6.1. FICHA DEL DISPOSITIVO

MARCA/FABRICANTE	VIZIMAX	TENSIÓN AUXILIAR	132.5 volts
MODELO	SYNCHROTEQ PLUS	TENSIÓN NOMINAL	500 kV L-L
NÚMERO DE SERIE	1376-32633-4	CORRIENTE NOMINAL	693 A por fase
VERSIÓN RELÉ	FW 2.0	FRECUENCIA	60 Hz
VERSIÓN INTERFAZ	VIZIMAX COMMISSIONING TOOL 5.0	TAG DEL EQUIPO	

**Nota:** Todos los mandos de apertura y cierre son enviados por el controlador RET670.

##### 6.2. ALCANCE DE PRUEBA

APLICA	NO APLICA	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INSPECCIÓN VISUAL
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ENTRADAS BINARIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SALIDAS BINARIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SEÑALIZACION LED
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INYECCIONES SECUNDARIAS (MEDICIÓN)

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 7 de 12

APLICA	NO APLICA	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	CONTROL
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	PROTECCIÓN
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICACIÓN DE EVENTOS Y OSCILGRAFIAS
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICAR SINCRONIZACIÓN HORARIA
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	VERIFICAR LA NO PÉRDIDA DE LAS SEÑALES EN 61850

### 6.3. INSPECCIÓN VISUAL

	CONFORME	OBSERVADO	N.A.
ASPECTO EXTERIOR (SIN DAÑO VISIBLE)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISPLAY DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TECLADO FRONTAL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
COMUNICACIÓN EN PUERTOS FRONTAL Y POSTERIOR DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONDICIÓN DE LOS LEDS DE SEÑALIZACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONEXIONADO Y ROTULACIÓN DEL EQUIPO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 6.4. PRUEBA DE ENTRADAS BINARIAS

DESIGNACIÓN		DESCRIPCIÓN	V°B°
TERMINAL	VARIABLE		
X1	DI1+	posición de INT-5971 (solo para INT-5952)	<input checked="" type="checkbox"/>
X2	DI1-	N/A (retorno).	<input checked="" type="checkbox"/>
X4	DI2+	Bloquear cierre.	<input checked="" type="checkbox"/>
X5	DI2-	N/A (retorno).	<input checked="" type="checkbox"/>
X7	DI3+	Bloquear apertura.	<input checked="" type="checkbox"/>
X8	DI3-	N/A (retorno)	<input checked="" type="checkbox"/>
Y1	52b phA	52b fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
Y2	52a phA	52a fase R	<input checked="" type="checkbox"/>
Y4	52b phB	52a fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
Y5	52a phB	52b fase S	<input checked="" type="checkbox"/>
Y7	52b phC	52a fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
Y8	52a phC	52b fase T	<input checked="" type="checkbox"/>
Z8	Open	Mando de apertura	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  <p style="text-align: center;">_____ Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS</p>	V°B° Supervisor SMCV  
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------



S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 9 de 12



#### 6.6. VERIFICACIÓN DE SEÑALIZACIÓN LED

LED	TIPO	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	LED	Presione el botón "LED Test".	<input checked="" type="checkbox"/>

#### 7. MEDICION DE MEDIDAS ANALOGICAS

NÚMERO DE CANAL/ MODULO ANALOGO	TAG	RELACIÓN DE TC	RELACIÓN DE TP	VALOR ESPERADO (A), (V)	VALOR MEDIDO (A), (kV)	ROTACION
O1:O2 (I fase R)	I1	1000:1	N/A	100	99.8	Positivo balanceado
N1:N2 (I fase S)	I2	1000:1	N/A	200	198.9	Positivo balanceado
M1:M2 (I fase T)	I3	1000:1	N/A	300	295.3	Positivo balanceado
P1:P2 (Vbarra-faseR)	V1	N/A	500	500.	500.1	Correcto
P4:P5	V2	No existe TT				
P7:P8	V3	No existe TT				
L7:L8 (VT fase R)	V1	N/A	---	---	---	---
K7:K8 (VT fase S)	V2	N/A	---	---	---	---
J7:J8 (VT fase T)	V3	N/A	---	---	---	---
Z1:Z2 (CB Vol)	VCB	N/A	N/A	125	132.3	N/A
C4:C5	V	N/A (Fuente de alimentación)				
S4:S5 (Vaux) (solo para INT-5952)	V1	N/A	---	500	498.8	---

#### 8. MANIOBRAS DE INTERRUPTOR (OFF LOAD) APERTURA Y CIERRE:

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE LOS TIMING TEST APERTURA.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	VERIFICACION DE LOS TIMING TEST CIERRE.	<input checked="" type="checkbox"/>
3	VERIFICACION QUE NO HAY ALARMAS (SI HAY CONDICIONES)	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F - HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 10 de 12



## 9. VERIFICACION DE SETTINGS Y OSCILOGRAFIA:

### 9.1.1. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 1 (17-01):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.60	55.232	0.04
CIERRE S	---	52.90	53.230	0.14
CIERRE T	---	55.21	55.858	0.03

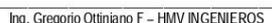
### 9.1.2. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 2 (17-01):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCILOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.60	55.106	0.13
CIERRE S	---	52.90	52.749	0.02
CIERRE T	---	55.21	56.373	0.05

### 9.1.3. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 3 (18-01):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>

V°B° Contratista:	V°B° Supervisor SMCV
 Ing. Gregorio Ottiniano F - HMV INGENIEROS	

S.E. SAN JOSE 500/220 kV			
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>		
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1	
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 11 de 12	

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.60	53.918	0.04
CIERRE S	---	52.90	54.349	0.05
CIERRE T	---	55.21	56.744	0.05

#### 9.1.4. EVENTO DE ENERGIZACION CIERRE 4 (19-01):

ITEM	DESCRIPCIÓN	V°B°
1	VERIFICACION DE AJUSTES FINALES PRE-ENERGIZACION.	<input checked="" type="checkbox"/>
2	EXTRACCION DE EVENTO POST ENERGIZACION	<input checked="" type="checkbox"/>
3	EXTRACCION DE OSCIOGRAFIA, ANALISIS Y REAJUSTES.	<input checked="" type="checkbox"/>

TIEMPOS / ANGULOS	TAG	VALOR ESPERADO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO (ms), (degrees)	VALOR MEDIDO DE CORRIENTE (A, p.u.)
CIERRE R	---	54.60	55.379	0.05
CIERRE S	---	52.90	53.254	0.21
CIERRE T	---	55.21	55.515	0.05

V°B° Contratista:  Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS	V°B° Supervisor SMCV
---------------------------------------------------------------------	----------------------

S.E. SAN JOSE 500/220 kV		
	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS SAT - RELE DE MANDO SINCRONIZADO</b>	
	Área : Subestación Eléctrica	Revisión : 1
	Código : HMV-MIP17Z35-2102563-PTC-002	Página : 12 de 12

**10. RESULTADO DE LA PRUEBA**

<b>APROBADO</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>APROBADO CON OBSERVACIONES</b>	<input type="checkbox"/>
<b>NO APROBADO</b>	<input type="checkbox"/>

**11. OBSERVACIONES**

Ninguna.

**12. COMENTARIOS**

---

**13. ANEXOS Y REPORTE ADJUNTOS**

1.- Archivos fuente de configuración del rele.
2.- Oscilografías registradas

**14. PERSONAL RESPONSABLE**

Ejecutor	Supervisor
Entidad:	Entidad:
Nombre:	Nombre:
Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:

V°B° Contratista:  <p style="text-align: center;">_____ Ing. Gregorio Ottiniano F – HMV INGENIEROS</p>	V°B° Supervisor SMCV
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------

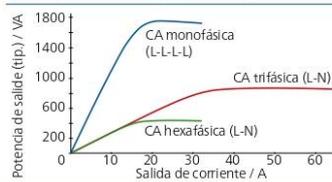
**ANEXO 3**  
**FICHA TÉCNICA DE MALETA DE PRUEBAS CMC-356 MARCA OMICRON**

# Resumen de las especificaciones técnicas<sup>1</sup>

## CMC 356

### Amplificadores de corriente

Rango de valores	CA hexafásica (L-N)	6 x 0 ... 32 A
	CA trifásica (L-N)	3 x 0 ... 64 A (grupo A II B)
	CA monofásica (LL-LN)	1 x 0 ... 128 A (grupo A II B)
	CC (LL-LN)	1 x 0 ... ±180 A (Grupo A II B)
Potencia	CA hexafásica (L-N)	6 x 430 VA típ. a 25 A 6 x 250 W garant. a 20 A
	CA trifásica (L-N)	3 x 860 VA típ. a 50 A 3 x 500 W garant. a 40 A
	CA monofásica (L-L-L)	1 x 1740 VA típ. a 25 A 1 x 1100 W garant. a 20 A



Exactitud	Error < 0,05 % rd. <sup>2</sup> + 0,02 % rg. <sup>2</sup> típ. Error < 0,15 % rd. + 0,05 % rg. garant.
Distorsión (DAT+N) <sup>3</sup>	< 0,05 % típ., < 0,15 % garant.
Resolución	1 mA
Tensión de fuente máxima (L-N)/(L-L)/(L-L-L)	35 Vpk / 70 Vpk / 140 Vpk

### Amplificadores, general

Frecuencia	Rango de señales sinusoidales <sup>4</sup>	10 ... 1000 Hz
	Rango de armónicos / interarmónicos	Tensión: 10 ... 3000 Hz <sup>5</sup> Corriente: 10 ... 1000 Hz
	Rango de señales transitorias	CC ... 3,1 kHz <sup>5</sup>
	Resolución	< 5 µHz
Fase	Resolución	0,001°
	Error a 50/60 Hz	Tensión: 0,02° típ., < 0,1° garant. Corriente: 0,05° típ., < 0,2° garant. <sup>3</sup>
Ancho de banda (-3 dB)		3,1 kHz

<sup>1</sup> Las especificaciones técnicas completas están disponibles a petición. Todos los datos especificados están garantizados, salvo si se indica lo contrario. OMICRON garantiza los datos especificados por un período de un año después de la calibración en fábrica, a una temperatura de 23 °C ±5 °C en el intervalo de frecuencias de 10 a 100 Hz y después de una fase de calentamiento > 25 minutos

<sup>2</sup> rd. = lectura, rg. = rango

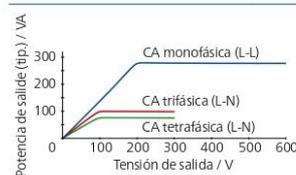
<sup>3</sup> THD+N: Valores a 50/60Hz nominal, ancho de banda de medición de 20 kHz

<sup>4</sup> Para reducción de la amplitud de salida de corriente a > 380 Hz Reducción de la amplitud a > 1000 Hz

<sup>5</sup> La opción de hardware ELT-1 convierte las 10 entradas binarias en entradas de medida de tensión CA y CC analógicas multifuncionales y añade dos entradas de medida CC (0 ... 10 V / 0 ... 20 mA) para la prueba de transductores

### Amplificador de tensión

Rango de valores	CA tetrafásica (L-N)	4 x 0 ... 300 V
	CA monofásica (L-L)	2 x 0 ... 600 V
	CC (L-N)	4 x 0 ... ±300 V
Comunicaciones en	CA tetrafásica (L-N)	4 x 75 VA típ. a 100 ... 300 V 4 x 50 VA garant. a 85 ... 300 V
	CA trifásica (L-N)	3 x 100 VA típ. a 100 ... 300 V 3 x 85 VA garant. a 85 ... 300 V
CA monofásica (L-L)		1 x 275 VA típ. a 200 ... 600 V 1 x 250 VA garant. a 200 ... 600 V



Precisión (a 0... 300 V)	Error < 0,03 % rd. <sup>2</sup> + 0,01 % rg. <sup>2</sup> típ. Error < 0,08 % rd. + 0,02 % rg. garant.
Distorsión (DAT+N) <sup>3</sup>	0,015 % típ., < 0,05 % garant.
Resolución	5 mV / 10 mV en el rango de 150 V / 300 V
Rangos	150 V / 300 V

### Salidas de bajo nivel

Número de salidas	6 (12 con opción LLO-2)
Rango de valores	0 ... ±10 Vpk

### Fuente de CC auxiliar

Rangos de tensión, corriente máxima	0 ... 264 VCC, 0,2 A 0 ... 132 VCC, 0,4 A 0 ... 66 VCC, 0,8 A
-------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

### Entradas binarias

Número	10 (5 grupos de potencial)
Criterios de trigger	Alternancia de contactos sin potencial o tensión de CC, en comparación con la tensión umbral
Rangos	20 V / 300 V Si está equipado con ELT-1 <sup>6</sup> : 100 mV / 1 V / 10 V / 100 V / 600 V
Velocidad de muestreo	10 kHz (resolución 100 µs)

### Salidas binarias

Tipo	4 relés 4 transistores
Capacidad de interrupción de relé	Imáx: 8 A / Pmáx: 2000 VA a 300 Vca Imáx: 8 A / Pmáx: 50 W a 300 Vcc


**Entradas de medición de CC (Si la opción ELT-1 está equipada con<sup>1)</sup>)**

Rango de medición de tensión	0 ... ±10 V
Rango de medición de corriente	0 ... ±1 mA, 0 ... ±20 mA

**Entradas de medición analógicas de CA + CC (si la opción ELT-1 está equipada con<sup>1,2)</sup>)**

Tipo	Entradas de tensión analógicas CA + CC (medición de corriente con pinzas de corriente externa o resistencias en derivación)
Número	10
Rangos nominales de entrada (valores eficaces)	100 mV / 1 V / 10 V / 100 V / 600 V
Exactitud de la amplitud	Error < 0,06 % típ., < 0,15 % garant.

**IEC 61850<sup>3)</sup>**

Publicación	
GOOSE	360 salidas binarias virtuales, 128 GOOSEs
Sampled Values	IEC 61850-9-2 („9-2LE“), IEC 61869-9
Suscripción	
GOOSE	360 entradas binarias virtuales, 128 GOOSE
Número máximo de flujos	
Publicación	RelaySimTest: 4, Test Universe: 3 (1 flujo: 4 V + 4 I)

**Sincronización de tiempo**

Reloj de sistema interno	
Desviación de la frecuencia	< 0,37 ppm / 24 h < 4,6 ppm / 20 años

**CMC 356 con referencia externa**

Exactitud absoluta de sincronismo (tensión/corriente)	< 1 µs típ., < 5 µs garant.
A tensión externa	Señal de referencia en entrada binaria 10: 10 ... 300 V / 15 ... 70 Hz
Precision Time Protocol (PTP)	IEEE 1588-2008 IEEE C37.238 (perfil eléctrico) IEC 61850-9-3 (perfil de compañía eléctrica)

**CMC 356 a equipos en prueba**

IRIG-B, PPS, PPX	Vía CMIRIG-B, TICRO 100
------------------	-------------------------

**Alimentación eléctrica**

Tensión nominal de entrada	100 ... 240 Vca, 1 fase (50/60 Hz)
----------------------------	------------------------------------

**Condiciones ambientales**

Temperatura de funcionamiento <sup>4)</sup>	0 ... +50 °C
Temperatura de almacenamiento	-25 ... +70 °C
Rango de humedad	Humedad relativa 5 ... 95 %, sin cond.

**Confiabilidad del equipo**
**Interferencias electromagnéticas (IEM)**

Internacional / Europa	IEC/EN 61326-1, IEC/EN 61000-6-4, IEC/EN 61000-3-2/3, CISPR 32 (Clase A)/EN 55032 (Clase A)
Norteamérica	47 CFR 15 Subparte B (Clase A) de FCC

**Susceptibilidad electromagnética (EMS)**

Internacional / Europa	IEC/EN 61326-1, IEC/EN 61000-6-2/5, IEC/EN 61000-4-2/3/4/5/6/8/11/16/18
------------------------	-------------------------------------------------------------------------

**Seguridad**

Internacional / Europa	IEC/EN 61010-1, IEC/EN 61010-2-030
Norteamérica	UL 61010-1, UL 61010-2-030, CAN/CSA-C22.2 Nº 61010-1, CAN/CSA-C22.2 Nº 61010-2-030

**Ensayos mecánicos**

Vibraciones	IEC 60068-2-6
Golpes	IEC 60068-2-27

**Otros**

Peso	16,8 kg
Dimensiones (An. x Al. x F sin asa)	450 x 145 x 390 mm
Conexión para PC	2 puertos PoE (Power over Ethernet) Puerto USB tipo B (PC) Puerto USB tipo A (adaptador Wi-Fi opcional para control inalámbrico)

**Certificaciones**

Producto desarrollado y fabricado conforme a un sistema con certificación ISO 9001



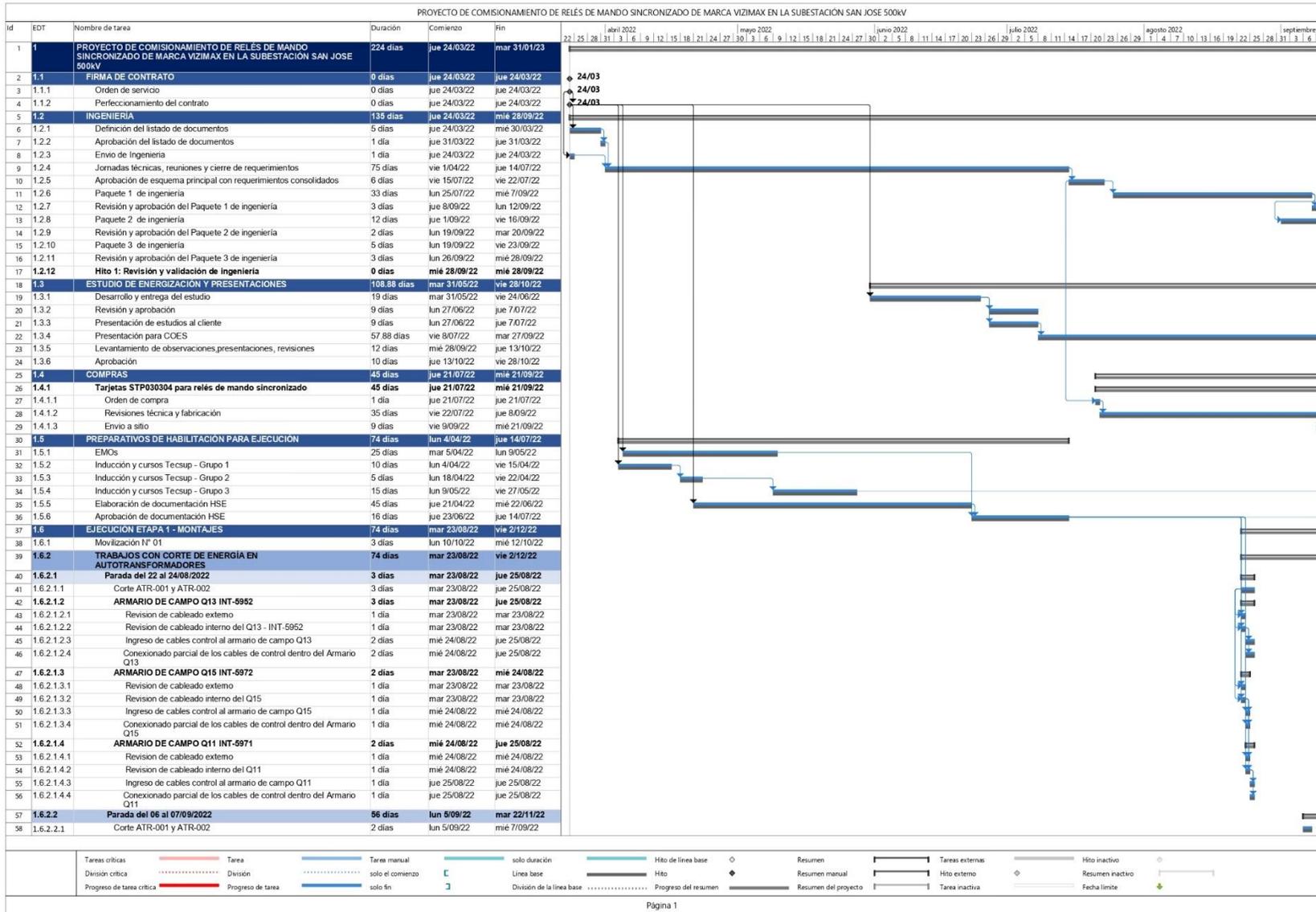
<sup>1)</sup> La opción de hardware ELT-1 convierte las 10 entradas binarias en entradas de medida de tensión CA y CC analógicas multifuncionales y añade dos entradas de medida CC (0 ... 10 V / 0 ... 20 mA) para la prueba de transductores

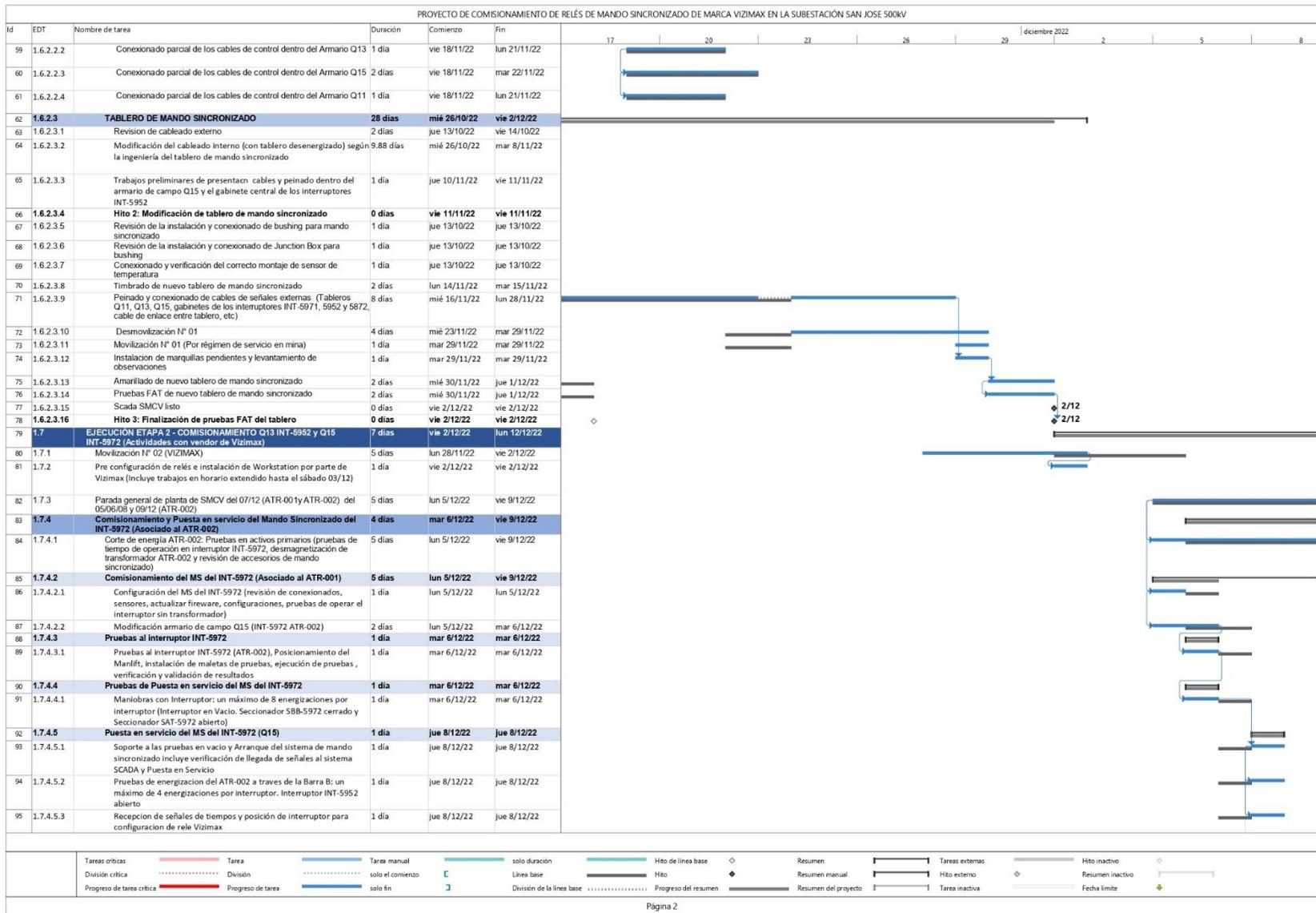
<sup>2)</sup> Pueden utilizarse hasta tres entradas para medir valores eficaces, frecuencia y ángulo de fase sin la licencia del software Eenergyzer. Para el uso de todas las funciones se requiere licencia del software Eenergyzer

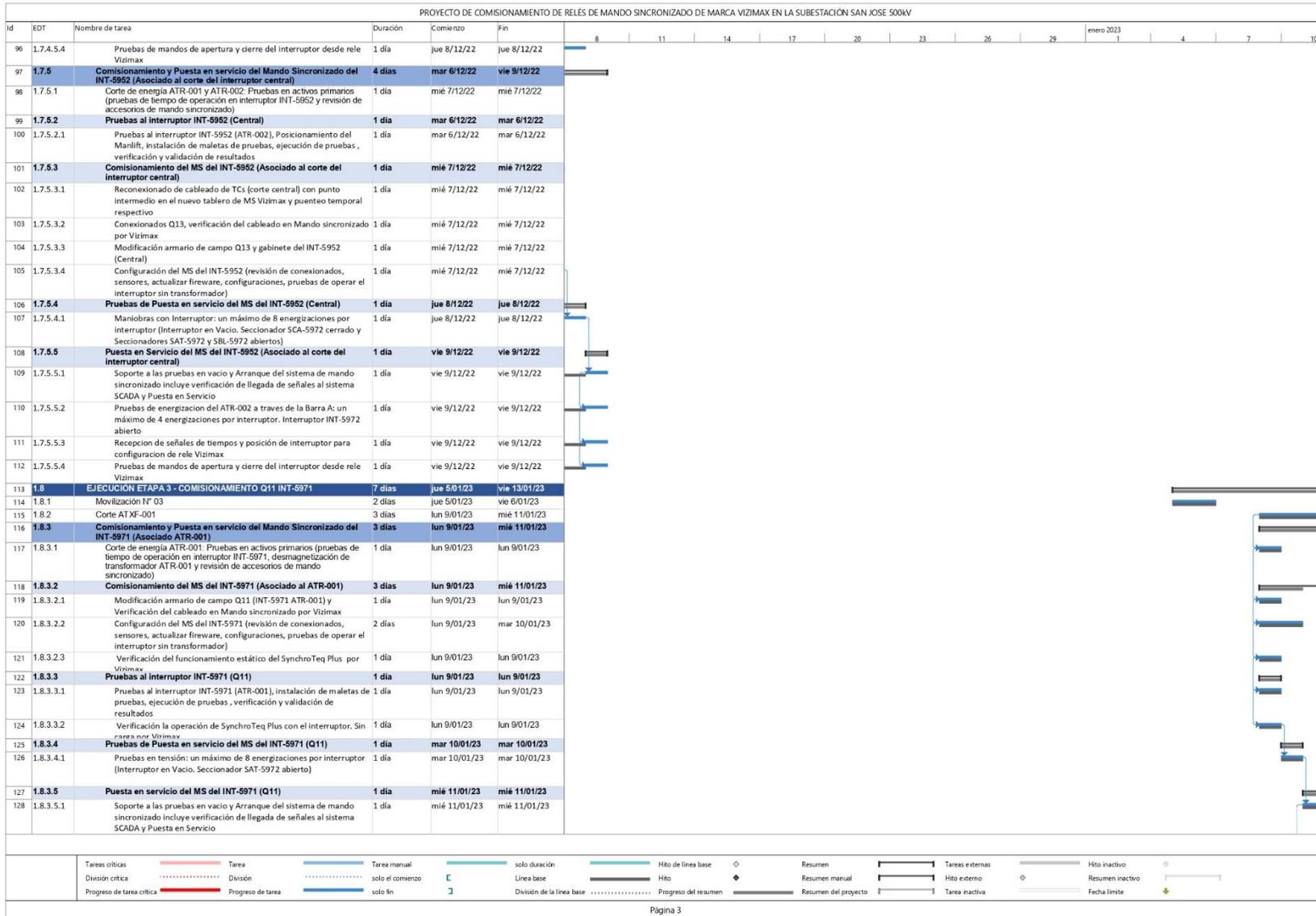
<sup>3)</sup> La funcionalidad de GOOSE y Sampled Values requiere licencias de software para los respectivos módulos de configuración

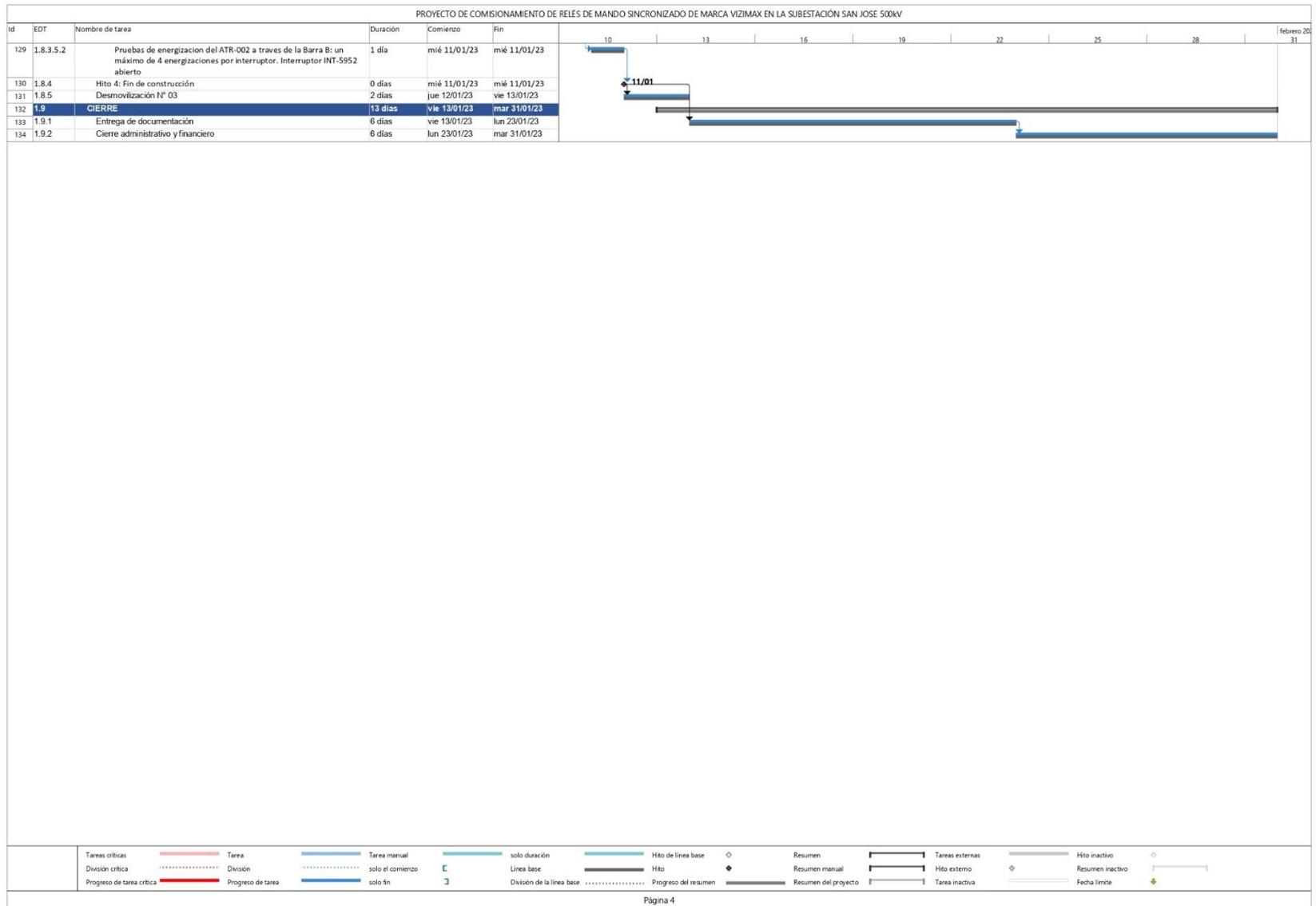
<sup>4)</sup> Para una temperatura de funcionamiento superior a +30 °C puede producirse una reducción del ciclo de servicio de hasta un 50 %

**ANEXO 4**  
**CRONOGRAMA DE PROYECTO**









**ANEXO 5**  
**FORMATO DE VALORIZACIÓN**

LOGO DEL CLIENTE	PROYECTO: COMISIONAMIENTO DE RELÉS DE MANDO SINCRONIZADO DE MARCA VIZIMAX EN LA SUBESTACIÓN SAN JOSÉ 500KV VALORIZACIÓN	LOGO DE CONTRATISTA
------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------

PROYECTO: COMISIONAMIENTO DE RELÉS DE MANDO SINCRONIZADO DE MARCA VIZIMAX EN LA SUBESTACIÓN SAN JOSÉ 500KV  
 FINANCIACIÓN: UBICACIÓN:  
 CONTRATISTA:

PRESUPUESTO DEL PROYECTO:  
 FECHA DE INICIO DE OBRA:  
 FECHA DE PRESENTACIÓN: CORRESPONDE AL MES DE:

PARTIDA	DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO				VALORIZACIONES				SALDO POR VALORIZAR			
		UND	Metrado	P.U. USD	Preup. USD	VALORIZACION ANTERIOR		VALORIZACION ACTUAL N° 0		TOTAL ACUMULADO ACTUAL			
						Metrado	Valoriz USD	Metrado	Valoriz USD	Metrado	Valoriz USD	Metrado	Valoriz USD
<b>PARTIDAS GENERALES</b>													
1	Adelanto (20%)	Gb	1.00										
1	Partidas Generales												
1.1	Obras Preliminares												
1.1.1	Movilización y desmovilización de equipos, materiales y herramientas.	Gb	1.00										
1.1.2	Instalación, Mantenimiento y retiro de Facilidades de Obra	Gb	1.00										
2	Partidas Elécticas												
2.1	Revisión, validación y/o actualización de la ingeniería	Gb	1.00										
2.2	Recableado del tablero de mando sincronizado de acuerdo con la revisión de ingeniería, incluye suministros	Gb	1.00										
2.3	Conexión de tablero de mando sincronizado (cables en ambos extremos de campo y de sistema SCADA)	EA	1.00										
2.4	Revisión de montaje y conexionado de periféricos como son bushing para mando sincronizado, Junction box y sensor de temperatura	EA	1.00										
2.5	Pruebas SAT previos al comisionamiento del tablero de mando Sincronizado	EA	1.00										
2.6	Integración de un nuevo Workstation para la supervisión del sistema.	EA	1.00										
2.7	Soporte a las pruebas en vacío y Arranque del sistema de mando sincronizado incluye señales al sistema SCADA	Gb	1.00										
2.8	Actualización del estudio de energización	Gb	1.00										
3	Costos Indirectos												
3.1	Gastos generales	Gb	1.00										
3.2	Supervisión	Gb	1.00										
3.3	Seguridad	Gb	1.00										
3.4	Financiamiento	Gb	1.00										
3.5	Utilidad	Gb	1.00										
<b>PARCIAL VALORIZACION SIN IGV</b>													
<b>AMORTIZACION</b>													
<b>TOTAL VALORIZACION SIN IGV</b>													