

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA EN ENERGÍA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“PRUEBAS SAT A EQUIPOS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN
DE LA SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220 kV**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA**

AUTOR:

Bach. SABANA MONTERO, Cristian Santos

ASESOR:

M.Sc. ESCATE RAVELO, Julio Hipólito Néstor

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2019



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente Trabajo de Suficiencia, ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del Santa (R: D: N° 471-2014-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

**TITULO: PRUEBAS SAT A EQUIPOS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSION DE LA
SUBESTACION COLCABAMBA 500/220kV**

Autor: Bach. Cristian Santos Sabana Montero


M. Sc. Julio Escate Ravello
Asesor



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR

Terminada la sustentación de la tesis titulada "PRUEBAS SAT A EQUIPOS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSION DE LA SUBESTACION COLCABAMBA 500/220kV". Se considera aprobado al Bachiller Cristian Santos Sabana Montero, con código 0200911041.

Revisado y aprobado, por el jurado evaluador designado mediante Resolución N° 087-2020-UNS-CFI de fecha 29 de Julio de 2020.

Mg. Amancio R. Rojas Flores
PRESIDENTE

M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello
SECRETARIO

M.Sc. César L. López Aguilar
INTEGRANTE



Año de la Universalización de la Salud

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los treinta días del mes de setiembre del año dos mil veinte, siendo las once de la mañana, se reunieron en forma virtual a través de la aplicación zoom, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N°087-2020-UNS-CFI, integrado por los siguientes docentes:

- Mg. AMANCIO RAMIRO FLORES ROJAS : PRESIDENTE
- M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO : SECRETARIO
- M.Sc. CESAR LUIS LOPEZ AGUILAR : INTEGRANTE
- Mg. SEGUNDO NICOLAS DIESTRA SANCHEZ : ACCESITARIO

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: "PRUEBAS SAT A EQUIPOS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSION DE LA SUBESTACION COLCABAMBA 500/200KV", elaborada por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **SABANA MONTERO CRISTIAN SANTOS**, con código de matricula N°0200911041, teniendo como asesor al docente M.Sc. JULIO HIPOLITO NESTOR ESCATE RAVELLO designado mediante Resolución Decanal N° 339-2019-UNS-FI.

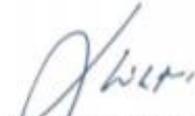
Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Titulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
SABANA MONTERO CRISTIAN SANTOS	18	MUY BUENO

Siendo las doce del mediodía, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


Mg. Amancio R. Rojas Flores
PRESIDENTE


M.Sc. Julio H. N. Escate Ravello
SECRETARIO


M.Sc. César L. López Aguilar
INTEGRANTE

DEDICATORIA

“A Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se me presentaban”

“A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y mi coraje para conseguir mis objetivos.”

"A mi compañera de toda la vida Rocio, a mis hijos Ian y Nayla por ser la razón para mi superación"

"A mis padres y mi segunda madre que se encuentra en el cielo. Gracias por su apoyo y superación"

ÍNDICE

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
PRESENTACIÓN	16
I. TEMA ESPECIFICO ABORDADO	17
II. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL	17
III. IMPORTANCIA PARA EL EJERCICIO DE LA CARRERA PROFESIONAL	18
IV. OBJETIVOS PLANTEADOS Y LOGRADOS	19
V. SUSTENTO TEÓRICO DEL TEMA ABORDADO	20
5.1 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS	20
5.1.1 INTRODUCCIÓN	20
5.2 PRINCIPALES EQUIPOS DE PATIO	23
5.2.1 INTERRUPTORES DE POTENCIA	23
5.2.2 SECCIONADORES.....	31
5.2.3 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN.....	37
5.2.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.....	43
5.2.5 PARARRAYOS	48
5.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220kV	50
5.3.1 CONFIGURACIÓN DE LA SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220kV ...	52
5.3.2 PATIO 500kV	54
5.3.3 PATIO 220kV	57
5.4 TEORÍA DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS A LOS EQUIPOS DE PATIO DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN	66
5.4.1 PRUEBAS DE CAMPO - SAT.....	66
5.4.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	67
5.4.3 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO, PERDIDAS DIELÉCTRICAS Y CAPACITANCIA.....	69
5.4.4 RESISTENCIA DE CONTACTOS	74
5.4.5 PRUEBA DE RESISTENCIA DE DEVANADOS.....	77
5.4.6 RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	78
5.4.7 VERIFICACIÓN DE POLARIDAD	79

5.4.8	CURVA DE SATURACIÓN	79
5.4.9	PRUEBA DE TIEMPOS	81
5.4.10	PRUEBA DE DISCREPANCIA DE POLOS.....	84
VI.	ORGANIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS LOGRADAS	
	85	
6.1	CONDICIONES PRELIMINARES ANTES DE LAS PRUEBAS.....	85
6.1.1	Requisitos Previos	86
6.2	PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS A EQUIPOS DE PATIO EN LA	
SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220kV.....	87	
6.2.1	TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 220kV	87
6.2.2	PARARRAYOS 198kV	93
6.2.3	INTERRUPTORES DE POTENCIA 220kV.....	98
6.2.4	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 220kV	103
6.2.5	REACTOR LIMITADOR DE CORRIENTE 220kV.....	111
6.2.6	SECCIONADORES SEMI PANTÓGRAFO 220kV	113
6.2.7	SECCIONADORES DOBLE APERTURA 220kV.....	118
6.2.8	CAPACITOR SHUNT 220kV	121
6.2.9	TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 500kV	124
6.2.10	INTERRUPTOR 500kV	128
6.2.11	SECCIONADORES DOBLE APERTURA 500kV.....	136
6.2.12	PARARRAYOS 444kV	137
6.2.13	REACTOR DE NEUTRO 115kV.....	137
6.2.14	PARARRAYOS 120kV	141
VII.	UBICACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL MARCO DEL SUSTENTO	
TEÓRICO.....	142	
7.1	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS	142
7.1.1	TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 220kV	142
7.1.2	PARARRAYOS 198kV	148
7.1.3	INTERRUPTORES DE POTENCIA 220kV.....	151
7.1.4	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 220kV.....	159
7.1.5	REACTOR LIMITADOR DE CORRIENTE 220kV.....	171
7.1.6	SECCIONADORES SEMI PANTÓGRAFO 220kV	172
7.1.7	SECCIONADORES DOBLE APERTURA 220kV.....	175
7.1.8	CAPACITOR SHUNT 220kV	180
7.1.9	TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 500kV	181

7.1.10 INTERRUPTOR 500kV	184
7.1.11 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 500kV.....	186
7.1.12 PARARRAYOS 444kV	188
7.1.13 REACTOR DE NEUTRO 115kV.....	189
7.1.14 PARARRAYOS 120kV	190
7.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	191
7.2.1 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 220kV	191
7.2.2 PARARRAYOS 198kV	192
7.2.3 INTERRUPTORES DE POTENCIA 220kV.....	193
7.2.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 220kV.....	194
7.2.5 REACTOR LIMITADOR DE CORRIENTE 220kV.....	196
7.2.6 SECCIONADORES SEMI PANTÓGRAFO 220kV	196
7.2.7 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 220kV.....	197
7.2.8 CAPACITOR SHUNT 220kV	198
7.2.9 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 500kV	198
7.2.10 INTERRUPTOR 500kV	200
7.2.11 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 500kV.....	201
7.2.12 PARARRAYOS 444kV	202
7.2.13 REACTOR DE NEUTRO 115kV.....	202
7.2.14 PARARRAYOS 120kV	203
VIII. APORTES LOGRADOS PARA EL DESARROLLO DEL CENTRO LABORAL	204
IX. APORTES PARA LA FORMACIÓN PROFESIONAL	205
X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	206
10.1 CONCLUSIONES.....	206
10.2 RECOMENDACIONES.....	209
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	210
XII. ANEXOS.....	212
12.1 DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220kV	212
12.2 PLANO DE DISPOSICIÓN FÍSICA SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220kV	212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Tipos de Subestación según su uso.....	21
Figura N° 02: Subestación AIS.....	21
Figura N° 03: Subestación GIS.....	22
Figura N° 04: Subestación Híbrida.....	23
Figura N° 05: Interruptor de Tanque Muerto.....	24
Figura N° 06: Interruptor de Tanque Vivo.....	30
Figura N° 07: Resistencia de Pre-inserción.....	33
Figura N° 08: Seccionador de Apertura Central.....	33
Figura N° 09: Seccionador de Apertura Central.....	34
Figura N° 10: Seccionador de Apertura Vertical.....	35
Figura N° 11: Seccionador Pantógrafo.....	35
Figura N° 12: Seccionador Semi-Pantógrafo Vertical.....	35
Figura N° 13: Seccionador Semi-Pantógrafo Horizontal.....	35
Figura N° 14: Transformador de Tensión Inductivo.....	37
Figura N° 15: Transformador de Tensión Capacitivo.....	38
Figura N° 16: Pararrayos.....	49
Figura N° 17: Vista de Planta de la S.E. Colcabamba se aprecian los patios de 500kV (Lado izquierdo) y el patio de 220kV (lado derecho).....	50
Figura N° 18: Vista de Planta de las bahías Cerro del Águila 220kV.....	50
Figura N° 19: Configuración Interruptor y Medio.....	52
Figura N° 20: Configuración Doble barra más seccionador de Transferencia.....	53
Figura N° 21: Conexión típica para prueba de resistencia de aislamiento.....	68
Figura N° 22: Representación del modelo paralelo del aislamiento.....	69
Figura N° 23: Prueba de Factor de potencia modo UST.....	72
Figura N° 24: Prueba de factor de potencia modo GST.....	72
Figura N° 25: Prueba de factor de potencia modo GST-guarda.....	73
Figura N° 26: Conexión típica para prueba de resistencia de aislamiento.....	76
Figura N° 27: Curva de Magnetización.....	79
Figura N° 28: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpos superior e inferior en TT 220kV.....	87
Figura N° 29: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_n o Total en TT 220kV.....	87

Figura N° 30: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_1 en TT 220kV	88
Figura N° 31: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_2 en TT 220kV	88
Figura N° 32: Conexión para medición de relación de transformación y verificación de polaridad en transformadores de tensión.	90
<i>Figura N° 33: Conexión para medición de resistencia de aislamiento.</i>	<i>91</i>
Figura N° 34: Conexión para medición de tangente delta y pérdidas en cuerpos superior e inferior.....	94
Figura N° 35: Conexión para medición de tangente delta y pérdidas Total.....	94
<i>Figura N° 36: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en pararrayos 198kV</i>	<i>96</i>
<i>Figura N° 37: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en Interruptor 220kV</i>	<i>98</i>
<i>Figura N° 38: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en Interruptor 220kV</i>	<i>99</i>
<i>Figura N° 39: Conexión para medición de resistencia de contactos en Interruptor 220kV</i>	<i>100</i>
<i>Figura N° 40: Conexión para mediciones en Interruptor 220kV</i>	<i>102</i>
Figura N° 41: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en transformadores de corriente 220kV	104
Figura N° 42: Conexión para medición de relación de transformación y verificación de polaridad en transformadores de corriente	106
Figura N° 43: Conexión para medición de curva de saturación en transformadores de corriente.....	107
Figura N° 44: Conexión para medición de resistencia de devanados en transformadores de corriente.	108
Figura N° 45: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente 220kV	110
Figura N° 46: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en reactor limitador de corriente 220Kv	111
Figura N° 47: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en seccionador semi pantógrafo 220kV.....	113
Figura N° 48: Conexión para medición de resistencia de contacto en seccionador semi pantógrafo 220kV	114
Figura N° 49: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en seccionador doble apertura 220kV	118

Figura N° 50: Conexión para medición de resistencia de contacto en seccionador doble apertura 220kV	119
Figura N° 51: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpos superior e inferior de capacitor Shunt 220kV	121
Figura N° 52: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_n o total de capacitor Shunt 220kV	121
Figura N° 53: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en capacitor Shunt 220Kv.....	123
Figura N° 54: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpo superior de transformador de tensión 500kV	124
Figura N° 55: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpo medio e inferior de transformador de tensión 500kV	125
Figura N° 56: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_n o total de transformador de tensión 500kV	125
Figura N° 57: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_1 de transformador de tensión 500kV	126
Figura N° 58: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_2 de transformador de tensión 500kV	126
<i>Figura N° 59: Conexión para medición de resistencia de aislamiento de cámara 1 en Interruptor 500kV.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura N° 60: Conexión para medición de resistencia de aislamiento de cámara 2 en Interruptor 500kV.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura N° 61: Conexión para medición de resistencia de aislamiento de aislador soporte en Interruptor 500kV</i>	<i>129</i>
<i>Figura N° 62: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia de cámara 1 en Interruptor 500kV</i>	<i>131</i>
<i>Figura N° 63: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia de cámara 2 en Interruptor 500kV</i>	<i>131</i>
<i>Figura N° 64: Conexión para medición de tangente delta y capacitancia de aislador soporte en Interruptor 500kV</i>	<i>132</i>
<i>Figura N° 65: Conexión para medición de resistencia de contactos en Interruptor 500kV</i>	<i>133</i>
<i>Figura N° 66: Conexión para mediciones en Interruptor 500kV</i>	<i>134</i>
<i>Figura N° 67: Conexión para mediciones en Interruptor 500kV</i>	<i>137</i>
<i>Figura N° 68: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en transformador de corriente del reactor del neutro.....</i>	<i>139</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites de error en transformadores de tensión para medición	42
Tabla 2: Límites de error en transformadores de tensión para protección.....	43
Tabla 3: Límites de error para transformadores de corriente para medida y protección	46
Tabla 4: Límites de error para transformadores de corriente para protección.....	48
Tabla 5: Tabla para corrección de resistencia de aislamiento	68
Tabla 6: Comparación entre el valor de factor de potencia y el factor de disipación ...	71
Tabla 7: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en transformadores de tensión 220kV.....	89
Tabla 8: Valores mínimos de resistencia de aislamiento en transformadores recomendados por la norma NETA.....	93
Tabla 9: Procedimiento para medición de tangente delta y pérdidas en pararrayos 198kV	95
Tabla 10: Valores mínimos de resistencia de aislamiento en equipos eléctricos recomendados por la norma NETA.....	97
Tabla 11: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en Interruptor 220kV	99
Tabla 12: Conexión para medición de tangente delta en Interruptor 220kV	100
Tabla 13: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en Transformadores de corriente 220kV.....	105
Tabla 14: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en Capacitor Shunt 220kV	122
Tabla 15: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en transformador de tensión 500kV	127
Tabla 16: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en Interruptor 500kV	130
Tabla 17: Conexión para medición de tangente delta en Interruptor 500kV	133
Tabla 18: Distribución de Transformadores de Tensión 220kV en la S.E Colcabamba	142
Tabla 19: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2555	143
Tabla 20: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2556	143
Tabla 21: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2557	143
Tabla 22: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2558	144
Tabla 23: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2575	144
Tabla 24: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2576	145

Tabla 25: Valores de relación de transformación TT-2555.....	145
Tabla 26: Valores de relación de transformación TT-2556.....	145
Tabla 27: Valores de relación de transformación TT-2557.....	146
Tabla 28: Valores de relación de transformación TT-2558.....	146
Tabla 29: Valores de relación de transformación TT-2575.....	146
Tabla 30: Valores de relación de transformación TT-2576.....	146
Tabla 31: Valores de resistencia de aislamiento TT-2555.....	147
Tabla 32: Valores de resistencia de aislamiento TT-2556 y TT 2557.....	147
Tabla 33: Valores de resistencia de aislamiento TT-2558.....	147
Tabla 34: Valores de resistencia de aislamiento TT-2575.....	148
Tabla 35: Valores de resistencia de aislamiento TT-2576.....	148
Tabla 36: Distribucion de Pararrayos 198kV en la S.E Colcabamba.....	149
Tabla 37: Valores de capacitancia y perdidas PR-2511.....	149
Tabla 38: Valores de capacitancia y perdidas PR-2522.....	149
Tabla 39: Valores de capacitancia y perdidas PR-2523.....	150
Tabla 40: Valores de resistencia de aislamiento PR-2511.....	150
Tabla 41: Valores de resistencia de aislamiento PR-2522.....	150
Tabla 42: Valores de resistencia de aislamiento PR-2523.....	151
Tabla 43: Distribucion de Interruptores 220kV en la S.E Colcabamba.....	151
Tabla 44: Valores de resistencia de aislamiento IN-2816.....	152
Tabla 45: Valores de resistencia de aislamiento IN-2818.....	152
Tabla 46: Valores de resistencia de aislamiento IN-2820.....	152
Tabla 47: Valores de resistencia de aislamiento IN-2852.....	152
Tabla 48: Valores de resistencia de aislamiento IN-2854.....	152
Tabla 49: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2816.....	153
Tabla 50: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2818.....	153
Tabla 51: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2820.....	153
Tabla 52: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2852.....	154
Tabla 53: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2854.....	154
Tabla 54: Valores de resistencia de contactos IN-2816.....	154
Tabla 55: Valores de resistencia de contactos IN-2818.....	155
Tabla 56: Valores de resistencia de contactos IN-2820.....	155
Tabla 57: Valores de resistencia de contactos IN-2852.....	155

Tabla 58: Valores de resistencia de contactos IN-2854	155
Tabla 59: Valores de tiempos de operación IN-2816.....	155
Tabla 60: Valores de tiempos de operación IN-2818.....	156
Tabla 61: Valores de tiempos de operación IN-2820.....	156
Tabla 62: Valores de tiempos de operación IN-2852.....	156
Tabla 63: Valores de tiempos de operación IN-2854.....	157
Tabla 64: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2816 ..	157
Tabla 65: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2818 ..	157
Tabla 66: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2820 ..	158
Tabla 67: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2852 ..	158
Tabla 68: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2854 ..	158
Tabla 69: Distribucion de Transformadores de corriente 220kV en la S.E Colcabamba	159
Tabla 70: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2637.....	160
Tabla 71: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2638.....	160
Tabla 72: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2639.....	160
Tabla 73: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2658.....	161
Tabla 74: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2659.....	161
Tabla 75: Valores de relación de transformación TC-2637	161
Tabla 76: Valores de relación de transformación TC-2638	162
Tabla 77: Valores de relación de transformación TC-2639	163
Tabla 78: Valores de relación de transformación TC-2658	164
Tabla 79: Valores de relación de transformación TC-2659	165
Tabla 80: Puntos de saturación en TC-2637.....	165
Tabla 81: Puntos de saturación en TC-2638.....	166
Tabla 82: Puntos de saturación en TC-2639.....	166
Tabla 83: Puntos de saturación en TC-2658.....	166
Tabla 84: Puntos de saturación en TC-2659.....	167
Tabla 85: Valores de resistencia de devanados TC-2637	167
Tabla 86: Valores de resistencia de devanados TC-2638	168
Tabla 87: Valores de resistencia de devanados TC-2639	168
Tabla 88: Valores de resistencia de devanados TC-2658	168
Tabla 89: Valores de resistencia de devanados TC-2659	169

Tabla 90: Valores de resistencia de aislamiento TC-2637.....	169
Tabla 91: Valores de resistencia de aislamiento TC-2638.....	169
Tabla 92: Valores de resistencia de aislamiento TC-2639.....	170
Tabla 93: Valores de resistencia de aislamiento TC-2658.....	170
Tabla 94: Valores de resistencia de aislamiento TC-2659.....	171
Tabla 95: Distribucion de Reactor limitador de corriente 220kV en la S.E Colcabamba	171
Tabla 96: Valores de resistencia de aislamiento R-28	171
Tabla 97: Distribucion de seccionadores semi pantógrafos 220kV en la S.E Colcabamba	172
Tabla 98: Valores de resistencia de aislamiento Seccionadores Semi Pantógrafo 220kV	172
Tabla 99: Valores de resistencia de contactos Seccionadores semi pantógrafo 220kV	173
Tabla 100: Valores de tiempos de operación seccionadores semi pantógrafos 220kV	174
Tabla 101: Valores de corriente de motor seccionadores semi pantógrafos 220kV...	174
Tabla 102: Distribucion de seccionadores doble apertura 220kV en la S.E Colcabamba	175
Tabla 103: Valores de resistencia de aislamiento Seccionadores Doble Apertura 220kV	176
Tabla 104: Valores de resistencia de contactos Seccionadores Doble Apertura.....	177
Tabla 105: Valores de tiempos de operación seccionadores doble apertura	178
Tabla 106: Valores de corriente de motor seccionadores doble apertura.....	179
Tabla 107: Distribucion de Transformadores de Tensión 220kV en la S.E Colcabamba	180
Tabla 108: Valores de factor de disipación y capacitancia Capacitores Shunt	180
Tabla 109: Valores de resistencia de aislamiento Capacitores Shunt	181
Tabla 110: Distribucion de Transformadores de Tensión 220kV en la S.E Colcabamba	181
Tabla 111: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-5032.....	182
Tabla 112: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-5035.....	182
Tabla 113: Valores de relación de transformación TT-5032.....	183
Tabla 114: Valores de relación de transformación TT-5035.....	183
Tabla 115: Valores de resistencia de aislamiento TT-5032.....	183

Tabla 116: Valores de resistencia de aislamiento TT-5035.....	184
Tabla 117: Distribucion de Interruptores 500kV en la S.E Colcabamba.....	184
Tabla 118: Valores de resistencia de contactos IN-5100.....	184
Tabla 119: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-5100.....	185
Tabla 120: Valores de tiempos de operación IN-2816	185
Tabla 121: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-5100	186
Tabla 122: Valores de resistencia de aislamiento IN-5100.....	186
Tabla 123: Distribucion de seccionadores doble apertura 500kV en la S.E Colcabamba	186
Tabla 124: Valores de resistencia de aislamiento SE-5223	187
Tabla 125: Valores de resistencia de contactos SE-5223	187
Tabla 126: Valores de tiempos de operación SE-5223	187
Tabla 127: Valores de corriente de motor seccionadores semi pantógrafos 220kV...	187
Tabla 128: Distribucion de Pararrayos 444kV en la S.E Colcabamba.....	188
Tabla 129: Valores de resistencia de aislamiento PR-5028	188
Tabla 130: Valores de resistencia de aislamiento PR-5031	188
Tabla 131: Valores de resistencia de aislamiento PR-5032	189
Tabla 132: Distribucion de reactor del neutro en la S.E Colcabamba.....	189
Tabla 133: Valores de resistencia de aislamiento RN-6.....	189
Tabla 134: Valores de resistencia de aislamiento CT Toroidal.....	189
Tabla 135: Valores de resistencia de devanados CT Toroidal.....	190
Tabla 136: Valores de relación de transformación CT Toroidal.....	190
Tabla 137: Puntos de saturación en CT Toroidal	190
Tabla 138: Distribucion de Pararrayos 444kV en la S.E Colcabamba.....	190
Tabla 139: Valores de resistencia de aislamiento PR-5033	191

RESUMEN

En el presente informe se detalla la metodología empleada y resultados obtenidos en el desarrollo de la ejecución de las pruebas SAT (Site Acceptation Test) para la puesta en servicio de los equipos de Alta y Extra Alta Tensión instalados en la Subestación Colcabamba 500/220 kV

La Subestación Colcabamba 500/220kV tiene un patio en 500kV con configuración “Interruptor y Medio” y un patio en 220kV con configuración “Doble Barra más Seccionador de Transferencia”, se identificaron las celdas o bahías y los equipos que conforman estos patios

Dentro del contenido del presente informe se presentan los tipos de pruebas realizados a los equipos de Alta y Extra alta Tensión (220kV y 500kV), sus respectivos procedimientos de ejecución donde se especifica: cantidad de pruebas, tipos de conexión, valores de entrada, variables a medir y criterios de aceptación

En las pruebas realizadas a los equipos se obtuvieron valores de resistencias de aislamiento mayores a $192 \text{ G}\Omega$, valores de factor de potencia menores a 0.5%, error de relación de transformación para transformadores de corriente y tensión fueron menores a los máximos permitidos y la desviación de las resistencias de contactos en seccionadores e interruptores menores al 20% de los valores obtenidos en fabrica

ABSTRACT

This report details the methodology used and results obtained in the development of the SAT tests (Site Acceptation Test) for the commissioning of the High and Extra High Voltage equipment installed in the Colcabamba 500/220 kV Substation

The Colcabamba 500 / 220kV Substation has a 500kV patio with a "Switch and a Half" configuration and a 220kV patio with a "Double Bar plus Transfer Disconnecter" configuration, the cells or bays and the equipment that make up these patios were identified.

Within the content of this report, the types of tests performed on the High and Extra High Voltage equipment (220kV and 500kV) are presented, their respective execution procedures where it is specified: number of tests, connection types, input values, variables to measure and acceptance criteria

In the tests carried out on the equipment, insulation resistance values greater than 192 GΩ were obtained, power factor values less than 0.5%, transformation ratio error for current and voltage transformers were less than the maximum allowed and the deviation of contact resistances in disconnectors and switches less than 20% of the values obtained at the factory

PRESENTACIÓN

El presente informe por suficiencia profesional detalla mi experiencia en la ejecución de Pruebas Eléctricas SAT a Equipos de Alta y Extra Alta Tensión, dentro de mis actividades realizadas como Ingeniero de Servicios y Coordinador de Proyectos en la empresa TECNELECING SAC

TECNELECING SAC. es una empresa que nació con el objetivo de entregar Servicios de Ingeniería y Construcciones en el área Mecánica-Eléctrica.; dedicada a la ejecución de Proyectos electromecánicos en Subestaciones Eléctricas y Centrales de generación Eléctrica,

TECNELECING SAC. fue adjudicado para realizar el montaje electromecánico y pruebas de los equipos primarios en la subestación Colcabamba 500/220kV

En el presente informe se detallarán los procedimientos generales aplicados en la ejecución de las pruebas eléctrica; así como, los resultados obtenidos y conclusiones al realizar las pruebas SAT de los Equipos de Alta y Extra Alta Tensión

Espero que este informe sirva como una guía práctica para que los estudiantes de pre grado y futuros profesionales puedan complementar su formación académica y utilizar durante su desarrollo laboral.

I. TEMA ESPECIFICO ABORDADO

El Tema Abordado es: Pruebas Eléctricas en campo (SAT) realizadas a los equipos de Alta y Extra Alta Tensión en la Subestación Colcabamba 500/220kV

II. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

La experiencia profesional corresponde a mis actividades realizadas entre los meses de octubre 2016 y marzo 2017 en la Subestación Colcabamba 500/220kV; durante el montaje electromecánico y pruebas eléctricas de equipos de patio del Grupo 1, del Proyecto: “Construcción de la L.T. 500kV Mantaro-Marcona-Socabaya-Montalvo (MAMO)” perteneciente a la concesión de Consorcio Transmantaro (CTM) del grupo ISA

III. IMPORTANCIA PARA EL EJERCICIO DE LA CARRERA PROFESIONAL

- Nuestra carrera forma profesionales para trabajar en generación, transmisión y distribución de energía, entre ellas la energía eléctrica; que es materia principal de este informe, ya que abarca directamente las pruebas eléctricas de campo a equipos de alta y extra alta tensión en una subestación eléctrica a nivel de tensión 500kV y 220kV.
- Esta experiencia es importante para ampliar los conocimientos tanto en la teoría como en la práctica; en la teoría para ganar y ampliar conocimientos en cuanto a las pruebas eléctricas propiamente dicho, normativa internacional respecto a los criterios de aceptación para pruebas en campo (SAT) de los equipos de alta y extra alta tensión, generación y presentación de protocolos de pruebas; en la práctica es el trabajo realizado en campo de ejecución de las pruebas capacitando y dirigiendo al personal técnico en la realización de conexiones y cambios necesarios para la ejecución de las actividades.
- Este informe servirá para que estudiantes de pre-grado y futuros profesionales de la carrera que trabajen o planeen en un futuro trabajar en el área de transmisión y distribución de energía eléctrica puedan complementar su formación académica y usen como guía práctica para el manejo de equipos de pruebas eléctricas, variables a tener en cuenta durante el desarrollo de la actividad, conocimiento de normas internacionales y puedan interpretar los resultados obtenidos.

IV. OBJETIVOS PLANTEADOS Y LOGRADOS

- Identificar las características de la subestación Colcabamba 500/220kV (Configuración del patio de 500kV y del patio de 220kV, celdas y bahías que conforman estos patios, equipos y características principales de estos equipos)
- Describir teóricamente los diferentes tipos de pruebas eléctricas realizadas a los equipos de patio de alta y extra alta tensión
- Identificar los equipos de patio a los que se les realizará las pruebas eléctricas tanto en 500kV como en 220kV, su ubicación dentro de la subestación, nomenclatura operativa (TAG) y número de serie.
- Recopilar los datos obtenidos durante el proceso de pruebas eléctricas a los equipos de patio de la subestación Colcabamba 500/220kV.
- Realizar la comparación y análisis de acuerdo al criterio de aceptación establecido e indicar si estas están conforme a estos criterios y la normativa establecida

V. SUSTENTO TEÓRICO DEL TEMA ABORDADO

5.1 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

5.1.1 INTRODUCCIÓN

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados requisitos de calidad, Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección.

Básicamente una subestación consiste en un número de circuitos de entrada y salida, conectados a un punto común, barraje de la subestación, siendo el interruptor el principal componente de un circuito y complementándose con los transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos, en lo correspondiente a equipo de alta tensión, y con sistemas secundarios como son los de control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares. (Mejía, 2003, p.1)

Las subestaciones según su **uso** pueden ser:

Subestación de generación:

Asociadas a centrales generadoras y dirigen directamente el flujo de potencia al sistema

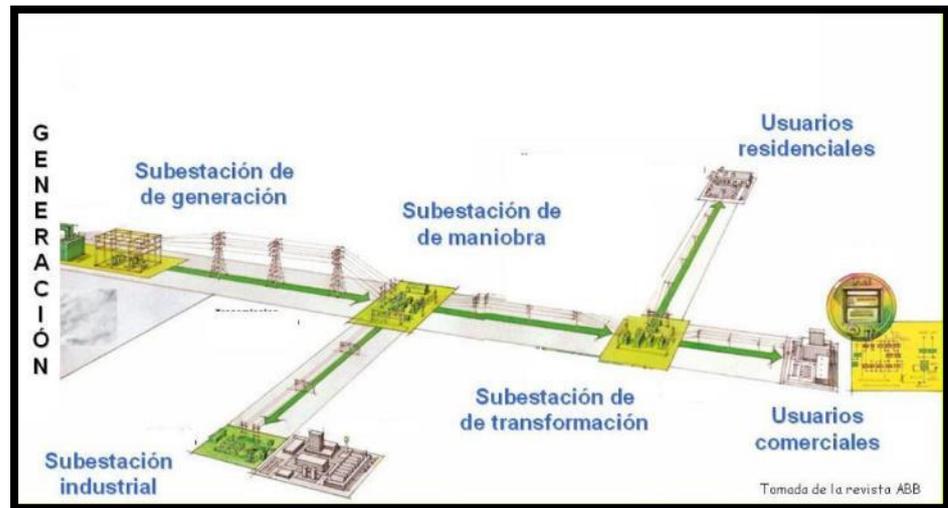
Subestación de transformación:

Con transformadores elevadores o reductores

Subestación de maniobra: Conectan varios circuitos (o líneas) para orientar o distribuir el flujo de potencia a diferentes áreas del sistema.

Figura N° 01:

Tipos de Subestación según su uso



Fuente: "Subestaciones", J. Jaramillo, p.5

Las subestaciones según su **medio aislante** pueden ser:

Convencionales o aisladas al aire - AIS: Son las subestaciones convencionales, con los equipos a la intemperie

Figura N° 02:

Subestación AIS



Fuente: Propia, tomada en la Subestación Reque 220kV, propiedad de ISA REP

Encapsuladas o aisladas en SF₆ – GIS. Subestación que contiene los mismos elementos de una subestación convencional (interruptores, seccionadores, transformadores de tensión, transformadores de corriente, pararrayos) colocados dentro de un recubrimiento metálico (aluminio o acero) aterrizado, conteniendo gas SF₆ como medio aislante a una presión entre 3 y 5 atmósferas. A su vez éstas pueden ser de ejecución interior o exterior.

Figura N° 03:
Subestación GIS



Fuente: Propia, tomada en la subestación GIS Industriales, propiedad de Luz del Sur

Híbridas en aire – SF₆

Se trata de módulos híbridos con aislamiento en Hexafluoruro de azufre (SF₆). Vienen provistos de aisladores para tapas SF₆-aire para la conexión a barras convencionales y a línea o transformador conteniendo las funciones de seccionador de barras con Pat, interruptor, transformador de intensidad y seccionador de salida con Pat.

Figura N° 04:
Subestación Híbrida



Fuente: Propia, tomada a la subestación Carpapata I, propiedad de UNACEM

5.2 PRINCIPALES EQUIPOS DE PATIO

A continuación, se presentan los principales equipos de patio presentes en una subestación eléctrica de Potencia, definiciones de estos y sus funciones

5.2.1 INTERRUPTORES DE POTENCIA

Los interruptores automáticos son dispositivos mecánicos de interrupción capaces de conducir, interrumpir y establecer corrientes en condiciones normales, así como de conducir durante un tiempo especificado, interrumpir y establecer corrientes en condiciones anormales, como son las de cortocircuito. Su función básica es conectar o desconectar de un sistema o circuito energizado líneas de transmisión, transformadores, reactores o barraje. (Mejía, 2003, p.236)

5.2.1.1 Tipos Principales

Los interruptores se pueden agrupar con base en diferentes criterios como son: el nivel de tensión, el sitio de instalación y las características

de diseño externo. Sin embargo, los criterios de clasificación más importantes son el medio y el mecanismo de operación para la interrupción de la corriente. (Mejía, 2003, p.238)

5.2.1.1.1 Según el tipo de Instalación

Pueden ser utilizados en instalaciones interiores o exteriores. La única diferencia entre ambos es la estructura exterior o los compartimientos que los contienen. La parte interna activa, las cámaras de extinción y los mecanismos de operación, en muchos casos, son los mismos. (Mejía, 2003, p.238)

5.2.1.1.2 Según el diseño externo

a) Interruptores de Tanque Muerto,

Consiste en un tanque a potencial de tierra (compartimiento aterrizado) que contiene el medio de interrupción y a través de cuya tapa pasan aisladores o bujes de porcelana para conectarse al circuito de alta tensión. (Mejía, 2003, p.238)

Figura N° 05:

Interruptor de Tanque Muerto



Fuente: "Interruptores Tanque Muerto", ABB, p.11

b) Interruptores de Tanque Vivo

El dispositivo de interrupción está en tanques de diámetro pequeño denominados polos, los cuales se ubican sobre soportes aislantes; los polos se conectan directamente al circuito de alta tensión, por lo tanto, están a un potencial superior al de tierra (comportamiento sin aterrizar). (Mejía, 2003, p.238)

Figura N° 06:

Interruptor de Tanque Vivo



Fuente: "Interruptores de Alta Tensión", ABB, p.5

5.2.1.1.3 Según el Medio de Interrupción

a) Interruptores de Aceite

Al presentarse un arco eléctrico, el aceite en contacto se vaporiza rápidamente formando una burbuja de gas compuesta en su mayor parte por hidrogeno, el cual es un excelente medio de extinción y refrigerante, debido a su baja constante de tiempo de desionización creándose condiciones favorables para la extinción del arco. Adicionalmente esta gasificación crea una turbulencia en el aceite que contribuye a desionizar el medio. (Mejía, 2003, p.240)

Estos interruptores ya no son utilizados debido a la aparición de los interruptores de SF₆.

b) Interruptores de Aire Comprimido

El interruptor de aire hasta la aparición del interruptor de SF₆ fue el que operó más satisfactoriamente a altas tensiones; de hecho, en una época fue el único interruptor apropiado para operar tensiones mayores de 345 kV. Con el desarrollo de este interruptor se eliminó el riesgo de explosión de los interruptores de aceite.

Las desventajas que presentan los interruptores de aire, básicamente son el alto costo de las instalaciones neumáticas y el mantenimiento frecuente que requieren debido al gran número de válvulas y equipos de compresión, además, del fuerte ruido que se produce en la operación del equipo debido a las altas presiones a las que se encuentra sometido el aire. (Mejía, 2003, p.241)

También dejaron de ser utilizados con la aparición de los interruptores en SF₆.

c) Interruptores de Hexafluoruro de Azufre

Las propiedades químicas del SF₆ lo hacen un medio excelente de aislamiento y enfriamiento del arco eléctrico. En su relativa corta existencia ya dominan el mercado de los interruptores de alta tensión y en ese proceso han hecho obsoletas las tecnologías del aceite y del aire comprimido. (Mejía, 2003, p.242)

Los interruptores de SF₆ se fabrican tanto del tipo de tanque vivo como de tanque muerto.

5.2.1.1.4 Según el Mecanismo de Operación

El mecanismo de operación es el dispositivo que, por medio de energía almacenada, acciona el interruptor ya sea para abrirlo o cerrarlo. La energía que almacena el mecanismo de operación debe ser suficiente para efectuar las secuencias de operación requeridas por el sistema. Cabe anotar que el 90% de las fallas de los interruptores son atribuibles a fallas mecánicas originadas en el mecanismo de operación. (Mejía, 2003, p.242)

Básicamente los tres tipos de mecanismos de operación o de almacenamiento de energía son: resortes, neumáticos e hidráulico y, en menor escala, el propio gas SF₆.

a) Resortes

En estos mecanismos la energía se almacena cargando resortes, tanto para la apertura como para el cierre del interruptor. Su principal ventaja es que al efectuarse la operación de cierre del interruptor se carga el resorte de apertura, asegurándose así siempre el disparo del interruptor.

El resorte de cierre es recargado mediante un motor; también es posible recargar manualmente el resorte de cierre en caso de indisponibilidad del motor por medio de una volante que se suministra con el equipo.

Para interruptores de 245 kV se utiliza básicamente el mecanismo de resorte debido a que es mucho más económico y requiere un menor mantenimiento con respecto a los demás mecanismos de operación. (Mejía, 2003, p.242)

b) Neumático

En este mecanismo la energía se almacena en forma de aire comprimido. Se usa, lógicamente, en interruptores de aire comprimido con el objeto de aprovechar el aire presurizado utilizado para la extinción del arco; sin embargo, no se limita a estos interruptores, éste se utiliza también para operar interruptores de aceite y de SF₆.

La presión del aire se mantiene constante por medio de un motor-compresor existiendo diferentes alarmas de acuerdo con los niveles de presión. (Mejía, 2003, p.242)

c) Hidráulico

Este tipo de mecanismo es similar al neumático, pero, como su nombre lo indica, opera con base en la presión de aceite. Se utiliza cuando se requieren tiempos de operación muy cortos debido a su rápida reacción. (Mejía, 2003, p.243)

d) Hexafluoruro de Azufre (SF₆)

El interruptor utiliza su propio gas aislante SF₆ bajo presión como acumulador de energía para la maniobra. (Mejía, 2003, p.243)

5.2.1.2 Accesorios

5.2.1.2.1 Dispositivos para Igualar Tensiones

Una mejor distribución de tensiones entre los contactos en serie en las cámaras de extinción se obtiene mediante el uso de condensadores en paralelo con los contactos, cuyo uso puede garantizar desviaciones máximas de 4% o 5% de la tensión

idealmente aplicada a cada cámara después de la apertura de una falla a tierra. La introducción en el circuito de resistencias de apertura y cierre en paralelo con los contactos principales también contribuye a igualar las tensiones aplicada a las cámaras durante el breve periodo de inserción de estos elementos. Sin embargo, la adición de resistencias de apertura y cierre a los interruptores no se hace en general con el fin de igualar tensiones aplicadas a las cámaras, sino de atenuar el esfuerzo total aplicado al interruptor o al sistema por las sobretensiones de maniobra. (Mejía, 2003, p.243)

5.2.1.2.2 Resistencias de Cierre y Apertura (Resistencias pre-inserción)

Se instalan en paralelo con las cámaras de los interruptores (una resistencia para cada cámara) siendo utilizadas en determinados casos especiales por escogencia del fabricante y del usuario. Los interruptores suministrados por ciertos fabricantes, pueden estar provistos de resistencias de cierre o apertura, independientemente, mientras que otros utilizan la misma resistencia para ambas funciones. (Mejía, 2003, p.243)

Las resistencias se usan para las siguientes funciones:

- Para igualar tensiones entre cámaras.
- Para reducir sobretensiones durante la apertura de pequeñas corrientes inductivas.
- Para reducción de la tasa de crecimiento y del valor pico de la TTR (tensión transitoria de restablecimiento) en fallas terminales y kilométricas. Cuando la envolvente de la TTR

especificada excede lo que soporta el interruptor, el fabricante puede escoger entre las alternativas de aumentar el número de cámaras o utilizar resistencias de apertura.

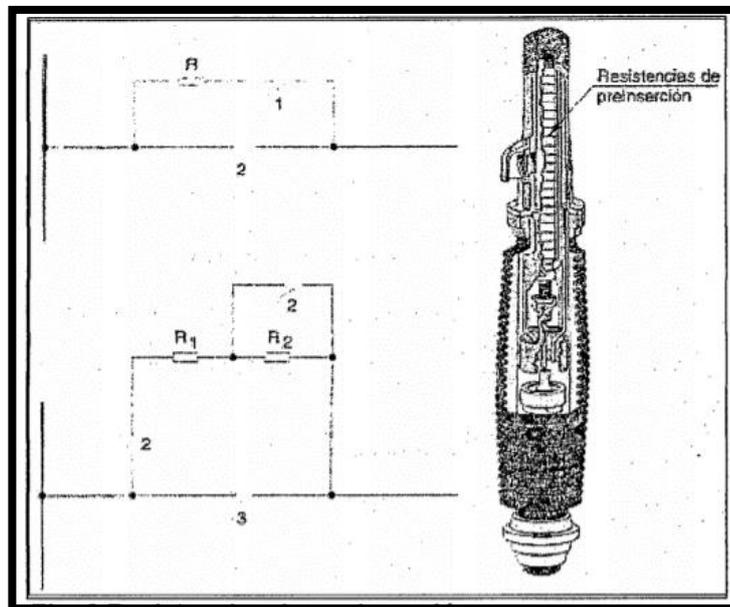
- Para reducción de la tensión de restablecimiento en la apertura de corrientes capacitivas.
- Resistencias de cierre para maniobra de bancos de capacitares
- Resistencias de cierre para maniobra de líneas de transmisión largas. Pueden presentarse sobretensiones elevadas en el extremo abierto y para reducirlas se utilizan resistencias de cierre con valor próximo a la impedancia característica de la línea.
- Otras aplicaciones. Pueden necesitarse resistencias de cierre para control de las sobretensiones sostenidas causadas por las corrientes de inrush que se originan en la maniobra de transformadores o autotransformadores en sistemas especiales.

Los fenómenos descritos anteriormente no afectan mucho los sistemas con nivel de tensión hasta 400 kV. Por esta razón, el uso de resistencias de apertura y cierre es común sólo para interruptores de sistemas mayores a 500 kV.

Las resistencias se denominan de pre inserción dado que en la práctica es necesario conectar y desconectar la resistencia antes y después de la operación del interruptor debido a las pérdidas que se producirían por el efecto Joule si permanecieran conectadas al

circuito circulando por ellas la corriente de carga. Si el interruptor de potencia va a cerrar para energizar una línea, la resistencia se conecta al circuito, y después de que el interruptor cierra se cortocircuita. En la siguiente imagen se muestra la ubicación de las resistencias de pre inserción en la cámara del interruptor. (Mejía, 2003, p.244)

Figura N° 07:
Resistencia de Pre-inserción



Fuente: *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*, (p.245), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

5.2.2 SECCIONADORES

En la selección y adecuada utilización de los seccionadores en sistemas de alta tensión deben observarse las características del sistema en el cual serán aplicados y la función que deben desempeñar.

Entre las características del sistema están:

De naturaleza térmica y eléctrica: capacidad de conducción de corrientes de carga y de cortocircuito, resistencia a los esfuerzos dieléctricos, etc.

De naturaleza mecánica: esfuerzos debido a corrientes de cortocircuito, vientos, etc.; además del tipo de instalación que tendrá el seccionador, si es para uso interior o exterior.

Los seccionadores pueden desempeñar diversas funciones en las redes eléctricas, siendo la más común la de seccionamiento de circuitos por necesidades de operación o por necesidad de aislar componentes del sistema (equipos o líneas) para realizar su mantenimiento. (Mejía, 2003, p.256)

Cabe anotar que la correcta selección de los seccionadores está ligada a la selección de la disposición física de la subestación

5.2.2.1 Tipos Principales

Los seccionadores pueden ser clasificados de la siguiente manera:

5.2.2.1.1 Según la función que desempeña en un sistema eléctrico de potencia

a) Seccionadores de Maniobra

Hacer bypass o paso directo a equipos como interruptores y capacitores en serie para la ejecución de mantenimiento o por necesidades operativas.

Aislar equipos como interruptores, capacitores, barrajes, transformadores o reactores, generadores o líneas para la ejecución de mantenimiento.

Maniobrar circuitos, es decir, realizar transferencia de circuitos entre los barrajes de una subestación.

Los seccionadores solamente pueden operar cuando hay una variación de tensión insignificante entre sus terminales o en los

casos de restablecimiento (cierre) o interrupción de corrientes insignificantes. (Mejía, 2003, p.257)

b) Seccionadores de Tierra

Poner a tierra componentes del sistema en mantenimiento: líneas de transmisión, barrajes, bancos de transformadores o bancos de condensadores y reactores en derivación. (Mejía, 2003, p.257)

c) Seccionadores de Operación en Carga

Abrir y/o cerrar circuitos en carga: reactores, capacitares o generadores.

d) Seccionadores de Puesta a Tierra Rápida

Poner a tierra componentes energizados del sistema, en el caso de fallas en reactores no maniobrables asociados a líneas de transmisión, o en el caso de líneas terminadas en transformador sin interruptor en el terminal de línea del transformador y para protección de generadores contra sobretensiones y autoexcitación. Estos desconectores necesitan tiempos de operación extremadamente rápidos. (Mejía, 2003, p.257)

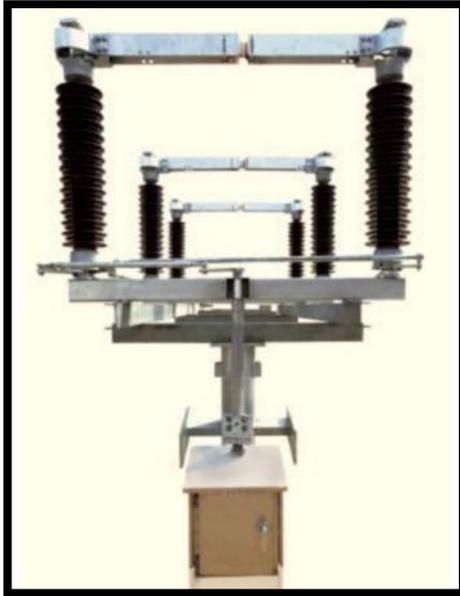
5.2.2.1.2 Según Tipos Constructivos

a) Seccionadores de Apertura Central

Originan espaciamiento entre fases mayores que los demás, para mantener la separación fase-fase requerida Este hecho se hace más crítico cuanto mayor es la tensión de la subestación. Requieren altas frecuencias de acciones de mantenimiento. (Mejía, 2003, p.257)

Figura N° 08:

Seccionador de Apertura Central



Fuente: "Seccionadores de Potencia HV", ABB, p.2

b) Seccionadores de Doble Apertura o Rotación Central

Originan espaciamiento entre fases normales, para mantener la separación fase-fase requerida

Usados principalmente en instalaciones de 230 kV.

Figura N° 09:

Seccionador de Doble Apertura



Fuente: "Seccionadores de Potencia HV", ABB, p.2

c) Seccionadores de Apertura Vertical

Son utilizados en tensiones de la gama II (300 kV a 800 kV) por conllevar reducidos anchos de campo.

Figura N° 10:

Seccionador de Apertura Vertical



Fuente: Tomado de catálogo virtual WEG, www.weg.net

d) Seccionadores Tipo Pantógrafo y Semipantógrafo

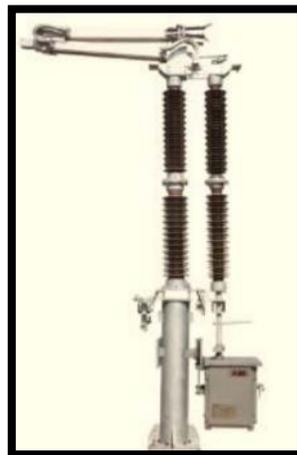
En estos seccionadores, los tres polos no necesitan estar alineados y las fundaciones son menores. Eventualmente pueden presentar una mayor frecuencia de mantenimiento para ajuste de articulaciones y presentan la mayor utilización como seccionadores de bypass o paso directo y como selectores de barra. (Mejía, 2003, p.258)

Figura N° 11:
Seccionador Pantógrafo



Fuente: "Seccionadores de Potencia HV", ABB, p.2

Figura N° 12:
Seccionador Semi-Pantógrafo Vertical



Fuente: "Seccionadores de Potencia HV", ABB, p.2

Figura N° 13:
Seccionador Semi-Pantógrafo Horizontal



Fuente: "Seccionadores de Potencia HV", ABB, p.2

5.2.2.1.3 Según su Mecanismo de Operación

a) Manual

Puede ser hecha por una simple vara aislada (por ejemplo, seccionadores fusibles en redes de distribución) o por manivela (o volante) localizada en la base del seccionador. (Mejía, 2003, p.258)

b) Motorizado

Se hace por medio de un mecanismo único que, a través de ejes, comanda la operación conjunta de los tres polos, o por mecanismos independientes para cada polo del seccionador (pantógrafos y Semipantógrafo), situación que se tiene en las subestaciones de tensiones superiores a 300 kV por los espaciamentos de fases. (Mejía, 2003, p.258)

5.2.3 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Normalmente en sistemas con tensiones superiores a los 600 V las mediciones de tensión no son hechas directamente en la red primaria sino a través de equipos denominados transformadores de tensión. Estos equipos tienen las siguientes finalidades:

- Aislar el circuito de baja tensión (secundario) del circuito de alta tensión (primario).
- Procurar que los efectos transitorios y de régimen permanente aplicados al circuito de alta tensión sean reproducidos lo más fielmente posible en el circuito de baja tensión. (Mejía, 2003, p.267)

5.2.3.1 Clasificación

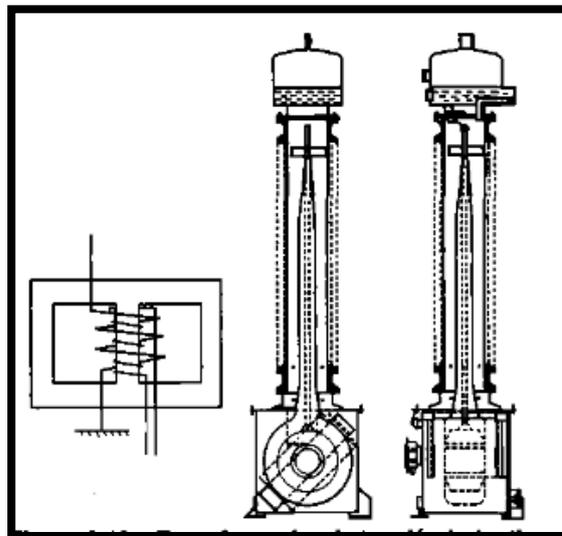
Pueden ser, transformadores Inductivos o Transformadores Capacitivos

5.2.3.1.1 Transformadores Inductivos

Pueden ser contruidos para conexión fase-tierra (un polo aislado) o para conexión fase-fase (doble polo aislado); estos últimos se utilizan primordialmente en media tensión. Para tensiones comprendidas entre 600 V y 72,5 kV los transformadores inductivos son predominantes. (Mejía, 2003, p.268)

Figura N° 14:

Transformador de Tensión Inductivo



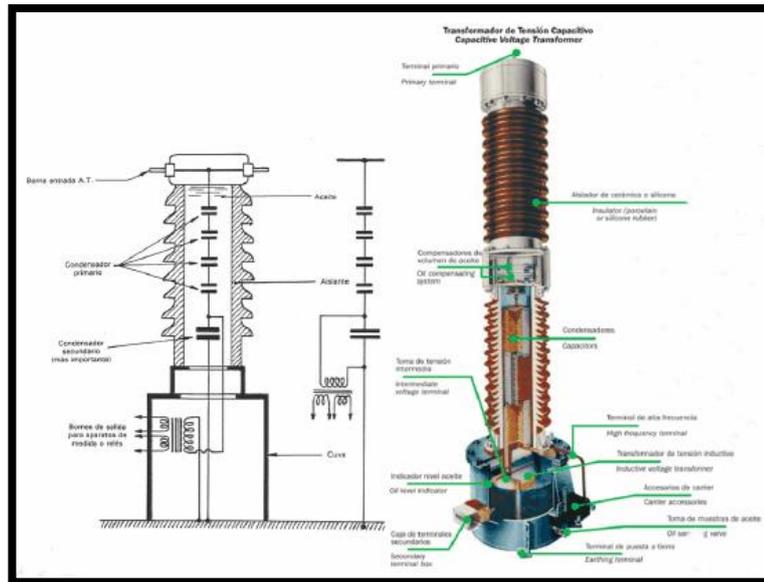
Fuente: *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*, (p.267), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

5.2.3.1.2 Transformadores Divisores Capacitivos

Para tensiones superiores a 72,5 kV y hasta 145 kV no existe preferencia en la utilización, pero en sistemas donde se emplea comunicación por onda portadora, PLC, la utilización del divisor capacitivo se hace necesaria. Para tensiones superiores a 145kV los divisores capacitivos son predominantes. (Mejía, 2003, p.268)

Figura N° 15:

Transformador de Tensión Capacitivo



Fuente: "Transformadores de Medida Alta Tensión", ARTECHE, p.36

5.2.3.2 Selección del tipo de transformador de Tensión

Para la selección entre transformadores inductivos y capacitivos deben tenerse en cuenta dos factores:

- Necesidad de utilización de PLC en los esquemas de control y protección
- Costo del transformador.

Para tensiones inferiores a 72,5 kV, los esquemas empleados no utilizan PLC y el costo del transformador inductivo es inferior al capacitivo, brindando así un empleo bastante acentuado de transformadores de tensión inductivos hasta este nivel de tensión. Para tensiones comprendidas entre 72,5 kV y 145 kV el factor preponderante es la utilización del PLC. Es común utilizar en una subestación de 145 kV divisores capacitivos para las líneas de transmisión, en las cuales naturalmente se emplea PLC, y

transformadores inductivos en las barras, ya que estos son más económicos para dicha tensión; aunque, por consideraciones operativas, puede ser preferible tener un único tipo de equipo en la subestación

Para tensiones superiores a 145 kV normalmente se opta por el divisor capacitivo, toda vez que los dos factores mencionados anteriormente son favorecidos por este equipo. A partir de 245 kV el precio del transformador de tensión inductivo se vuelve muy superior al del capacitivo. (Mejía, 2003, p.268)

5.2.3.3 Valores de tensiones y Precisión en Transformadores de Tensión

5.2.3.3.1 Valores de las Tensiones Asignadas

a) Tensión Primaria Asignada

Según la norma IEC 60186 (1987), es igual a la tensión asignada del sistema. Para transformadores monofásicos conectados entre líneas y tierra o conectados entre neutro y tierra, la tensión asignada primaria es la tensión asignada del sistema dividida por $\sqrt{3}$. (Mejía, 2003, p.269)

b) Tensión Secundaria Asignada

Basado en la práctica corriente de un grupo de países europeos y según la IEC:

- 100 V y 110 V
- 200 V para circuitos secundarios largos

Basado en la práctica corriente en USA y Canadá, normas ANSI:

- 120 V para sistemas de distribución ($U_m \leq 34,5$ kV)

- 115 V para sistemas de transmisión ($U_m > 34,5 \text{ kV}$)
- 230 V para circuitos secundarios largos

Para transformadores monofásicos conectados fase-tierra en sistemas trifásicos donde la tensión primaria es dividida por $\sqrt{3}$, la tensión secundaria es uno de los valores mencionados arriba dividido por $\sqrt{3}$. (Mejía, 2003, p.269)

5.2.3.3.2 Precisión

a) Error de Tensión

Es el error que un transformador introduce en la medida de una tensión, el cual refleja que la relación de transformación real difiere de la asignada. El error de tensión, expresado en porcentaje, está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Error de Tension} = \frac{K_n u_s - u_p}{u_p} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

K_n : relación de transformación asignada

u_p : tensión primaria real

u_s : tensión secundaria correspondiente a la tensión u_p en las condiciones de la medida.

b) Desfase

Es la diferencia del ángulo de fase entre las tensiones primaria y secundaria. Este desplazamiento se dice que es positivo cuando el vector de la tensión secundaria adelanta al vector de la tensión primaria.

Los errores de tensión y desfase deberán estar dentro de los límites especificados, para las condiciones de uso especificadas.

c) Clase de Precisión

Define los límites de error de tensión y desfase.

- **Para Medición**

Las normas IEC definen los siguientes valores: 0.1 - 0.2 - 0.5 - 1.0 y 3.0.

Las normas ANSI presentan los siguientes valores: 0.3 - 0.6 - 1.2

Los límites del error de tensión y el desfase a la frecuencia asignada no deben exceder los valores dados en la tabla 1 a cualquier tensión entre 80% y 120% de la tensión asignada y con cargas entre 25% y 100% de la carga de precisión, con un factor de potencia de 0.8 inductivo, para las clases de precisión IEC.

En cuanto a la aplicación de transformadores de tensión se puede decir que la clase 0.1 se utiliza para transformadores de tensión de laboratorio, la clase 0.2 para medidas de precisión, la clase 0.5 para medición comercial, la clase 1.0 para medición industrial y la clase 3.0 para instrumentación.

(Mejía, 2003, p.275)

Tabla 1: Límites de error en transformadores de tensión para medición

Clase de Precisión	Error de Tensión (%)	Desfase (min)
0.1	± 0.1	± 5
0.2	± 0.2	± 10
0.5	± 0.5	± 20
1.0	± 1.0	± 40
3.0	± 3.0	No especificada

Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, (p.275), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

- **Para Protección**

Representa el error de tensión máximo, expresado en porcentaje. El error especificado deberá cumplirse para un rango entre el 5% de la tensión asignada y el valor de tensión correspondiente al factor de tensión asignado y para todas las cargas entre el 25% y el 100% de la carga nominal con un factor de potencia de 0.8 inductivo, este valor es seguido de la letra "P".

Las clases de precisión normalizadas según la IEC son 3P y 6P. Los límites del error de tensión y el desfase, a la frecuencia asignada no deben sobrepasar los límites establecidos en la tabla 2: (Mejía, 2003, p.276)

Tabla 2: Límites de error en transformadores de tensión para protección

Clase de Precisión	Error en la relación de Tensión (%)	Desfase (min)
3P	± 3.0	± 120
6P	± 6.0	± 240

Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, (p.276), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

5.2.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Los Transformadores de Corriente son utilizados para efectuar las mediciones de corriente en sistemas eléctricos. Tienen su devanado primario conectado en serie con el circuito de alta tensión. La impedancia del transformador de corriente, vista desde el lado del devanado primario, es despreciable comparada con la del sistema en el cual estará instalado, aún si se tiene en cuenta la carga que se conecta en su secundario. En esta forma, la corriente que circulará en el primario de los transformadores

de corriente está determinada por el circuito de potencia: (Mejía, 2003, p.278)

5.2.4.1 Clasificación

5.2.4.1.1 Según su Construcción Eléctrica

Los transformadores de corriente pueden tener las siguientes variantes eléctricas:

a) Con Varios Núcleos

Transformador de corriente con varios devanados secundarios independientes y montados cada uno en su propio núcleo, formando conjunto con un único devanado primario, cuyas espiras enlazan todos los núcleos secundarios: (Mejía, 2003, p.278)

b) Secundario de Relación Múltiple o Multi - relación

La relación de transformación se puede variar por medio de tomas (taps) en las vueltas del devanado secundario, presentan el inconveniente de la disminución de la capacidad en las relaciones más bajas: (Mejía, 2003, p.278)

5.2.4.1.2 Según su Utilización

Los transformadores de corriente, según su utilización, se clasifican en dos tipos:

a) Transformadores de Corriente para Medida

Son los transformadores de corriente utilizados para alimentar instrumentos de medida, contadores de energía y otros instrumentos análogos

b) Transformadores de Corriente para Protección

Son utilizados para alimentar relés de protección.

5.2.4.2 Valores de corrientes y precisión en transformadores de corriente

5.2.4.2.1 Valores Normalizados de las Corrientes Primarias Asignadas

a) Transformadores con una sola relación de transformación

Los valores sugeridos en la norma IEC 61869-2 (2012) son: 10 - 12.5 - 15 - 20 - 25 - 30 - 40 - 50 - 60 - 75 A o sus múltiplos o sus sub-múltiplos decimales.

b) Transformadores con múltiples relaciones de transformación

Los valores estándar dados en el punto anterior (a), se refieren a los valores más bajos de la corriente primaria asignada.

5.2.4.2.2 Valores Normales de las Corrientes Secundarias Asignadas

Los valores normales de corrientes secundarias asignadas son 1 A, 2 A y 5 A; siendo el valor más usado 5A

5.2.4.2.3 Precisión para transformadores de corriente para medida

a) Designación de la clase de precisión

La clase de precisión está determinada por el límite superior del error de corriente expresado en porcentaje, para la corriente primaria asignada y la carga de precisión asignada

b) Clases de precisión normales según la norma IEC

Las clases de precisión normales para un transformador de corriente con 0.1 - 0.2 - 0.5 - 1 - 3 - 5

c) Límites del error de corriente y del desplazamiento de fase

Para los transformadores con clases de precisión 0.1 - 0.2 - 0.5 y 1, el error de corriente y el desplazamiento de fase, a la frecuencia asignada, no deben exceder los valores de la tabla 3, cuando la carga secundaria esta entre el 25% y el 100% de la carga de precisión

Para aplicaciones especiales, como la operación con medidores que cuentan correctamente entre 50 mA y 6 A (designación "S"), se designan las clases 0.2S y 0.5S. El error de corriente y el desplazamiento de fase a la frecuencia asignada no deben exceder los valores de la tabla 3, para una carga secundaria entre el 25% y el 100% de la carga de precisión

Para las clases de 3 y 5 el error de corriente a la frecuencia asignada no debe exceder los valores de la tabla 3, cuando la carga secundaria esta entre el 50% y 100% de la carga de precisión. (Mejía, 2003, p.285)

Tabla 3: Limites de error para transformadores de corriente para medida y protección

Clase de Precisión	± % de error de corriente al % de corriente asignada indicado				± Desplazamiento de fase en minutos al % de la corriente asignada indicada			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	15	8	5	5
0.2	0.75	0.35	0.2	0.2	30	15	10	10
0.5	1.5	0.75	0.5	0.5	90	45	30	30
1.0	3.0	1.5	1.0	1.0	180	90	60	60

Clase de Precisión	± % de error de corriente al % de corriente asignada indicado					± Desplazamiento de fase en minutos al % de la corriente asignada indicada				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.2 S	0.75	0.35	0.2	0.2	0.2	30	15	10	10	10
0.5 S	1.5	0.75	0.5	0.5	0.5	90	45	30	30	30

Clase	± % de error de corriente al % de corriente nominal indicado	
	5	20
3	3	3
5	5	5

Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, (p.285), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

5.2.4.2.4 Precisión para transformadores de corriente para protección convencional

a) Factor límite de precisión

Es la relación entre la corriente límite de precisión asignada y la corriente primaria asignada.

La corriente límite de precisión asignada es el valor más alto de la corriente primaria para el cual el transformador debe cumplir los requerimientos de la precisión. Generalmente la corriente límite de precisión asignada corresponde con el valor de la corriente de corto circuito térmica asignada

Los valores normales para los factores límites de precisión son: 5 -10 - 15 - 20 - 30. (Mejía, 2003, p.286)

b) Clase de precisión

Los transformadores de corriente para protección convencional están caracterizados por la letra "P" (indica protección), la clase de precisión indica el límite superior del error compuesto para la

corriente límite de precisión asignada y la carga de precisión.
(Mejía, 2003, p.287)

c) Clases de precisión normales

Las clases de precisión normales para los transformadores de corriente convencionales para protección, de acuerdo a la norma IEC 61869-2 (2012), son 5P y 10P.

d) Límites de errores para los transformadores de corriente convencionales para protección

Para la potencia de precisión y a la frecuencia asignada, el error de corriente, el desplazamiento de fase y el error compuesto no deben exceder los valores de la tabla 4

Tabla 4: Límites de error para transformadores de corriente para protección

Clase de precisión	Error de corriente para la corriente primaria asignada (%)	Desplazamiento de fase para la corriente primaria asignada (minutos)	Error compuesto para la corriente límite de precisión (%)
5P	± 1	± 60	5
10P	± 3	-	10

Fuente: Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, (p.287), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

5.2.5 PARARRAYOS

Los Pararrayos son los elementos de protección de los equipos de las subestaciones contra sobretensiones. Inicialmente se fabricaban con descargadores y resistencias no lineales de carburo de silicio (SiC), pero en los últimos años han sido desplazados por pararrayos construidos con resistencias no lineales de óxido de zinc (ZnO) sin descargadores. (Mejía, 2003, p.310)

5.2.5.1 Clasificación

5.2.5.1.1 Pararrayos Convencionales o de carburo de silicio

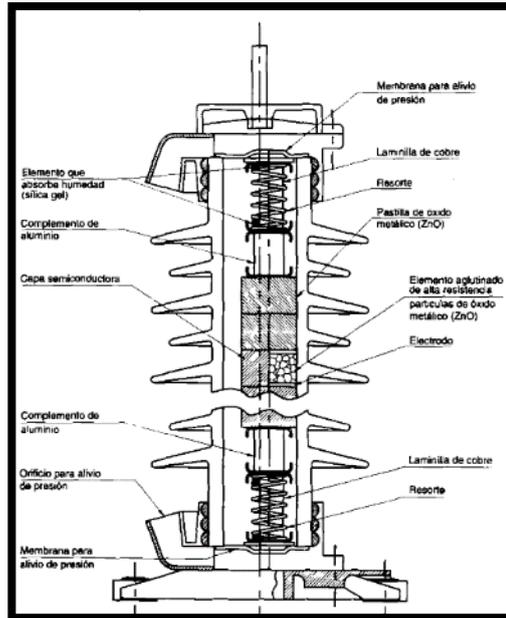
El pararrayos que se utilizaba en la mayoría de las veces se denominaba convencional y es el llamado pararrayos tipo válvula o denominado también tipo resistor no lineal. Consiste en uno o varios descargadores conectados en serie con uno o más resistores no lineales. Estos elementos están encerrados en una cápsula de porcelana que los protege del medio ambiente. La cápsula se llena con nitrógeno seco y se sella en ambos extremos con sellos elásticos de un material que prácticamente no "envejece". Para evitar que, en aquellos casos en los cuales el pararrayos es incapaz de extinguir el arco, se produzca una explosión, se proveen de una membrana que alivia la presión interior y una boquilla que dirige los gases que se expulsan en una dirección determinada. (Mejía, 2003, p.311)

5.2.5.1.2 Pararrayos de Óxido de Zinc

A principio de la década del 1980 se empezó a hacer popular el pararrayos que no utiliza los saltachispas internos. Estos nuevos pararrayos utilizan como elementos activos varistores de óxido de zinc (ZnO) ensamblados en serie en una o más columnas, dentro de bujes de porcelana.

Para protección de la instalación y del personal todos los pararrayos deberán estar equipados con un dispositivo de alivio de presión. Es normal proveer estos equipos con un contador de descargas para realizar un registro de sus operaciones. (Mejía, 2003, p.313)

Figura N° 16:
Pararrayos



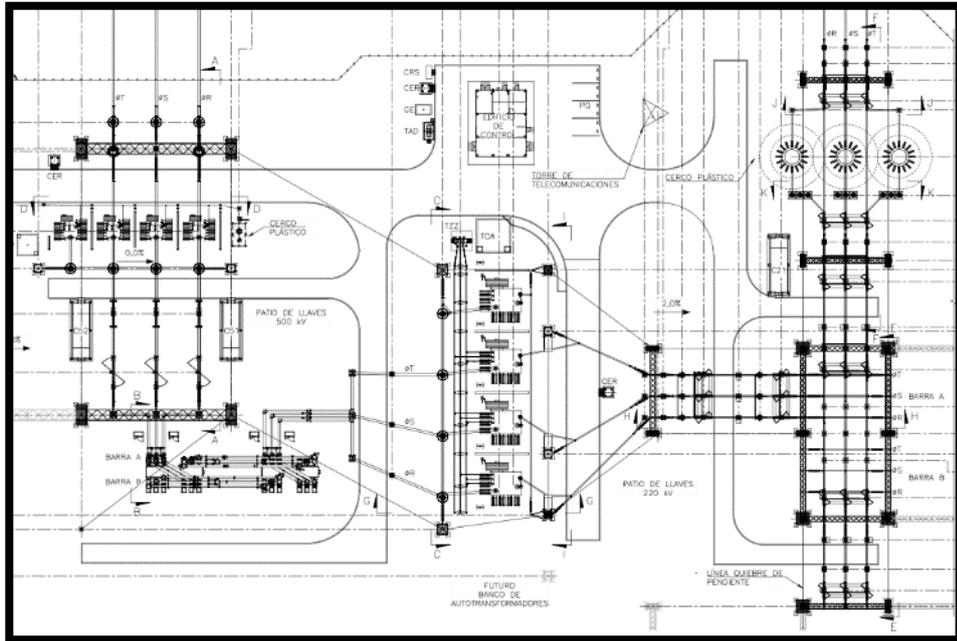
Fuente: *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*, (p.314), por Mejía, 2003,
Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

5.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220kV

La subestación Colcabamba, se encuentra dividida en dos patios, patio superior e inferior, en el patio superior se encuentra la subestación de 500 kV y en el patio inferior se encuentra la subestación de 220 kV.

Figura N° 17:

Vista de Planta de la S.E. Colcabamba se aprecian los patios de 500kV (Lado izquierdo) y el patio de 220kV (lado derecho)

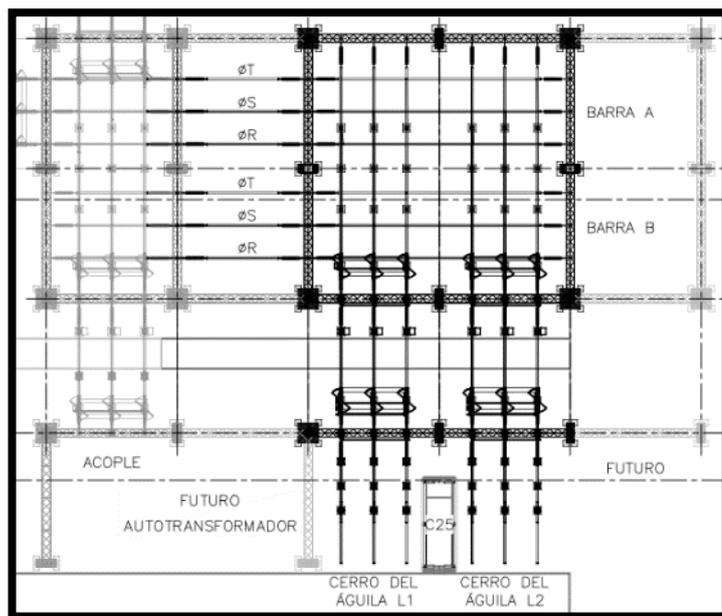


Fuente: *Plano de disposición física Subestación Colcabamba, Proyecto MAMO*

Adicionalmente, se agregó al proyecto, dos bahías en 220kV para la línea de transmisión proveniente de la central Cerro del Águila, estas se conectan al patio de 220kV a través de la ampliación de barras

Figura N° 18:

Vista de Planta de las bahías Cerro del Águila 220kV



Fuente: *Plano de disposición física Conexión Cerro del Águila, Proyecto COCA*

5.3.1 CONFIGURACIÓN DE LA SUBESTACIÓN COLCABAMBA

500/220kV

La subestación Colcabamba 500/220kV, presenta la siguiente configuración:

- **Patio de 500kV:** Interruptor y medio
- **Patio de 220kV:** Doble Barra más Seccionador de Transferencia

Se denomina configuración al arreglo de los equipos electromecánicos constitutivos de un patio de conexiones o pertenecientes a un mismo nivel de tensión de una subestación, de tal forma que su operación permita dar a la subestación diferentes grados de confiabilidad, seguridad o flexibilidad para el manejo, transformación y distribución de la energía. (Mejía, 2003, p.25)

Las configuraciones de las subestaciones aplican para subestaciones del tipo convencionales como encapsuladas en SF6.

5.3.1.1 Configuración interruptor y medio:

Este tipo de configuración debe su nombre al hecho de exigir tres interruptores por cada dos salidas (figura 16). A la disposición longitudinal de tres interruptores entre dos barras principales se le denomina diámetro (en EEUU de Norte de América la mencionada disposición se denomina bahía).

Esta configuración nos permite realizar mantenimiento a cualquier interruptor o barraje sin suspender el servicio y sin alterar el sistema de protección; además, una falla en un barraje no interrumpe el servicio a ningún circuito, presentando así un alto índice de confiabilidad y de

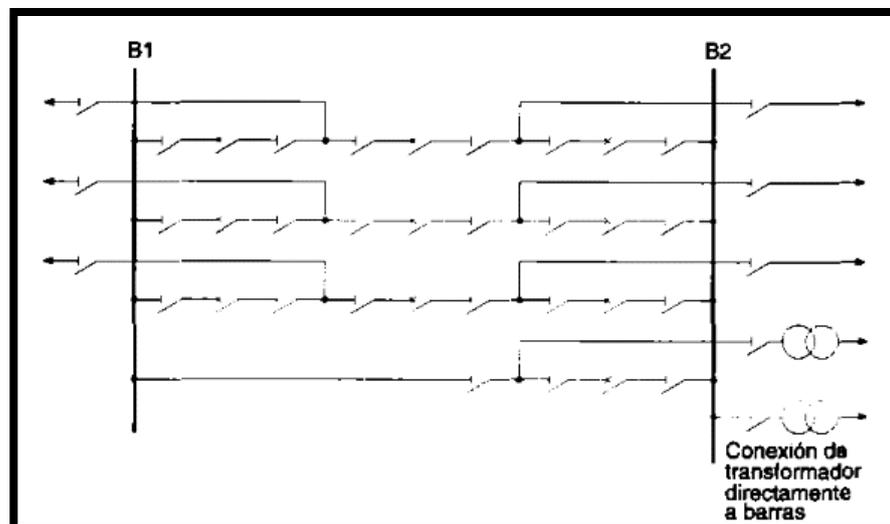
seguridad tanto por falla en los interruptores como en los circuitos y barras.

Normalmente se opera con ambas barras energizadas y todos los interruptores cerrados, este modo de operación le quita flexibilidad, por ello se dice que la configuración interruptor y medio es poco flexible, además, el tener dos barras no significa que los circuitos puedan ser conectados independientemente a cualquiera de ellas manteniendo la configuración, como es el caso de la configuración doble barra. (Mejía, 2003, p.35)

Para la desconexión de un circuito en la configuración de interruptor y medio se requiere la apertura de dos interruptores.

Figura N° 19:

Configuración Interruptor y medio



Fuente: *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*, (p.35), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

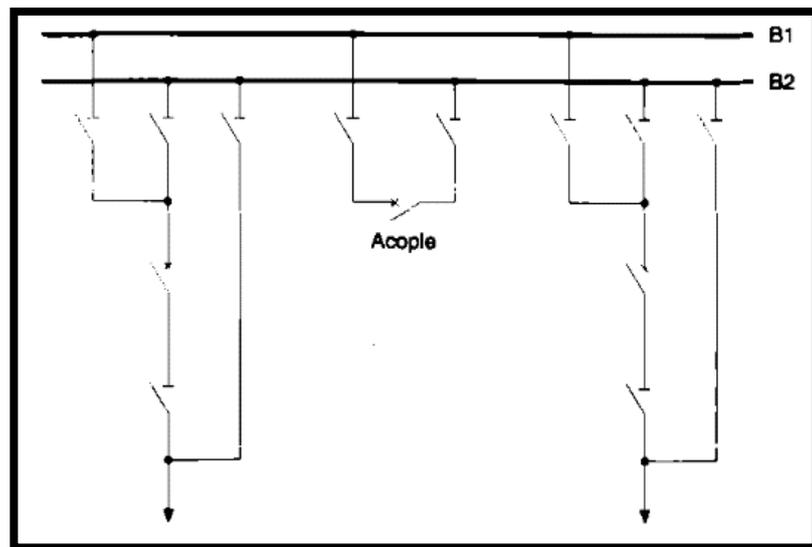
5.3.1.2 Configuración Doble Barra más seccionador de Transferencia:

Este tipo de configuración es una variación de la configuración doble barra, para lograr la misma se requiere del uso de un seccionador de

transferencia el cual debe de tener la característica de ser un seccionador del tipo pantógrafo o Semipantógrafo (con el cual se realiza la conexión o desconexión de manera vertical).

Figura N° 20:

Configuración Doble barra más seccionador de transferencia



Fuente: *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*, (p.32), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

5.3.2 PATIO 500kV

La subestación Colcabamba 500 kV, presenta una configuración del tipo interruptor y medio, actualmente presenta dos diámetros incompletos de tecnología GIS, esta subestación se encuentra conformada por las siguientes instalaciones:

- Bahía de conexión de Línea a la S.E Poroma (L-5031)
- Bahía para conexión de banco de Transformadores AT-103-523
- Celda de Reactor de Línea RN-6
- Banco de Autotransformadores con unidad de reserva AT-103-523
- Banco de Reactores de Línea más unidad de reserva RN-6

No es parte del alcance del presente informe las pruebas asociadas a los equipos GIS y equipos inductivos en aceite (Autotransformadores y Reactores de Línea), por lo que: a continuación, se describen los equipos pertenecientes a la subestación 500kV de tecnología convencional y que pertenecen al alcance de las pruebas a ejecutar:

5.3.2.1 Salida de conexión de Línea a la S.E. Poroma (L-5031)

Compuesto en tecnología convencional (AIS), por el siguiente equipamiento:

- Tres (03) Pararrayos de ZnO (PR-5031), Marca: ABB, Tipo: EXLIM T444-BV550M, Tensión Nominal (U_r): 444kV, Tensión continua de operación (U_c): 349kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA
- Tres (03) Transformadores de Tensión (TT-5035), Marca: TRENCH, Tipo: TEMP-500IUHH, Tensión Nominal (U_r): 550kV, con tres devanados secundarios de relación $500/\sqrt{3}:0.11/\sqrt{3}$ kV cada uno (01 devanado de medida CI 0.2, 30VA y 02 devanados de protección 3P, 30VA).

5.3.2.2 Salida de conexión a autotransformadores AT-103-523

Compuesto en tecnología convencional (AIS), por el siguiente equipamiento:

- Cuatro (04) Pararrayos de ZnO (PR-5028), Marca: ABB, Tipo: EXLIM T444-BV550M, Tensión Nominal (U_r): 444kV, Tensión continua de operación (U_c): 349kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA

- Tres (03) Transformadores de Tensión capacitivos (TT-5032), Marca: TRENCH, Tipo: TEMP-500IUHH, Tensión Nominal (U_r): 550kV, con tres devanados secundarios de relación $500/\sqrt{3}:0.11/\sqrt{3}$ kV cada uno (01 devanado de medida CI 0.2, 30VA y 02 devanados de protección 3P, 30VA).

5.3.2.3 Celda de Reactor de Línea RN-6

Celda compuesta en su totalidad por equipos en tecnología convencional (AIS), cuenta con el siguiente equipamiento:

- Un (01) Seccionador de enlace tipo doble apertura con mando motorizado (SE-5223), Marca: ALSTOM, Tipo: S3CD, Tensión Nominal (U_r): 500kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 2000A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Tres (03) Interruptores unipolares con mando motorizado y aislamiento en SF₆ (IN-5100), Marca: ABB, Tipo: HPL-550-B2, Tensión Nominal (U_r): 550kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 2000A y Corriente nominal de ruptura en cortocircuito (I_{sc}): 40kA
- Cuatro (04) Pararrayos de ZnO (PR-5032), Marca: ABB, Tipo: EXLIM T444-BV550M, Tensión Nominal (U_r): 444kV, Tensión continua de operación (U_c): 349kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA.
- Un (01) Seccionador de puesta a tierra rápida tipo apertura vertical con mando motorizado (ST-5021), Marca: ALSTOM, Tipo: STR, Tensión Nominal (U_r): 123kV, Corriente nominal de

servicio (I_r): 350A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 40kA

- Un (01) Pararrayos de ZnO (PR-5033), Marca: ABB, Tipo: EXLIM P120-XV123, Tensión Nominal (U_r): 120kV, Tensión continua de operación (U_c): 78kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA
- Un (01) Reactor de puesta a tierra del neutro (RN-6), Marca: ALSTOM, Tensión Nominal (U_r): 36kV y Corriente Nominal: 15A; además cuenta con un transformador de corriente toroidal, Marca: BALTEAU con un devanado secundario de protección 5P con relación 20:1

5.3.3 PATIO 220kV

La subestación Colcabamba 220 kV, presenta una configuración del tipo doble barra más seccionador de transferencia en tecnología convencional (AIS), esta subestación se encuentra conformada por las siguientes instalaciones:

- Bahía de conexión de Línea a la S.E Campo Armiño (L-2225)
- Celda de Reactor R-28
- Bahía de acople
- Bahía para conexión de banco de Transformadores AT-103-523
- Bahía de conexión de Línea a la S.E Cerro del Águila L1 (L-2140)
- Bahía de conexión de Línea a la S.E Cerro del Águila L2 (L-2141)

A continuación, se describen los equipos pertenecientes a la subestación 220kV

5.3.3.1 Bahía de conexión de Línea a la S.E Campo Armiño(L-2225)

Esta celda corresponde a la salida de la Línea L-2225, con dirección a la subestación Campo Armiño 220 kV, la misma que se encuentra compuesta por el equipamiento siguiente:

- Un (01) Seccionador de Barra A tipo doble apertura con mando motorizado (SA-8425), Marca: ALSTOM, Tipo: S3C, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de Barra B tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SB-8427), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de enlace tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SE-8421), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Interruptor uní-tripolar con mando motorizado y aislamiento en SF₆ (IN-2816), Marca: ABB, Tipo: LTB-245-E1, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 4000A y Corriente nominal de ruptura en cortocircuito (I_{sc}): 40kA
- Un (01) Seccionador de línea tipo doble apertura con mando motorizado (SL-8423), Marca: ALSTOM, Tipo: S3C, Tensión

Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA

- Tres (03) Transformadores de Corriente (TC-2637), Marca: TRENCH, Tipo: IOSK550, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con cuatro núcleos de relación 800/1600/3200 a 1/1/1 (01 núcleo de medida CI 0.2S, 30VA y 03 núcleos de protección 5P20, 30VA).
- Un (01) Seccionador de enlace tipo semi pantógrafo con cuchilla de puesta a tierra y mando motorizado (SE-8419 / ST-2584), Marca: ALSTOM, Tipo: SPVT, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Tres (03) Transformadores de Tensión capacitivos (TT-2555), Marca: TRENCH, Tipo: TEMP-220SLH, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con tres devanados secundarios de relación $220/\sqrt{3}:0.11/\sqrt{3}$ kV cada uno (01 devanado de medida CI 0.2, 30VA y 02 devanados de protección 3P, 30VA).
- Tres (03) Pararrayos de ZnO (PR-2511), Marca: ABB, Tipo: P198-GV245M, Tensión Nominal (U_r): 198kV, Tensión continua de operación (U_c): 156kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA.

5.3.3.2 Celda de Reactor R-28

Esta celda corresponde a la celda del reactor limitador de corriente, la misma que se encuentra compuesta por el equipamiento siguiente:

- Dos (02) Seccionadores de enlace tipo doble apertura con mando motorizado (SE-8605 y SE-8607), Marca: ALSTOM, Tipo: S3C, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA.
- Nueve (09) Capacitores Shunt (C-4), Marca: ALSTOM, Tipo: OCCF-245, Tensión Nominal (U_r): 245kV

5.3.3.3 Bahía de Acople

Esta celda corresponde al acoplamiento de barras, la misma que se encuentra compuesta por el equipamiento siguiente (se incluye aquí los transformadores de Tensión de Barra:

- Dos (02) Seccionadores de Barra tipo doble apertura con mando motorizado (SA-8429 y SB-8431), Marca: ALSTOM, Tipo: S3C, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA.
- Un (01) Interruptor uní-tripolar con mando motorizado y aislamiento en SF₆ (IN-2818), Marca: ABB, Tipo: LTB-245-E1, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 4000A y Corriente nominal de ruptura en cortocircuito (I_{sc}): 40kA
- Tres (03) Transformadores de Corriente (TC-2638), Marca: TRENCH, Tipo: IOSK550, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con cuatro núcleos de relación 800/1600/3200 a 1/1/1 (01 núcleo

de medida CI 0.2S, 30VA y 03 núcleos de protección 5P20, 30VA).

- Dos (02) Transformadores de Tensión capacitivos ubicados en la fase S de las barras A y B respectivamente (TT-2556 y TT-2557), Marca: TRENCH, Tipo: TEMP-220SLH, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con tres devanados secundarios de relación $220/\sqrt{3}:0.11/\sqrt{3}$ kV cada uno (01 devanado de medida CI 0.2, 30VA y 02 devanados de protección 3P, 30VA).

5.3.3.4 Bahía para conexión de banco de Transformadores AT-103-523

Esta celda corresponde a la bahía del banco de transformadores, la misma que se encuentra compuesta por el equipamiento siguiente:

- Un (01) Seccionador de Barra A tipo doble apertura con mando motorizado (SA-8433), Marca: ALSTOM, Tipo: S3C, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 2500A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de Barra B tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SB-8435), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de enlace tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SE-8439), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA

- Un (01) Interruptor uní-tripolar con mando motorizado y aislamiento en SF₆ (IN-2820), Marca: ABB, Tipo: LTB-245-E1, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 2500A y Corriente nominal de ruptura en cortocircuito (I_{sc}): 40kA
- Un (01) Seccionador de línea tipo doble apertura con cuchilla de puesta a tierra y mando motorizado (SL-8437 / ST-2585), Marca: ALSTOM, Tipo: S3CT, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Tres (03) Transformadores de Corriente (TC-2639), Marca: TRENCH, Tipo: IOSK550, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con cuatro núcleos de relación 1250/2500 a 1/1 (01 núcleo de medida CI 0.2S, 30VA y 03 núcleos de protección 5P20, 30VA).
- Tres (03) Transformadores de Tensión capacitivos (TT-2558), Marca: TRENCH, Tipo: TEMP-220SLH, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con tres devanados secundarios de relación 220/√3:0.11/√3 kV cada uno (01 devanado de medida CI 0.2, 30VA y 02 devanados de protección 3P, 30VA).
- Tres (03) Pararrayos de ZnO (PR-2512), Marca: ABB, Tipo: P198-GV245M, Tensión Nominal (U_r): 198kV, Tensión continua de operación (U_c): 156kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA.

5.3.3.5 Bahía de conexión de Línea a S.E Cerro del Águila L-2140

Esta celda corresponde a la salida de la Línea L-2140, con dirección a la subestación Cerro del Águila 220 kV, la misma que se encuentra compuesta por el equipamiento siguiente:

- Un (01) Seccionador de Barra A tipo doble apertura con mando motorizado (SA-8549), Marca: ALSTOM, Tipo: S3C, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 2500A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de Barra B tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SB-8551), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Interruptor uní-tripolar con mando motorizado y aislamiento en SF₆ (IN-2852), Marca: ABB, Tipo: LTB-245-E1, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente nominal de ruptura en cortocircuito (I_{sc}): 40kA
- Un (01) Seccionador de línea tipo doble apertura con cuchilla de puesta a tierra y mando motorizado (SL-8553 / ST-2600), Marca: ALSTOM, Tipo: S3CT, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de enlace tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SE-8555), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV, Tensión

Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA

- Tres (03) Transformadores de Corriente (TC-2658), Marca: TRENCH, Tipo: IOSK550, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con cuatro núcleos de relación 1250/2500 a 1/1 (01 núcleo de medida CI 0.2S, 30VA y 03 núcleos de protección 5P20, 30VA).
- Tres (03) Transformadores de Tensión capacitivos (TT-2575), Marca: TRENCH, Tipo: TEMP-220SLH, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con tres devanados secundarios de relación $220/\sqrt{3}:0.11/\sqrt{3}$ kV cada uno (01 devanado de medida CI 0.2, 30VA y 02 devanados de protección 3P, 30VA).
- Tres (03) Pararrayos de ZnO (PR-2522), Marca: ABB, Tipo: P198-GV245M, Tensión Nominal (U_r): 198kV, Tensión continua de operación (U_c): 156kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA.

5.3.3.6 Bahía de conexión de Línea a S.E Cerro del Águila L-2141

Esta celda corresponde a la salida de la Línea L-2141, con dirección a la subestación Cerro del Águila 220 kV, la misma que se encuentra compuesta por el equipamiento siguiente:

- Un (01) Seccionador de Barra A tipo doble apertura con mando motorizado (SA-8557), Marca: ALSTOM, Tipo: S3C, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 2500A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de Barra B tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SB-8559), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV,

Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA

- Un (01) Interruptor uní-tripolar con mando motorizado y aislamiento en SF₆ (IN-2854), Marca: ABB, Tipo: LTB-245-E1, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente nominal de ruptura en cortocircuito (I_{sc}): 40kA
- Un (01) Seccionador de línea tipo doble apertura con cuchilla de puesta a tierra y mando motorizado (SL-8561 / ST-2601), Marca: ALSTOM, Tipo: S3CT, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Un (01) Seccionador de enlace tipo semi pantógrafo con mando motorizado (SE-8563), Marca: ALSTOM, Tipo: SPV, Tensión Nominal (U_r): 245kV, Corriente nominal de servicio (I_r): 3150A y Corriente de corta duración admisible (I_r): 50kA
- Tres (03) Transformadores de Corriente (TC-2659), Marca: TRENCH, Tipo: IOSK550, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con cuatro núcleos de relación 1250/2500 a 1/1 (01 núcleo de medida CI 0.2S, 30VA y 03 núcleos de protección 5P20, 30VA).
- Tres (03) Transformadores de Tensión capacitivos (TT-2576), Marca: TRENCH, Tipo: TEMP-220SLH, Tensión Nominal (U_r): 245kV, con tres devanados secundarios de relación $220/\sqrt{3}:0.11/\sqrt{3}$ kV cada uno (01 devanado de medida CI 0.2, 30VA y 02 devanados de protección 3P, 30VA).

- Tres (03) Pararrayos de ZnO (PR-2523), Marca: ABB, Tipo: P198-GV245M, Tensión Nominal (U_r): 198kV, Tensión continua de operación (U_c): 156kV y Corriente de descarga asignada (I_n): 20kA.

5.4 TEORÍA DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS A LOS EQUIPOS DE PATIO DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN

El objetivo fundamental de las pruebas es el de verificar las características de diseño de los equipos de patio, sean éstas del tipo eléctricas y mecánicas, con la finalidad de garantizar la condición de los elementos probados.

Este tipo de pruebas se realizan al fabricarlos, también antes de ponerlos en servicio y como parte del mantenimiento para monitorear su condición de estado durante su ciclo de vida, estas pruebas son muy útiles para el personal de mantenimiento ya que en base a ellas se pueden tomar acciones de mantenimiento del tipo preventivas y correctivas.

5.4.1 PRUEBAS DE CAMPO - SAT.

Son pruebas ejecutadas después de ser montados o instalados los equipos en su sitio de operación y antes de ponerlos en servicio, sirven para verificar que el equipo instalado no sufra variación significativa de sus características, parámetros eléctricos y mecánicos durante el montaje de los mismos, además que su ensamble ha sido el definido por el fabricante; esta comparación o verificación se realiza en base a las medidas realizadas en fabrica (Pruebas FAT).

Estas pruebas son muy importantes para dar inicio al ciclo de vida del activo instalado, las áreas de mantenimiento tienen en cuenta los valores

obtenidos ya que a partir de ellos se puede diagnosticar su condición y sus tendencias de deterioro como consecuencia de su uso, permitiendo tomar acciones preventivas o correctivas que garanticen su buen funcionamiento, por ende, asegurar la confiabilidad del sistema de potencia.

5.4.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La prueba de resistencia de aislamiento tiene como objetivo evaluar el aislamiento sólido de los equipos de alta tensión.

Los aislamientos sólidos proveen un alto nivel aislante y una capacidad importante de disipación de calor. Se comportan como materiales dieléctricos que previenen el flujo de electricidad entre puntos de diferente potencial.

La prueba de resistencia de aislamiento se realiza en corriente continua, para la realización de la prueba en campo se utilizan equipos que pueden aplicar voltajes entre 50 a 30 000 voltios, el equipo empleado es un medidor de Megaóhmios e indica la resistencia de aislamiento.

La calidad del aislamiento es evaluada según el valor de la resistencia de aislamiento. La resistencia de aislamiento depende de la temperatura, humedad y otros factores ambientales. (MEGGER, 2012, p.6-7)

Las lecturas deben ser corregidas a 20°C de acuerdo con la tabla 100.14 (Insulation Resistance - conversions factors for conversion of test temperature to 20°C) publicada en la norma ANSI/NETA ATS-2015, la cual se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Tabla para corrección de resistencia de aislamiento

Temperature		Multiplier	
° C	° F	Apparatus Containing Immersed Oil Insulation	Apparatus Containing Solid Insulation
-10	14	0.125	0.25
-5	23	0.180	0.32
0	32	0.25	0.40
5	41	0.36	0.50
10	50	0.50	0.63
15	59	0.75	0.81
20	68	1.00	1.00
25	77	1.40	1.25
30	86	1.98	1.58
35	95	2.80	2.00
40	104	3.95	2.50
45	113	5.60	3.15
50	122	7.85	3.98
55	131	11.20	5.00
60	140	15.85	6.30
65	149	22.40	7.90
70	158	31.75	10.00
75	167	44.70	12.60
80	176	63.50	15.80
85	185	89.789	20.00
90	194	127.00	25.20
95	203	180.00	31.60
100	212	254.00	40.00
105	221	359.15	50.40
110	230	509.00	63.20

Fuente: Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems (ANSI/NETA ATS-2015), (p.222)

Las correcciones de las lecturas obtenidas solo aplican para aislamientos inmersos en aceite y aislamientos sólidos, la tabla no muestra la corrección para aislantes inmersos en gas SF₆, por lo cual se indica que dicha corrección no se realiza por tanto el valor del aislamiento registrado para el gas SF₆ como es el caso del interruptor de potencia se coloca en los respectivos protocolos de campo.

El resultado de esta prueba tiene un mayor poder predictivo si se compara con resultados de un registro histórico de pruebas efectuadas. De esta forma, se puede verificar la tendencia del nivel de aislamiento.

Un valor puntual de la resistencia de aislamiento pudiera ser insuficiente para indicar la fortaleza o debilidad del aislamiento. Un valor bajo en la

resistencia de aislamiento pudiera indicar contaminación o la existencia de un problema que pudiera causar daños a corto plazo. (MEGGER, 2012, p.7)

En la figura 21, se ilustra de manera gráfica la conexión utilizada para la ejecución de la prueba de resistencia de aislamiento.

Figura N° 21:

Conexión típica para prueba de resistencia de aislamiento



Fuente: "Pruebas Eléctricas para Transformadores de Potencia", (p.53), MEGGER

5.4.3 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO, PERDIDAS DIELECTRICAS Y CAPACITANCIA

La prueba de factor de potencia, pérdidas dieléctricas y capacitancia tiene como objetivo evaluar el aislamiento y capacitancia de los equipos,

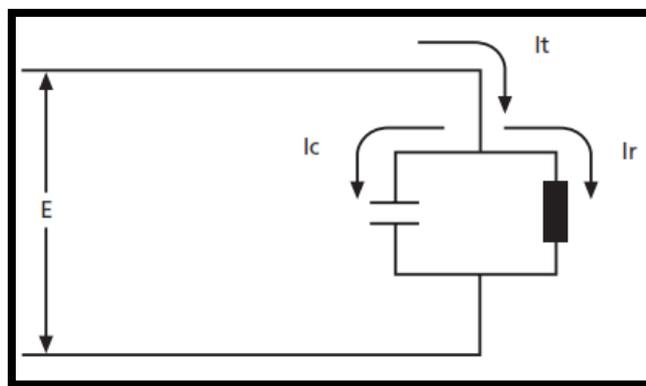
Es una prueba importantísima para determinar la calidad del aislamiento en todo tipo de equipo eléctrico. En el caso de aislamiento sólido, se recomienda utilizar un nivel de tensión similar al valor de tensión nominal del equipo.

La prueba de factor de potencia se basa en un modelo conformado por un capacitor en paralelo con una resistencia o un capacitor en serie con una resistencia. El capacitor representa la capacitancia del equipo bajo prueba

y la resistencia representa las pérdidas en el aislamiento cuando se le aplica una tensión de prueba. Para nuestro análisis, el modelo considerado es una resistencia en paralelo con un capacitor, la figura 22 muestra el modelo, donde I_t representa la corriente total que circula por el equipo de prueba, I_c es la corriente capacitiva e I_r la corriente resistiva. (MEGGER, 2012, p.23)

Figura N° 22:

Representación del modelo paralelo del aislamiento



Fuente: “Evaluación de estado de Equipos de Subestación”, (p.23), MEGGER, 2012

El elemento resistivo en el circuito equivalente representa los vatios de pérdida disipados en el aislamiento cuando se aplica una tensión. El elemento capacitivo representa el capacitor que existe entre la parte que se energiza del equipo, la carcasa y tierra.

En el circuito eléctrico con una tensión AC aplicada los vatios pérdida vienen dados por:

$$Vatios = E \times I_t \times \cos\phi \dots\dots\dots (2)$$

Donde ϕ representa el ángulo de fase entre el voltaje de prueba y la corriente total que fluye por el aislamiento, mientras que el coseno del ángulo ϕ es conocido como el factor de potencia y es igual a:

$$\cos\phi = \frac{Vatios}{(E \times I_t)} \dots\dots\dots (3)$$

De igual forma el ángulo complementario, δ representa el ángulo entre la corriente total y la corriente capacitiva. Para este ángulo existe una relación que se denomina factor de disipación definida como:

$$\text{Tan}_{\delta} = I_r / I_c \dots\dots\dots (4)$$

Lo que en el plano de impedancias implica que:

$$\text{Tan}_{\delta} = R / X_c \dots\dots\dots (5)$$

Por lo que:

$$\text{Tan}_{\delta} = R \times W \times C \dots\dots\dots (6)$$

Para los valores típicos de medición el factor de disipación y el factor de potencia representan exactamente lo mismo. Como curiosidad matemática podemos ver que para valores de δ entre 0° y 20° , medidos en sentido de las agujas del reloj, la Tan_{δ} es aproximadamente igual al $\cos \emptyset$, con valores de \emptyset entre 70° y 90° medidos en sentido contrario a las agujas del reloj. La tabla 6 muestra valores comparativos entre factor de potencia y factor de disipación para diferentes valores de \emptyset y δ . (MEGGER, 2012, p.24)

Tabla 6: Comparación entre el valor de factor de potencia y el factor de disipación

Angulo \emptyset	% Cos \emptyset	Angulo δ	% Tan δ
90	0	0	0
89,71	.5	.29	.5
87,13	5,0	2,87	5,0
84,26	10,0	5,74	10,05
81,37	15	8,63	15,18
80,0	17,36	10	17,63
75,0	25,88	15	26,79
70	34,20	20	36,39

Fuente: "Evaluación de estado de Equipos de Subestación", (p.24), MEGGER, 2012

El factor de potencia vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Factor de Potencia} = \text{Vatios} \times 10 / \text{Miliamperes} \dots\dots\dots (7)$$

El valor de la capacitancia podrá calcularse de la siguiente manera:

$$\text{Capacitancia en picofaradios} = 265 \times \text{Miliamperes} \dots\dots\dots (8)$$

Siempre y cuando el factor de potencia sea menor al 15% y el voltaje de prueba sea 10 kV.

En el caso de que la tensión de prueba sea diferente a 10 kV, la corriente y los vatios de pérdida pueden referirse a 10 kV aplicando las siguientes equivalencias: (MEGGER, 2012, p.24)

$$\text{Corriente eq. a 10kV} = \text{Corriente Leida} \times 10/\text{Tensión de Prueba} \dots\dots (9)$$

$$\text{Vatios eq. a 10kV} = \text{Vatios Leidos} \times 10/(\text{Tensión de prueba}) \dots\dots (10)$$

El resultado no puede ser considerado como concluyente por sí mismo, siempre debe compararse con resultados anteriores con valores referidos al nivel de tensión de pruebas anteriores y a 20 grados centígrados.

5.4.3.1 Modo de Pruebas

5.4.3.1.1 Modo UST

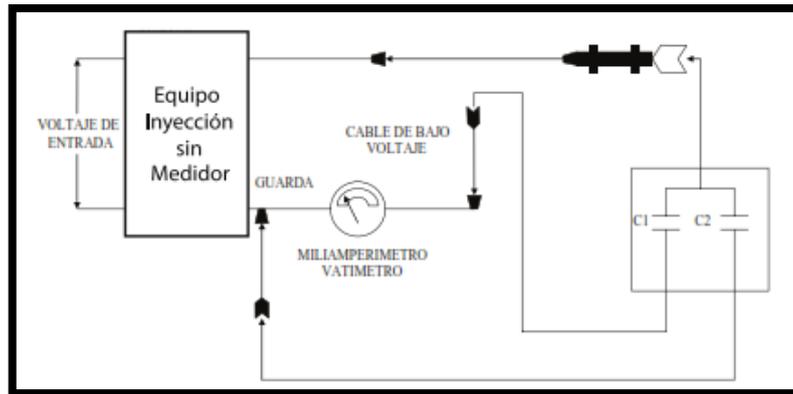
En inglés (Ungrounded Specimen Test), significa prueba con equipo bajo prueba no puesto a tierra, como su nombre lo indica la prueba mide las pérdidas que circulan por el equipo que no se dirigen hacia tierra. (MEGGER, 2012, p.24)

Esta prueba se realiza cuando ambos terminales de espécimen de prueba están aislados con respecto a tierra.

Esta prueba se realiza para mediciones separadas en sistemas complejos de aislamiento, la fig. 23 muestra la forma de conexión del equipo, mide C₁

Figura N° 23:

Prueba de Factor de potencia modo UST



Fuente: *Evaluación de estado de Equipos de Subestación*, (p.25), MEGGER, 2012

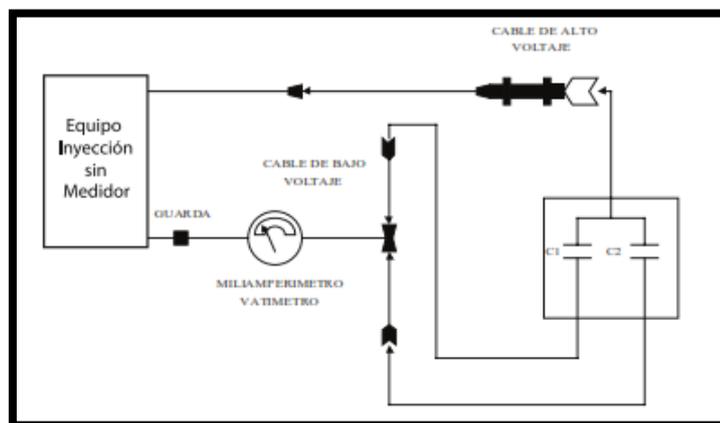
5.4.3.1.2 Modo GST - TIERRA

En inglés (Grounded Specimen Test), tiene como significado: Prueba de un equipo puesto a tierra. La prueba tiene como objeto medir todas las pérdidas que circulan por el equipo y que circula hacia tierra. (MEGGER, 2012, p.25)

Esta conexión de prueba más frecuentemente utilizada e involucra todo el aislamiento entre el conductor de alta tensión y el sistema de puesta a tierra, la fig. 25 muestra la forma de conexión del equipo, mide C_1 y C_2 .

Figura N° 24:

Prueba de Factor de potencia modo GST - Tierra



Fuente: *Evaluación de estado de Equipos de Subestación*, (p.25), MEGGER, 2012

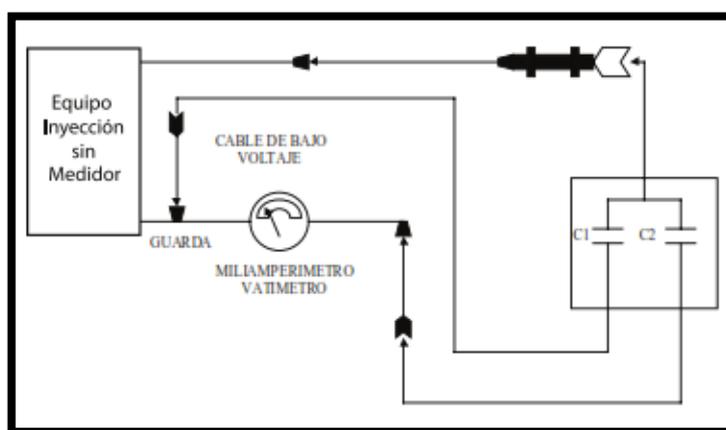
5.4.3.1.3 Modo GST - GUARDA

En este modo solo se miden las pérdidas que circulan hacia tierra obviando la corriente que circula por el cable de baja tensión. (MEGGER, 2012, p.25)

Esta prueba se utiliza para separar los valores totales de la prueba GST en partes separadas para un mejor análisis, la fig. 25 muestra la conexión del equipo bajo prueba, mide C_2

Figura N° 25:

Prueba de Factor de potencia modo GST - Guarda



Fuente: *Evaluación de estado de Equipos de Subestación*, (p.25), MEGGER, 2012

5.4.4 RESISTENCIA DE CONTACTOS

Muchos de los daños de los equipos de interrupción de corriente son causados por resistencia de contacto altas. Problemas de sobrecalentamiento se vuelven cada día más serios debido a las altas corrientes que las redes de transmisión y distribución deben soportar.

Verificar la resistencia de contacto de los equipos de interrupción de corriente periódicamente puede detectar fallas previniendo sobrecalentamiento de los equipos y alargando la vida útil de los mismos.

La prueba de resistencia de contactos se realiza en general a los equipos de interrupción de corriente, como interruptores, y de maniobra, como

seccionadores y cuchillas de puesta a tierra. Eventualmente se realiza esta prueba a las uniones de los barrajes de las subestaciones.

A pesar de que los seccionadores y cuchillas de puesta a tierra normalmente no operan bajo carga, esta prueba es una forma de verificar el ajuste entre ambos contactos y así detectar posibles problemas durante la etapa de montaje y/o la necesidad de un reajuste debido a la excesiva cantidad de maniobras a las que se hallan sometidos equipos de este tipo. La resistencia de contactos se define como el cociente entre la diferencia de potencial entre dos superficies de contacto y la corriente que las atraviesa, en ausencia de toda fuerza electromotriz local. (Mejía, 2003, p.704)

$$R = \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (11)$$

La resistencia de contactos obedece sólo a la parte resistiva de la impedancia, para esto se determina la resistencia de contactos cuando la corriente que circula a través de ellos proviene de una fuente de corriente directa, donde la frecuencia es cero $\omega = 0$.

La resistencia de contactos del interruptor debe ser medida entre los terminales del interruptor cuando esté en posición cerrado; si el interruptor posee varias cámaras, la resistencia de contactos debe ser realizada para cada una de ellas.

En esta prueba se verifica la resistencia a través de los contactos principales del equipo de interrupción de corriente. El principio de funcionamiento del equipo que se utiliza para esta prueba (micro ohmímetro) es el del puente de Wheatstone, inyectando generalmente una corriente de 100 A

Un valor normal de la corriente de prueba es 100 A de corriente continua; este criterio es aplicable tanto a equipos de alta tensión como a equipos de media y baja tensión. La confiabilidad de la prueba aumenta con el valor de corriente de prueba y la precisión del instrumento de medida; a mayor corriente de prueba los resultados obtenidos serán más confiables. La medición debe ser efectuada con corriente continua, midiéndose la caída de tensión o la resistencia, entre los terminales de cada polo. La corriente durante el ensayo debe tener un valor conveniente entre 100 A y la corriente asignada.

La experiencia muestra que un incremento de la resistencia del circuito no se puede considerar por sí solo como evidencia confiable de malos contactos o conexiones. En tal caso, la prueba debería repetirse con una corriente mayor, tan cerca como sea posible a la corriente asignada.

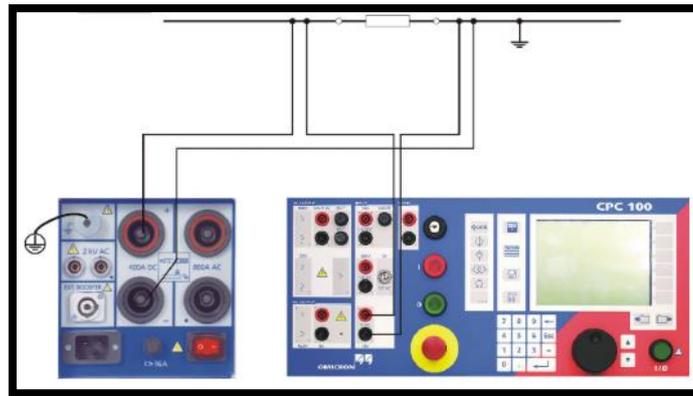
La resistencia medida no deberá exceder 1.2 veces la resistencia medida antes de la prueba de elevación de temperatura R_u . Este dato se puede obtener de los reportes de pruebas en fábrica (pruebas tipo y pruebas de rutina del equipo).

La temperatura ambiente de la prueba debe ser registrada. Durante la prueba, esta temperatura debe estar comprendida entre +10°C y +40°C.

La caída de tensión V en los terminales de un equipo, cuando por él circula una corriente de un valor determinado I , determina la resistencia de contactos entre dos superficies. (Mejía, 2003, p.705)

Figura N° 26:

Conexión típica para prueba de resistencia de contactos



Fuente: *CPC-100 Manual de usuario*, OMICRON, 2015

Los valores de tensión y de corriente deben ser leídos simultáneamente. El equipo de pruebas recoge los valores de la caída de tensión y posee un algoritmo interno el cual entrega el valor de la resistencia de| objeto bajo prueba.

5.4.5 PRUEBA DE RESISTENCIA DE DEVANADOS

La prueba de resistencia de devanados se realiza en corriente continua, esta prueba se realiza a los transformadores de corriente y tensión.

El valor de la resistencia entre los devanados puede revelar una gran cantidad de información referente al mismo: Devanados abiertos, vueltas cortocircuitadas. mal contacto entre el bobinado del transformador y los terminales de alta y baja. (MEGGER, 2012, p.15)

Para la realización de la prueba en campo se utilizan equipos que pueden aplicar corrientes en continua, se recomienda aplicar valores de 0.1 – 0.5 A. Los valores de resistencia de devanados se encuentran en el orden de los microhmios ($m\Omega$).

Los valores obtenidos en la prueba de resistencia de devanados se deben corregir (generalmente a 75°C) y luego se comparan con los valores obtenidos en fabrica.

La corrección del valor de resistencia medido a la temperatura de referencia (especificada por el fabricante) se realiza por medio de la siguiente expresión:

$$R_2 = R_1 \frac{T_2 + K_0}{T_1 + K_0} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

R₁: resistencia medida a la temperatura T₁, Ω

R₂: resistencia la temperatura de referencia T₂, Ω

T₁: temperatura del devanado durante la ejecución de las pruebas, tomada como temperatura ambiente, °C

T₂.: temperatura de referencia, °C

K₀: constante del material; para el cobre 234,5 y para el aluminio 228.

5.4.6 RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN

El objeto de esta prueba es comprobar que el número de espiras devanadas en las bobinas de un transformador, coincida con sus valores de placa y con los valores considerados en el diseño del equipo.

A los transformadores de potencia se les debe probar la relación de transformación en todas las derivaciones de los devanados.

A los transformadores de instrumentación se les debe probar la relación de transformación en todos sus núcleos y en todas las derivaciones de cada núcleo. (Mejía, 2003, p.711)

La prueba puede revelar una gran cantidad de información, tales como espiras cortocircuitadas, circuitos abiertos, conexiones incorrectas.

5.4.7 VERIFICACIÓN DE POLARIDAD

Es necesario realizar la prueba de polaridad a transformadores de corriente y tensión con el fin de determinar el sentido de las cantidades eléctricas (corrientes y tensiones) que alimentan el sistema de protecciones, medida y registro de fallas de una subestación.

La polaridad de un transformador está directamente relacionada con el sentido de arrollamiento de las bobinas del transformador. El fabricante simboliza con un punto el sentido de arrollamiento de la bobina. (Mejía, 2003, p.708)

5.4.8 CURVA DE SATURACIÓN

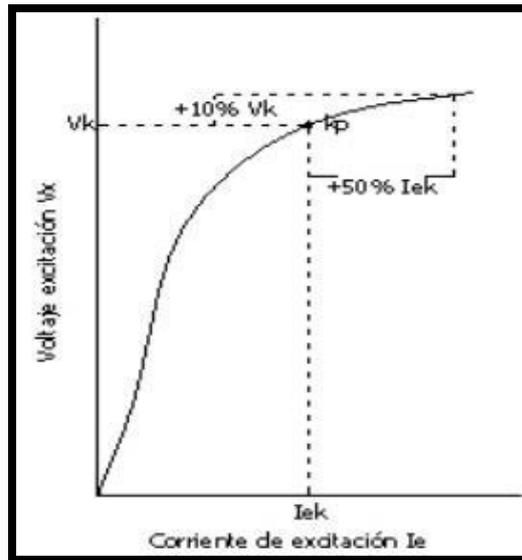
Se requiere hallar las curvas de magnetización para determinar la tensión y la corriente a la cual el núcleo magnético de un transformador comienza a saturarse. El resultado de esta prueba puede ser comparado con las curvas de magnetización presentadas por el fabricante de los equipos con el fin de conocer el equipo que se quiere instalar en una subestación.

Hallar la curva de magnetización de un transformador consiste en inyectar una tensión de corriente alterna a uno de los devanados del transformador cuando el otro devanado se encuentra en vacío (sin carga); para cada tensión inyectada se lee la corriente y se comienza a dibujar la curva de tensión contra corriente de magnetización hasta el punto de saturación.

El punto de saturación es el punto en el cual el núcleo magnético del transformador se empieza a saturar, este punto es conocido como codo de saturación y se da cuando un aumento del 10% de la tensión ocasiona un aumento del 50% de la corriente de magnetización. (Mejía, 2003, p.712)

Figura N° 27:

Curva de Magnetización



Fuente: *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*, (p.713), por Mejía, 2003, Colombia: Impresiones Graficas Ltda.

Para realizar la prueba de curva de saturación de transformadores de corriente, se utiliza una fuente de tensión alterna, la cual inyecta una tensión secundaria al núcleo bajo prueba

La prueba debe ser iniciada aumentando lentamente la tensión desde cero hasta el codo de saturación del transformador de corriente; una vez se tenga el equipo saturado se debe disminuir lentamente la tensión hasta cero.

La variación de tensión debe ser lenta con el fin de que el núcleo del transformador de corriente quede sin flujo remanente, el cual pudo haber sido provocado durante las pruebas del fabricante o durante otra prueba realizada anteriormente.

Una vez se halle el codo de saturación, la corriente debe ser llevada lentamente hasta cero y no debe ser interrumpida en un valor diferente de cero porque la tensión inducida del transformador de corriente podría

dañar el aislamiento del devanado del núcleo bajo prueba. (Mejía, 2003, p.714)

5.4.9 PRUEBA DE TIEMPOS

La prueba de tiempos aplica tanto para interruptores de potencia como para seccionadores de potencia.

5.4.9.1 Prueba de tiempos para interruptores de potencia

Consiste en determinar el tiempo de apertura y cierre del interruptor.

En los interruptores, el tiempo de apertura y cierre es crítico ya que el mismo está ligado a la duración y a la cantidad de energía que puede manejar el interruptor. Durante la secuencia de apertura o cierre, un arco eléctrico aparece entre el contacto móvil y el contacto fijo. Si la apertura o cierre del interruptor no se realiza en el tiempo para el que fue diseñado, la energía asociada al arco eléctrico puede superar la capacidad de disipación de energía térmica del interruptor con el consecuente daño del equipo. Por otra parte, la no extinción a tiempo del arco eléctrico acelera el deterioro de los contactos del interruptor lo cual adelanta el requerimiento de mantenimiento mayor en el mismo. (MEGGER, 2012, p.15)

La prueba de tiempos generalmente consta de cinco tipos de pruebas. Los valores de todas las pruebas de tiempos en los interruptores se encuentran en el orden de los milisegundos (ms); de acuerdo a la norma IEC 600271-1, se tiene las siguientes definiciones:

- **Tiempo de Apertura:** El tiempo de apertura es el intervalo entre que excita el circuito de disparo (bobina de apertura) en

un interruptor que se encuentra en posición cerrada y el instante cuando los contactos se han separado en todos los polos.

- **Tiempo de Cierre:** El tiempo de cierre es el intervalo entre que excita el circuito de cierre (bobina de cierre) en un interruptor que se encuentra en posición abierta y el instante cuando los contactos se tocan en todos los polos.
- **Tiempo de re - cierre:** El tiempo de re-cierre es el intervalo entre la excitación del circuito de disparo (bobina de apertura) y el instante cuando los contactos se tocan en todos los polos durante un ciclo de re-cierre.

Tiempo re-cierre = $t(\text{apert.}) + t(\text{arco}) + t(\text{muerto}) + t(\text{pre-arco})$.

t: tiempo.

- **Tiempo de Cierre - Apertura:** El tiempo de cierre-apertura es el intervalo entre el instante de contacto en el primer polo durante la operación de cierre y el instante cuando los contactos se han separado en todos los polos durante la siguiente operación de apertura.

El circuito de disparo (bobina de apertura) debe de haber sido excitado en el instante cuando los contactos se tocan durante el cierre (operación CA sin ninguna demora de tiempo intencional).

Observación: El tiempo cierre - apertura no es igual a tiempo de cierre + tiempo de apertura.

- **Tiempo de Apertura - Cierre:** El tiempo de apertura-cierre (durante un recierre) es el intervalo entre el instante de separación de contactos en todos los polos y el instante cuando los contactos se tocan en el primer polo en la subsiguiente operación de cierre.

Tiempo apertura-cierre = t (de arco) + t(muerto) + t (de pre-arco)

t: tiempo.

Para realizar las pruebas de tiempos se utiliza un equipo de pruebas denominado analizador de interruptores, el cual posee la capacidad de poder realizar los mandos de apertura y cierre.

5.4.9.2 Prueba de tiempos para seccionadores de potencia.

Consisten en dos tipos de pruebas las cuales se describen a continuación. Los valores de todas las pruebas de tiempos en los seccionadores de potencia se encuentran en (s):

- **Tiempo de Apertura:** Se toma el tiempo a partir de dar el mando eléctrico de apertura desde la caja de mando del seccionador hasta el momento que las cuchillas principales (contactos) se cierran completamente.
- **Tiempo de Cierre:** Se toma el tiempo a partir de dar el mando eléctrico de cierre desde la caja de mando del seccionador hasta el momento que las cuchillas principales (contactos) se abren completamente.

Para realizar las pruebas de tiempos se utiliza un cronometro digital y los mandos eléctricos del seccionador de potencia.

5.4.10 PRUEBA DE DISCREPANCIA DE POLOS

La discrepancia de Polos se da en las pruebas cierre o apertura del interruptor de potencia, esta prueba consiste en evaluar el valor el mayor tiempo contra el menor tiempo, si el resultado obtenido en tal evaluación es menor a 5 ms, se afirmará que la discrepancia es correcta, caso contrario se informa al fabricante para una evaluación especializada.

VI. ORGANIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS LOGRADAS

Los trabajos asignados de ejecución de pruebas eléctricas a los equipos de la subestación Colcabamba 500/220kV se realizaron en base a procedimientos de trabajo establecidos, los cuales se describen a continuación

6.1 CONDICIONES PRELIMINARES ANTES DE LAS PRUEBAS

Previo a iniciar los trabajos de pruebas en cualquier equipo, debemos tener las siguientes consideraciones:

- Obtener los permisos de trabajo correspondientes.
- Contar con el procedimiento de pruebas aprobado por supervisión.
- Las celdas de los circuitos a intervenir deben estar fuera de servicio o des-energizadas, con bloqueo y puesta a tierra “franca” si fuesen necesarios.
- Contar con los diagramas unifilares (actualizados) de la subestación, con la finalidad de identificar los equipos de los circuitos a intervenir.
- Tomar nota de los datos característicos (de placa) del equipo a probar.
- Contar con los manuales, catálogos y resultados de pruebas en fábrica o de rutina (si fue el caso) del equipo a probar, para tener conocimiento de las recomendaciones de prueba dadas por el fabricante y como referencia comparativa a usar durante la evaluación de resultados.
- Verificar que el punto de aterramiento del equipo se encuentre conectada firmemente a la malla de puesta a tierra en la subestación,

de no contar aún con la instalación de las tierras superficiales, estas se conectarán temporalmente para la ejecución de las pruebas.

- Verificar que los terminales de alta tensión están debidamente libres de conexión.
- Verificar que los terminales y aisladores se encuentren completamente limpios, de no ser así deben limpiarse “en seco”, o se utilizará solvente o alcohol isopropílico cuando el caso lo amerita esperando el tiempo prudencial para la evaporación del mismo, cualquier aditivo de función protectora (como: silicona líquida o en gel) será adherida hasta después de finalizadas las pruebas.
- Todo el personal deberá de escuchar la charla de 5 minutos al inicio de cada día de trabajo.
- Se deberá de llenar el AST antes del inicio de cada actividad.

6.1.1 Requisitos Previos

- Verificar y registrar el estado e integridad de los componentes del equipo antes de iniciar las pruebas.
- Uso de grúa con canastilla o manlift para desconectar los cables de alta tensión 500kV y uso de escaleras en caso el equipo sea 220kV.
- Durante todo el proceso de medición, se contará con el apoyo de una grúa con canastilla o manlift más un personal liniero para realizar la limpieza del aislador y la conexión y desconexión de los cables de pruebas en bornes de alta tensión 500kV, en el caso de equipos 220kV, el liniero contará con escalera.

- Durante todo el proceso de limpieza, conexión y desconexión de cables, el personal liniero estará con su arnés y estrobo de posicionamiento.
- El personal liniero contara con una soga y polea (opcional) de servicio.
- Registrar las condiciones climáticas para determinar el factor de corrección por temperatura.

6.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS A EQUIPOS DE PATIO EN LA SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220kV.

6.2.1 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 220kV

6.2.1.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la tangente delta y capacitancia.
- Medición de la relación de transformación y verificación de la polaridad.
- Medición de la resistencia de aislamiento

6.2.1.2 Medición de tangente delta y capacitancia

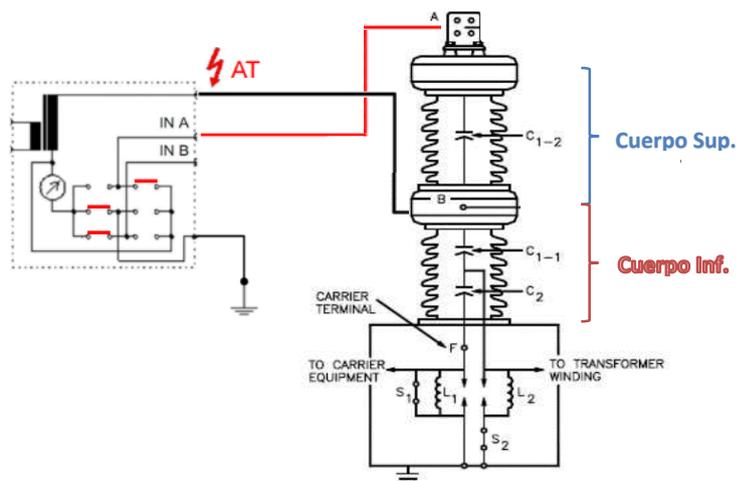
- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC 100 y la unidad CP TD1
- Encender la fuente y el controlador del equipo de prueba. Configurar los datos requeridos por el controlador: serie, marca, tensión, etc. del transformador de tensión.
- Configurar la tensión de prueba, la tensión máxima de prueba será 10kV.
- Verificar los datos, accionar el interruptor de seguridad y el equipo eleva gradualmente la tensión aplicada y

automáticamente realiza las pruebas al valor de tensión prefijado.

- El procedimiento de conexión y los niveles de tensión a usar se resumen en las Figuras N° 28 al N°31.
- El procedimiento de pruebas se resume en la tabla N° 7.

Figura N° 28:

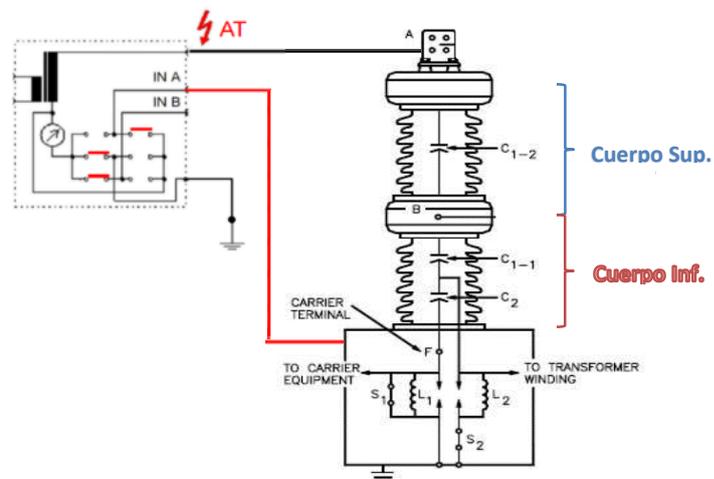
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpos superior e inferior en TT 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 29:

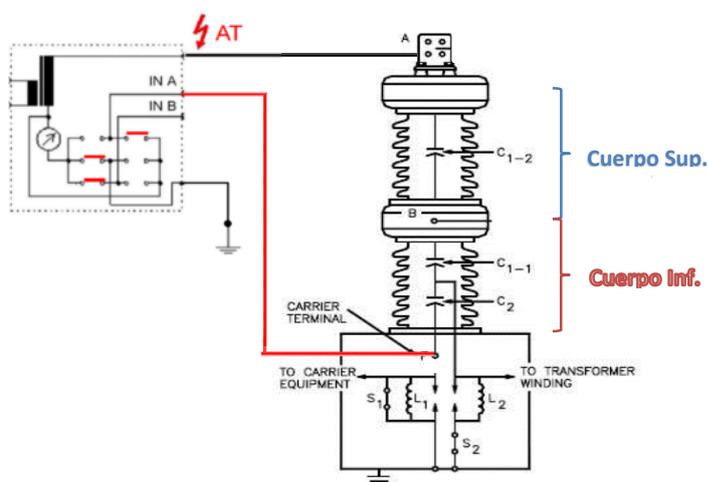
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia Cn o Total en TT 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 30:

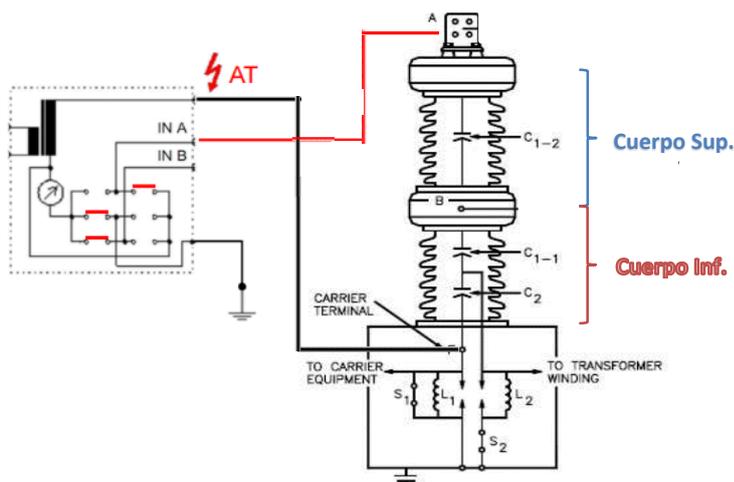
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C1 en TT 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 31:

Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C2 en TT 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Tabla 7: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en transformadores de tensión 220kV

N°	Modo	Prueba a	Energizar	Tierra	Guarda	UST	Mide
1	UST	10 KV	B	---	---	A	Superior
2	GST	10 KV	B	---	A	---	Inferior
3	GST	10 KV	A	---	---	---	General
4	GST	10 KV	A	---	Carrier	---	C1
5	GST	2 KV	Carrier	---	A	---	C2

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.1.2.1 Criterio de aceptación

Según IEC 61869-5¹ (Clausula 7.4.3): El Factor de disipación dieléctrica $\tan\delta$ (FP) medido tendrá un valor $\leq 0.5\%$, y el valor de la capacitancia (C_p), guardará relación con el valor obtenido en las pruebas FAT.

6.2.1.3 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad

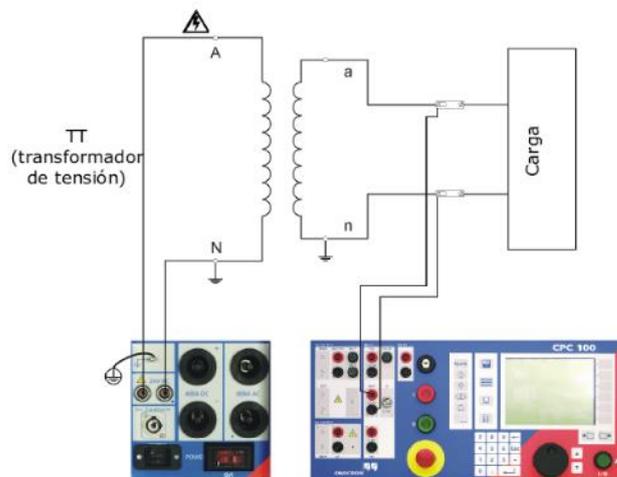
- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC-100; para ello se debe seleccionar la tarjeta correspondiente (relación TT) para transformadores de tensión.
- Esta medición se realiza inyectando tensión en el borne primario del transformador, hasta un nivel máximo de 2kV.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 32.
- Configurar la tensión de prueba, verificar datos.
- Accionar el pulsador I/O para inyectar la tensión seleccionada desde la salida 2kV AC, tal como se indica en la figura 32. Las pruebas se realizan al valor de tensión prefijado
- Las mediciones se realizan considerando todos los devanados secundarios.

¹ Instrument transformers - Part 5: Additional requirements for capacitor voltage transformers

- Al obtener el porcentaje de error y verificar la polaridad, el equipo finaliza la prueba automáticamente y almacena los resultados.
- Para verificar la polaridad, el equipo indicará correcto o incorrecto.

Figura N° 32:

Conexión para medición de relación de transformación y verificación de polaridad en transformadores de tensión.



Fuente: *CPC-100 Manual de usuario*, OMICRON, 2015

6.2.1.3.1 Criterio de aceptación

Según IEC 61869-5 (Tabla 501 para núcleos de medida y Tabla 502 para núcleos de protección): Los valores límites de porcentaje de error se resumen en las tablas N° 1 y 2.

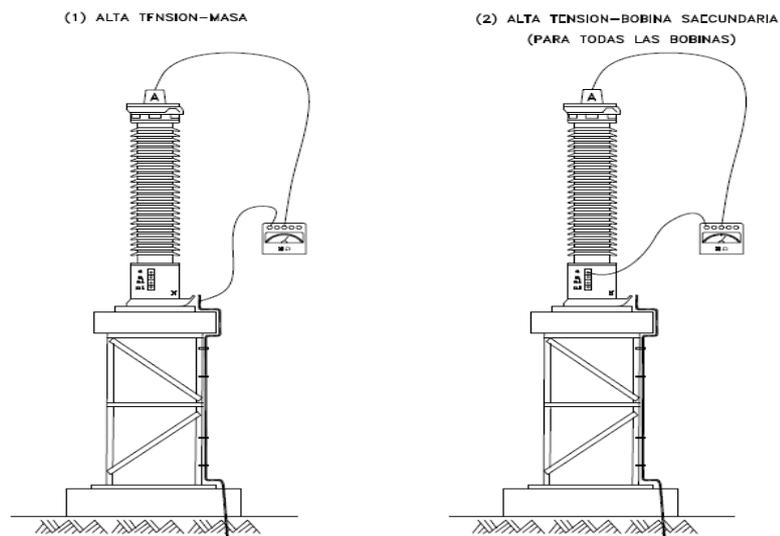
6.2.1.4 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 33.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA, ver tabla N° 8

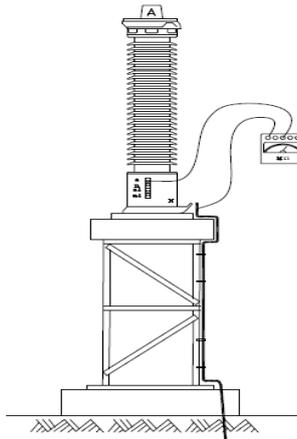
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrar las bobinas del transformador con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.
- El número de mediciones depende de las siguientes conexiones:
 - Alta tensión vs. Tierra
 - Alta tensión vs. Cada devanado secundario
 - Cada devanado secundario vs. Tierra
 - Entre devanados secundarios

Figura N° 33:

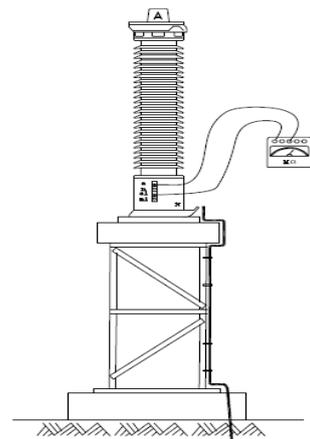
Conexión para medición de resistencia de aislamiento en TT 220kV



(3) BOBINA SECUNDARIA-MASA
(PARA TODAS LAS BOBINAS)



(4) ENTR. BOBINAS BOBINAS SECUNDARIA
(PARA TODAS LAS BOBINAS)



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.1.4.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.5 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N°5):

- ❖ Para inyecciones por el lado primario $\geq 5000 \text{ M}\Omega$ (5 G Ω)
- ❖ Para inyecciones desde el lado secundario $\geq 100 \text{ M}\Omega$ (0.1G Ω)

Tabla 8: Valores mínimos de resistencia de aislamiento en transformadores recomendados por la norma NETA

Transformer Coil Rating Type in Volts	Minimum DC Test Voltage	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms	
		Liquid Filled	Dry
0 - 600	1000	100	500
601 - 5000	2500	1000	5000
Greater than 5000	5000	5000	25000

Fuente: Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems (ANSI/NETA ATS-2015), (p.209)

6.2.2 PARARRAYOS 198kV

6.2.2.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

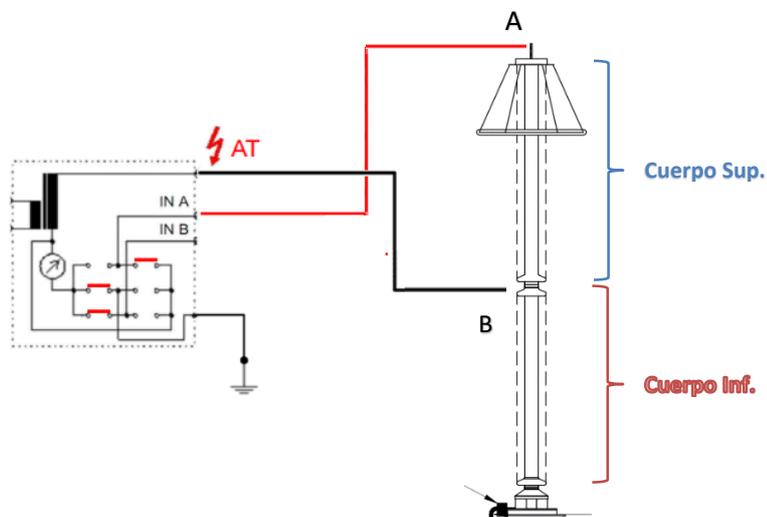
- Medición de la corriente de fuga, pérdidas y capacitancia por el método de tangente delta.
- Medición de la resistencia de aislamiento.

6.2.2.2 Medición de corriente de fuga, pérdida y capacitancia por el método de tangente delta

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC 100 y la unidad CP TD1
- En caso de que los pararrayos sean aterrizados a través de los detectores de corriente de fuga o contador de descarga; el contador deberá conectarse en corto circuito y aterrado.
- Encender la fuente y el controlador del equipo de prueba. Configurar los datos requeridos por el controlador: serie, marca, tensión, etc. del pararrayo.
- Configurar la tensión de prueba, la tensión máxima de prueba es de 10kV.
- Verificar los datos, accionar el interruptor de seguridad y el equipo eleva gradualmente la tensión aplicada y automáticamente realiza las pruebas al valor de tensión prefijado.
- El procedimiento de conexión se resume en la figura N° 34 y 35; y tabla N°9
- Al desactivar el interruptor de seguridad el equipo descargará automáticamente “a tierra” el pararrayo probado.

Figura N° 34:

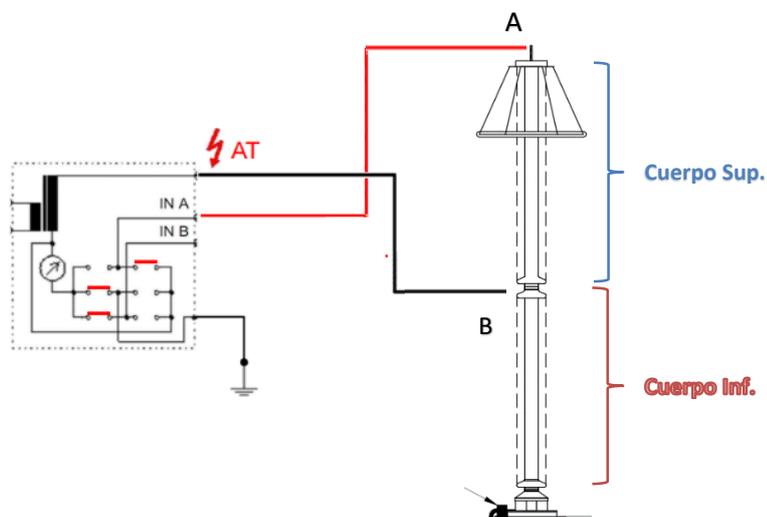
Conexión para medición de tangente delta y perdidas en cuerpos superior e inferior en Pararrayos 198kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 35:

Conexión para medición de tangente delta y pérdidas total en Pararrayos 198kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Tabla 9: Procedimiento para medición de tangente delta y pérdidas en pararrayos 198kV

N°	Modo	Prueba a	Energizar	Tierra	Guarda	UST	Mide
1	UST	10 KV	B	---	---	A	Superior
2	GST	10 KV	B	---	A	---	Inferior
3	GST	10 KV	A	---	---	---	General

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.2.2.1 Criterio de aceptación

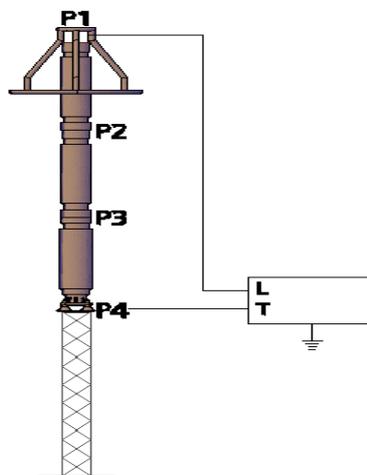
Los resultados deben ser comparados con los valores obtenidos en fábrica (si los hay), o con resultados de pruebas a equipos similares.

6.2.2.3 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 36.
- En caso de que los pararrayos sean aterrizados a través de los detectores de corriente de fuga o contador de descarga; el detector o contador deberá conectarse en corto circuito y aterrado.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 36:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en pararrayos 198kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.2.3.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100\ 000\ \text{M}\Omega$ (100 G Ω)

Tabla 10: Valores mínimos de resistencia de aislamiento en equipos eléctricos recomendados por la norma NETA

Insulation Resistance Test Values Electrical Apparatus and Systems Other Than Rotating Machinery

Nominal Rating of Equipment in Volts	Minimum Test Voltage, DC	Recommended Minimum Insulation Resistance in Megohms
250	500	25
600	1,000	100
1,000	1,000	100
2,500	1,000	500
5,000	2,500	1,500
8,000	2,500	2,500
15,000	2,500	5,000
25,000	5,000	10,000
34,500	5,000	100,000
46,000 and above	5,000	100,000

Fuente: Standard for Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems (ANSI/NETA ATS-2015), (p.209)

6.2.3 INTERRUPTORES DE POTENCIA 220kV

6.2.3.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento.
- Medición de la tangente delta y capacitancia.
- Medición de la resistencia de contactos
- Medición de tiempos de apertura y cierre.
- Medición de la corriente del motor al cierre y apertura del seccionador

6.2.3.2 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- El interruptor debe estar en posición abierto.
- Realizar las conexiones de prueba tal como se muestra en la tabla N° 11 y figura N° 37.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Como referencia de valores límites se muestran en la tabla N° 10.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

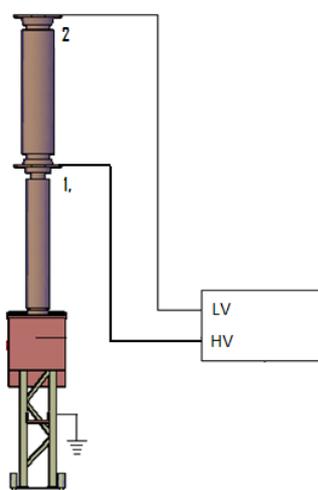
Tabla 11: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en Interruptor 220kV

N° Prueba	Conexión		Mide
	L	T	
1	1	2	Cámara
2	1	tierra	Aislador soporte

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 37:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en Interruptor 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.3.2.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100000 \text{ M}\Omega$ (100 G Ω) - tabla 10

6.2.3.3 Medición de tangente delta y capacitancia

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC 100 y la unidad CP TD1
- Encender la fuente y el controlador del equipo de prueba. Configurar los datos requeridos por el controlador: serie, marca, tensión, etc. del interruptor de potencia.

- Configurar la tensión de prueba, la tensión máxima de prueba será 10kV.
- Verificar los datos, accionar el interruptor de seguridad y el equipo eleva gradualmente la tensión aplicada y automáticamente realiza las pruebas al valor de tensión prefijado.
- El procedimiento de conexión de pruebas se resume en la tabla N° 12 y en la figura N° 38

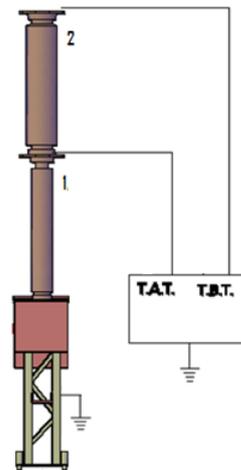
Tabla 12: Conexión para medición de tangente delta en Interruptor 220kV

N° de Prueba	Posición Interruptor	Modo de prueba	Conexión		Mide
			HV	LV	
1	Abierto	UST	1	2	Cámara
2	Abierto	GSTg	1	2	Aislador Soporte

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 38:

Conexión para medición de tangente delta en Interruptor 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.3.3.1 Criterio de aceptación

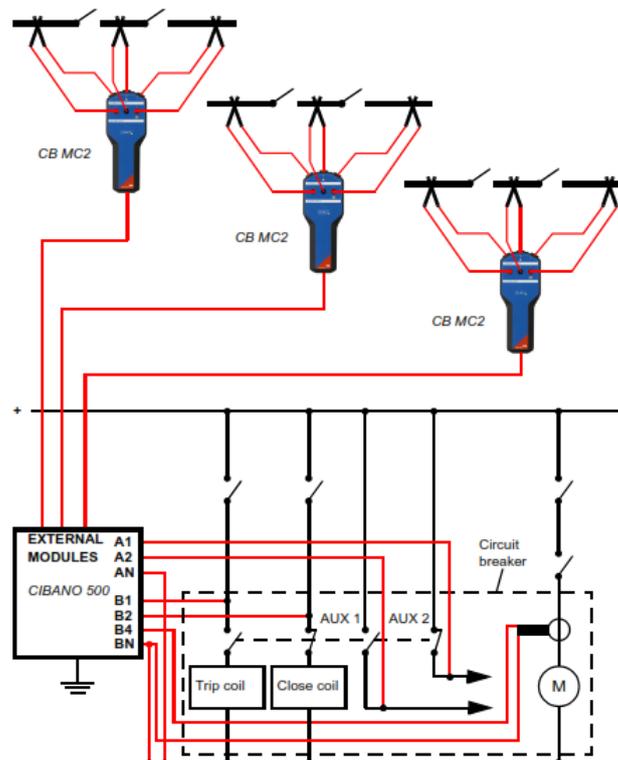
Según ANSI/NETA ATS 2015 (Clausula 7.6.4): El Factor de disipación dieléctrica $\tan\delta$ (FP) y el valor de la capacitancia (C_p), deberán ser $\pm 10\%$ de los valores de fabrica

6.2.3.4 Medición de resistencia de contactos

- Esta prueba se realiza con el equipo de pruebas de interruptores CIBANO 500; y usando el software Primary Test Manager.
- El interruptor debe estar en posición cerrado
- Configurar los parámetros de prueba.
- Realizar las conexiones de prueba tal como se muestra en la figura N° 39.
- Accionar el pulsador de inicio de medición para inyectar la corriente seleccionada e iniciar el proceso de medición
- Durante la medición se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 39:

Conexión para medición de resistencia de contactos en Interruptor 220kV



Fuente: *CIBANO 500 Getting Started*, OMICRON, 2015

6.2.3.4.1 Criterio de aceptación

Según IEC 62271-100:2011¹ (Clausula 7.3): Desviación no mayor al 20% con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT,

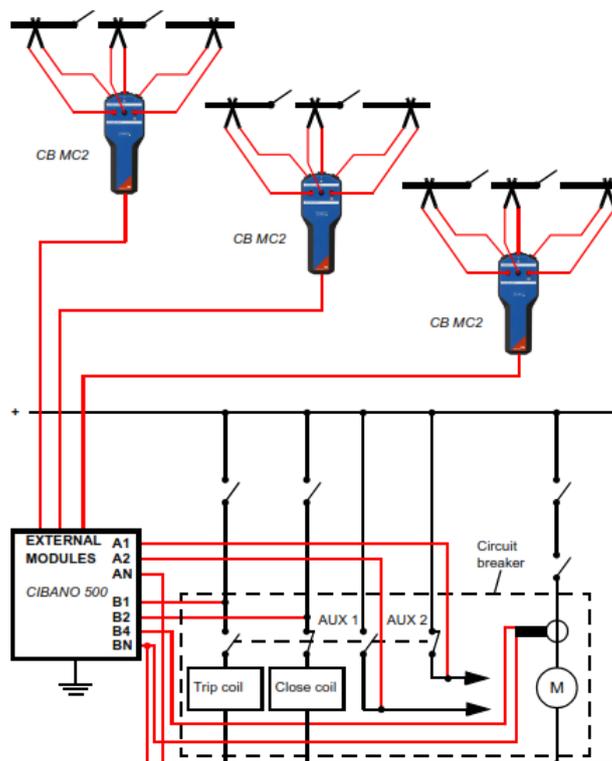
6.2.3.5 Medición de tiempos de apertura y cierre, corriente de la bobina de cierre y apertura, corriente del motor

- Esta prueba se realiza con el equipo de pruebas de interruptores CIBANO 500; y usando el software Primary Test Manager.
- Debe estar habilitado el mando eléctrico del interruptor.
- Identificar en el plano el circuito de control de la bobina de cierre y apertura del motor, ubicado dentro de la caja de mando.
- Uno de los beneficios del uso del equipo de pruebas CIBANO 500 es que se pueden realizar diversas pruebas con la misma conexión y a las tres fases (sin necesidad de re cablear), ver figura N° 40
- Configurar los parámetros de prueba.
- Accionar el pulsador de inicio de medición para iniciar el proceso de medición
- El equipo medirá los tiempos de operación y las corrientes medidas en las bobinas y motor.

¹ High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating-current circuit-breakers

Figura N° 40:

Conexión para medición de resistencia de contactos en Interruptor 220kV



Fuente: *CIBANO 500 Getting Started*, OMICRON, 2015

6.2.3.5.1 Criterio de aceptación

Los valores de referencia de los tiempos de operación y las tolerancias, serán tomados del protocolo de pruebas FAT.

Según IEC 62271-100:2011 (clausula 5.101): El tiempo de discrepancia entre polos para el cierre debe ser menor a un cuarto de ciclo ($<1/4$ ciclo) de la frecuencia y para la apertura deberá ser menor a un sexto de ciclo ($<1/6$ ciclo)

6.2.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 220kV

6.2.4.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la tangente delta y capacitancia.
- Medición de la relación de transformación y verificación de la polaridad.

- Medición de la curva de saturación.
- Medición de la resistencia eléctrica en los devanados secundarios.
- Medición de la resistencia de aislamiento

6.2.4.2 Medición de tangente delta y capacitancia

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC 100 y la unidad CP TD1
- Cortocircuitar los terminales del lado primario entre sí, tal como se indica en la figura N° 41
- Encender la fuente y el controlador del equipo de prueba. Configurar los datos requeridos por el controlador: serie, marca, tensión, etc. del transformador de corriente 220kV.
- Configurar la tensión de prueba, la tensión máxima de prueba será 10kV.
- Verificar los datos, accionar el interruptor de seguridad y el equipo eleva gradualmente la tensión aplicada y automáticamente realiza las pruebas al valor de tensión prefijado.
- Para la inyección por el lado de A.T., los terminales de baja tensión deben estar cortocircuitados entre si y conectados a tierra.
- El procedimiento de pruebas y los niveles de tensión a usar se resumen en la tabla N° 13.
- Si el transformador cuenta con Tap de prueba realizar la medición N° 2 y 3

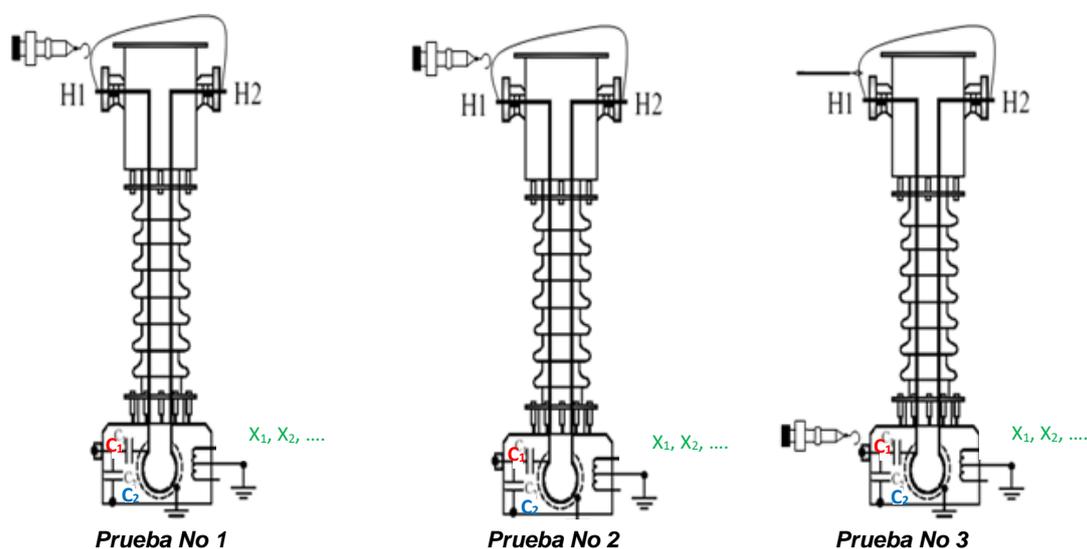
Tabla 13: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en Transformadores de corriente 220kV

N°	Modo	Prueba a	Energizar	Tierra	Guarda	UST	Mide
1	GST	10 KV	H1-H2	x1, x2,..	---	---	General
Pruebas Adicionales solo si cuenta con Tap de pruebas. (Ver figura 1)							
2	UST	10 KV	H1-H2	x1, x2,..	---	Tap	C1
3	GST	2 KV	Tap	x1, x2,..	H1-H2	---	C2

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 41:

Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en transformadores de corriente 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.4.2.1 Criterio de aceptación

Según IEC 61869-1¹ (Clausula 7.4.3): El Factor de disipación dieléctrica $\tan\delta$ (FP) medido tendrá un valor $\leq 0.5\%$, y el valor de la capacitancia (C_p), guardará relación con el valor obtenido en las pruebas FAT.

¹ Instrument transformers - Part 1: General Requirements

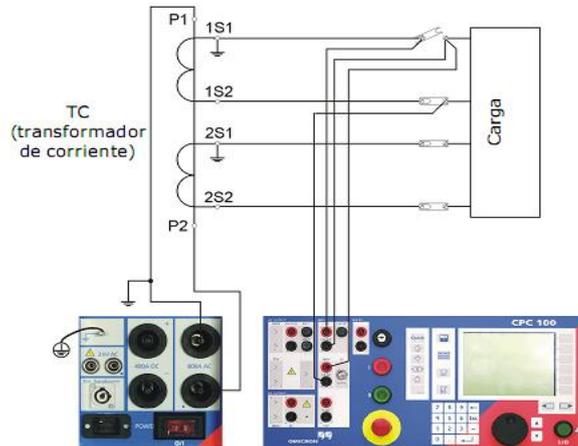
6.2.4.3 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad

- Esta prueba se realiza con el equipo de pruebas CPC-100; para ello se debe seleccionar la tarjeta correspondiente (relación TC).
- Esta medición se realiza inyectando corriente en el borne primario del transformador.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 42.
- Asegurarse que los devanados secundarios que no se encuentran bajo prueba no se encuentren abiertos.
- Aplique una corriente como mínimo de 5% I_n y como máximo de 120 % I_n , (para un mejor conocimiento de la corriente de prueba consultar con pruebas de fábrica) y realice las medidas en el equipo de prueba, verificando la relación de transformación teórica.
- Accionar el pulsador I/O para inyectar la corriente seleccionada desde la salida 800 A AC, tal como se indica en la figura N° 42. Las pruebas se realizan al valor de corriente prefijado
- Al obtener el porcentaje de error y verificar la polaridad, el equipo finaliza la prueba automáticamente y almacena los resultados.
- Las mediciones se realizan considerando todos los devanados secundarios.

- Para verificar la polaridad, el equipo indicará correcto o incorrecto.

Figura N° 42:

Conexión para medición de relación de transformación y verificación de polaridad en transformadores de corriente



Fuente: *CPC-100 Manual de usuario*, OMICRON, 2015

6.2.4.3.1 Criterio de aceptación

Según IEC 61869-2 (Tabla 200.1 y 200.2 para núcleos de medida; y Tabla 200.3 para núcleos de protección): Los valores límites de porcentaje de error se resumen en las tablas N° 3 y 4.

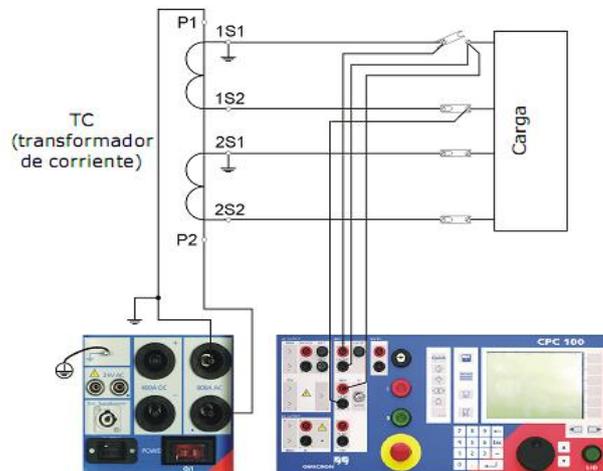
6.2.4.4 Medición de curva de saturación (punto de inflexión)

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC-100; para ello se debe seleccionar la tarjeta correspondiente (Excitación TC) para transformadores de corriente.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 43.
- Configurar la tensión de prueba, corriente límite y norma de evaluación. La tensión máxima de prueba es de 2kV AC y se aplica al devanado secundario.

- Accionar el pulsador I/O para inyectar la tensión seleccionada desde la salida 2kV AC, tal como se indica en la figura 43. Las pruebas se realizan automáticamente al valor de tensión prefijado.
- Al obtener la curva de excitación y los puntos de inflexión, el equipo finaliza la prueba automáticamente y almacena los resultados.
- Luego de terminada la prueba el equipo automáticamente desmagnetiza el transformador
- Las mediciones se realizan considerando todos los devanados secundarios.

Figura N° 43:

Conexión para medición de curva de saturación en transformadores de corriente



Fuente: *CPC-100 Manual de usuario*, OMICRON, 2015

6.2.4.4.1 Criterio de aceptación

Las curvas de saturación obtenidas en campo deberán guardar similitud con las curvas de saturación obtenidas en fábrica.

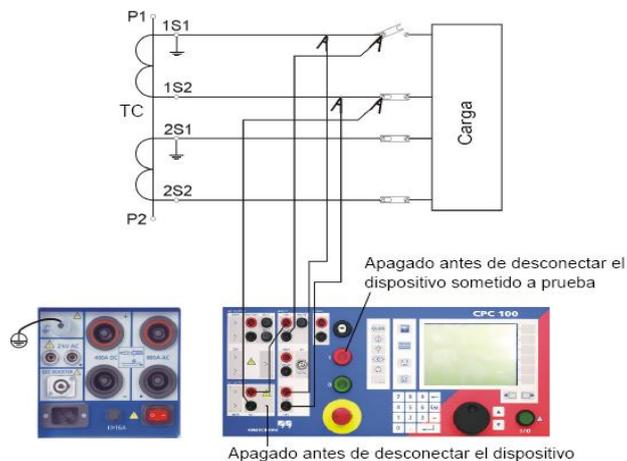
Como regla general, los devanados para medida se saturan a menor tensión que los devanados para protección.

6.2.4.5 Medición de resistencia de devanados

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC-100 y para ello se debe seleccionar la tarjeta correspondiente (Resistencia de devanado).
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 44.
- Seleccionar la corriente de pruebas y verificar datos. La corriente de prueba por defecto es de 5A DC (esto depende de la magnitud de referencia de la resistencia a medir)
- Accionar el pulsador I/O para que se inyecte la corriente desde la salida 6A DC, tal como se indica en la figura N° 44. Las pruebas se realizan automáticamente al valor de corriente prefijado.
- Las mediciones se realizan considerando todos los devanados secundarios.

Figura N° 44:

Conexión para medición de resistencia de devanados en transformadores de corriente.



Fuente: *CPC-100 Manual de usuario*, OMICRON, 2015

6.2.4.5.1 Criterio de aceptación

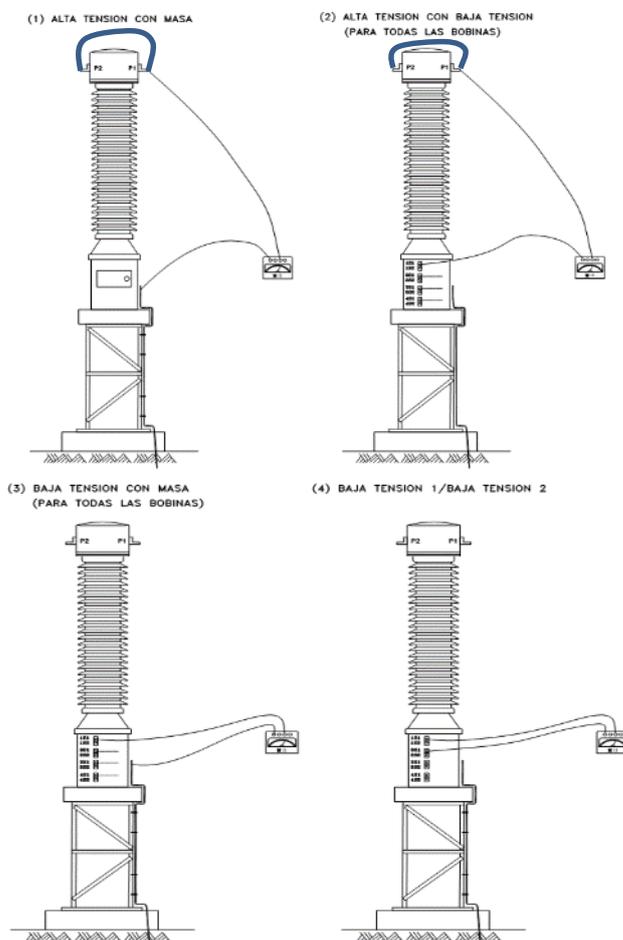
Según IEC 61869-2 Los valores obtenidos deberán ser referidos a 75°C y guardarán similitud con los valores obtenidos en las pruebas FAT

6.2.4.6 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 45.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.
- El número de mediciones depende de las siguientes conexiones:
 - Alta tensión vs. Tierra
 - Alta tensión vs. Cada núcleo secundario
 - Cada núcleo secundario vs. Tierra
 - Entre núcleos secundarios

Figura N° 45:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.4.6.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.5 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

Según tabla N° 8:

- ❖ Para inyecciones por el lado primario $\geq 5000 \text{ M}\Omega$ (5 G Ω)
- ❖ Para inyecciones desde el lado secundario $\geq 100 \text{ M}\Omega$ (0.1G Ω)

6.2.5 REACTOR LIMITADOR DE CORRIENTE 220kV

6.2.5.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

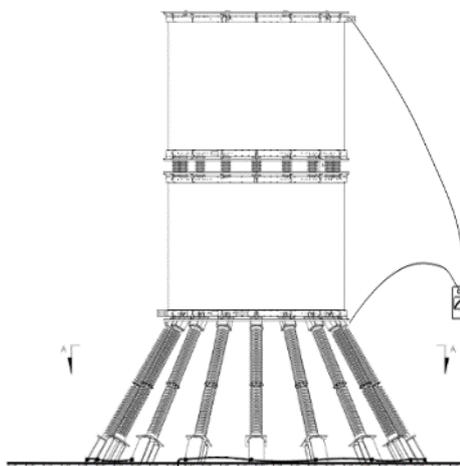
- Medición de la resistencia de aislamiento

6.2.5.2 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 47.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.
- La medición del aislamiento se realizará entre el devanado y masa (tierra)

Figura N° 46:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en reactor limitador de corriente 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.5.2.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100000 \text{ M}\Omega$ (100 $\text{G}\Omega$) - tabla 10

6.2.6 SECCIONADORES SEMI PANTÓGRAFO 220kV

6.2.6.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento.
- Medición de la resistencia de contactos
- Medición de tiempos de apertura y cierre.
- Medición de la corriente del motor al cierre y apertura del seccionador

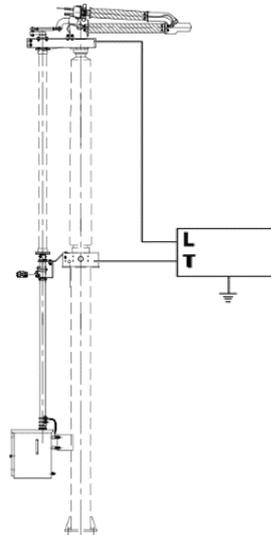
6.2.6.2 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 47.
- El Seccionador debe estar en posición abierto.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.

- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 47:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en seccionador semi pantógrafo 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.6.2.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100000 \text{ M}\Omega$ (100 G Ω) - tabla 10

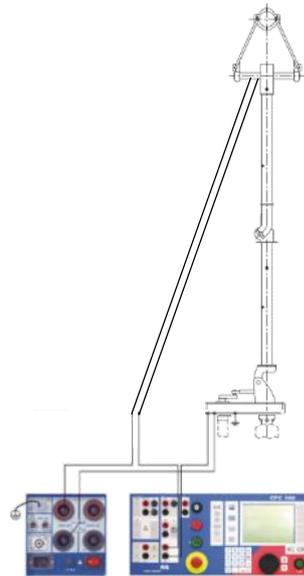
6.2.6.3 Medición de resistencia de contactos

- Esta prueba se realiza con el equipo OMICRON CPC-100, y para ello se debe seleccionar la tarjeta correspondiente (Resistencia).
- El seccionador de potencia debe estar totalmente calibrado
- El Seccionador debe estar en posición cerrado (previamente debe haberse cerrado con mando eléctrico)

- Configurar los parámetros de prueba.
- Accionar el pulsador I/O para inyectar la corriente seleccionada desde la salida 400A DC, tal como se indica en la figura N° 48. Las pruebas se realizan al valor de corriente prefijado
- Durante la medición se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 48:

Conexión para medición de resistencia de contacto en seccionador semi pantógrafo 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.6.3.1 Criterio de aceptación

Según IEC 62271-102:2011¹ (Clausula 6.4): Desviación no mayor al 20 % con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT,

¹ High-voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating-current disconnectors and earthing switches

6.2.6.4 Medición de tiempos de apertura y cierre del seccionador

- Estas pruebas se realizan con un cronómetro
- Debe estar habilitado el mando eléctrico del seccionador.
- La medición depende de la habilidad y rapidez de la persona humana.
- **Para medir el tiempo de cierre;** en principio el seccionador debe estar en posición abierto, mediante el mando eléctrico pulsar la botonera de cierre ubicado en la caja de control, y al mismo tiempo presionar el botón de inicio del cronómetro, en seguida se observa físicamente el cierre del seccionador o en todo caso oír la culminación de operación del fin de carrera (el cual es accionado por el motor); inmediatamente a esto, presionar el botón finalizar del cronometro quedando el tiempo detenido y observándose en la pantalla.
- **Para medir el tiempo de apertura;** en principio el seccionador debe estar en posición cerrado, mediante el mando eléctrico pulsar la botonera de apertura ubicado en la caja de control, y al mismo tiempo presionar el botón de inicio del cronómetro, en seguida se observa físicamente la apertura total del seccionador o en todo caso oír la culminación de operación del fin de carrera (el cual es accionado por el motor); inmediatamente a esto, presionar el botón finalizar del cronometro quedando el tiempo detenido y observándose en la pantalla.

6.2.6.4.1 Criterio de aceptación

El tiempo de operación (valor esperado) será menor o igual al indicado en las características técnicas garantizadas del fabricante

6.2.6.5 Medición de la corriente del motor

- Esta prueba se realiza con una pinza Amperimétrica.
- Debe estar habilitado el mando eléctrico del seccionador.
- Identificar en el plano el circuito de control del motor ubicado dentro de la caja de mando.
- Colocar la pinza Amperimétrica en uno de los bornes del circuito de control del motor.
- **Para medir la corriente del motor al cierre del seccionador;** en principio el seccionador debe estar en posición abierto, mediante el mando eléctrico pulsar la botonera de cierre ubicado dentro de la caja de mando y al mismo tiempo visualizar en la pantalla de la pinza Amperimétrica la corriente máxima y nominal durante el proceso de cierre.
- **Para medir la corriente del motor en la apertura del seccionador;** en principio el seccionador debe estar en posición cerrado, mediante el mando eléctrico pulsar la botonera de apertura ubicado dentro de la caja de mando y al mismo tiempo visualizar en la pantalla de la pinza Amperimétrica la corriente máxima y nominal durante el proceso de apertura.

6.2.6.5.1 Criterio de aceptación

Los valores esperados serán tomados de la placa características del mecanismo de accionamiento

6.2.7 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 220kV

6.2.7.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento.
- Medición de la resistencia de contactos
- Medición de tiempos de apertura y cierre.
- Medición de la corriente del motor al cierre y apertura del seccionador

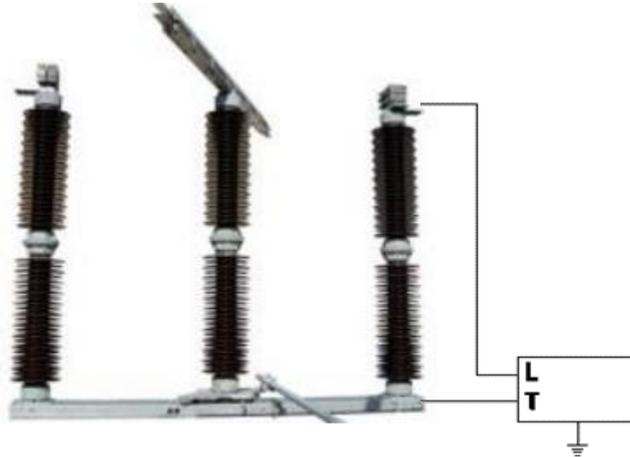
6.2.7.2 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- El Seccionador debe estar en posición abierto.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 49.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- El proceso de medición se realiza en las tres fases y en cada aislador (3 aisladores por fase).
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.

- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 49:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en seccionador doble apertura 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.7.2.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100000 \text{ M}\Omega$ (100 G Ω) - tabla 10

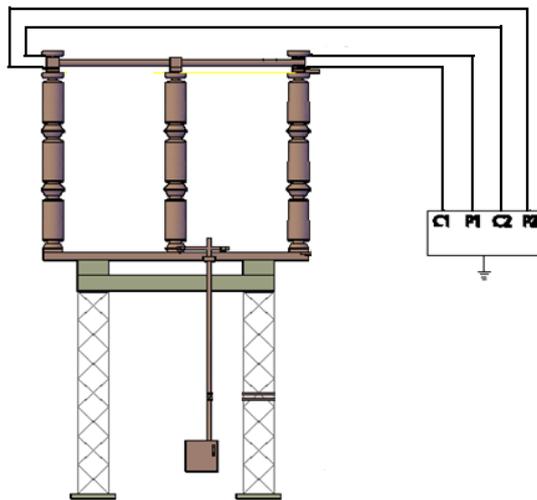
6.2.7.3 Medición de resistencia de contactos

- Esta prueba se realiza con el equipo OMICRON CPC-100, y para ello se debe seleccionar la tarjeta correspondiente (Resistencia).
- El seccionador de potencia debe estar totalmente calibrado
- El Seccionador debe estar en posición cerrado
- Configurar los parámetros de prueba.

- Accionar el pulsador I/O para inyectar la corriente seleccionada desde la salida 400A DC, tal como se indica en la figura N° 50. Las pruebas se realizan al valor de corriente prefijado
- Durante la medición se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 50:

Conexión para medición de resistencia de contacto en seccionador doble apertura 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.7.3.1 Criterio de aceptación

Según IEC 62271-100:2011¹ (Clausula 7.3): Desviación no mayor al 20 % con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT,

6.2.7.4 Medición de tiempos de apertura y cierre del seccionador

- El procedimiento para esta prueba es el mismo para todos los seccionadores (ver acápite 6.2.6.4)

¹ High-voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating-current circuit-breakers

6.2.7.5 Medición de la corriente del motor

- El procedimiento para esta prueba es el mismo para todos los seccionadores (ver acápite 6.2.6.5)

6.2.8 CAPACITOR SHUNT 220kV

6.2.8.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la tangente delta y capacitancia.
- Medición de la resistencia de aislamiento

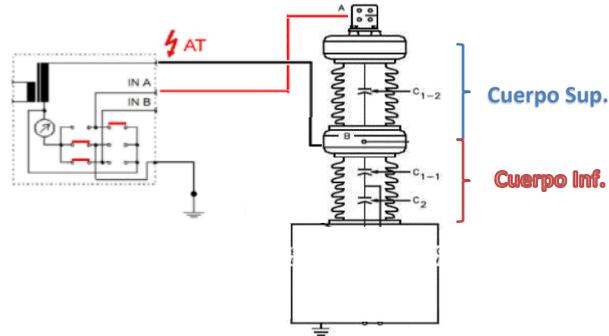
6.2.8.2 Medición de tangente delta y capacitancia

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC 100 y la unidad CP TD1
- Encender la fuente y el controlador del equipo de prueba. Configurar los datos requeridos por el controlador: serie, marca, tensión, etc. del capacitor Shunt.
- Configurar la tensión de prueba, la tensión máxima de prueba será 10kV.
- Verificar los datos, accionar el interruptor de seguridad y el equipo eleva gradualmente la tensión aplicada y automáticamente realiza las pruebas al valor de tensión prefijado.
- El procedimiento de conexión y los niveles de tensión a usar se resumen en las Figuras N° 51 y 52.
- El procedimiento de pruebas se resume en la tabla N° 14.
- Al desactivar el interruptor de seguridad el equipo descargará automáticamente “a tierra” el transformador probado.

- Los resultados deben ser comparados con los valores obtenidos en fábrica (si los hay), o con resultados de pruebas a equipos similares.

Figura N° 51:

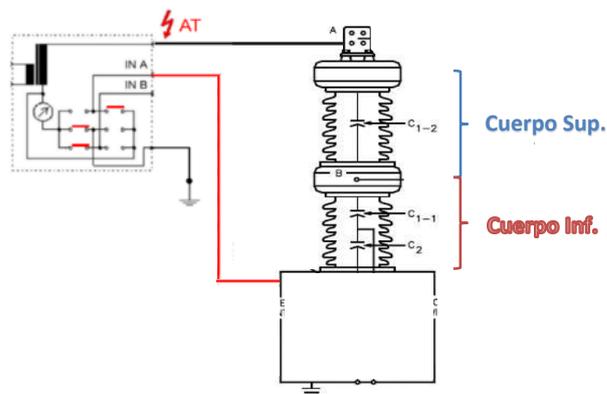
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpos superior e inferior de capacitor Shunt 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 52:

Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_n o total de capacitor Shunt 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Tabla 14: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en Capacitor Shunt 220kV

N°	Modo	Prueba a	Energizar	Tierra	Guarda	UST	Mide
1	UST	10 KV	B	---	---	A	Superior
2	GST	10 KV	B	---	A	---	Inferior
3	GST	10 KV	A	---	---	---	General

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.8.2.1 Criterio de aceptación

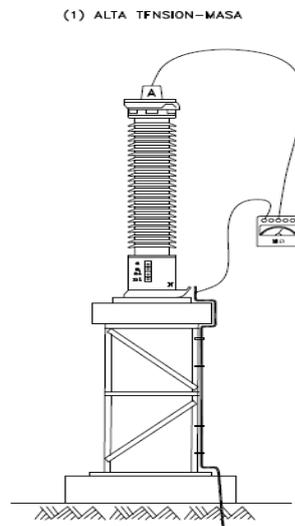
Según ANSI/NETA ATS 2015 (Clausula 7.20.3.2): El Factor de disipación dieléctrica $\tan\delta$ (FP) y el valor de la capacitancia (Cp), deberán guardar relación con los valores obtenidos en fabrica.

6.2.8.3 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 53.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar las bobinas del transformador con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Como referencia de valores límites se muestran en la tabla N° 10.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.
- La medición a efectuar será la siguiente:
 - Alta tensión vs. Tierra

Figura N° 53:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en capacitor Shunt 220kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.8.3.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100000 \text{ M}\Omega$ (100 G Ω) - tabla 10

6.2.9 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 500kV

6.2.9.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la tangente delta y capacitancia.
- Medición de la relación de transformación y verificación de la polaridad.
- Medición de la resistencia de aislamiento

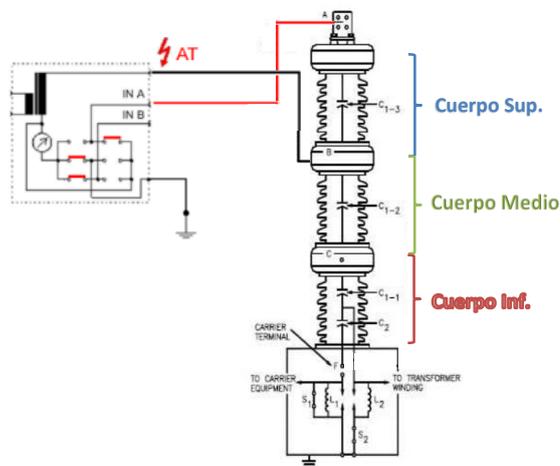
6.2.9.2 Medición de tangente delta y capacitancia

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC 100 y la unidad CP TD1

- Encender la fuente y el controlador del equipo de prueba. Configurar los datos requeridos por el controlador: serie, marca, tensión, etc. del transformador de tensión.
- Configurar la tensión de prueba, la tensión máxima de prueba será 10kV.
- Verificar los datos, accionar el interruptor de seguridad y el equipo eleva gradualmente la tensión aplicada y automáticamente realiza las pruebas al valor de tensión prefijado.
- El procedimiento de conexión y los niveles de tensión a usar se resumen en la Figura N° 54 a 58.
- El procedimiento de pruebas se resume en la tabla N° 15.
- Al desactivar el interruptor de seguridad el equipo descargará automáticamente “a tierra” el transformador probado.

Figura N° 54:

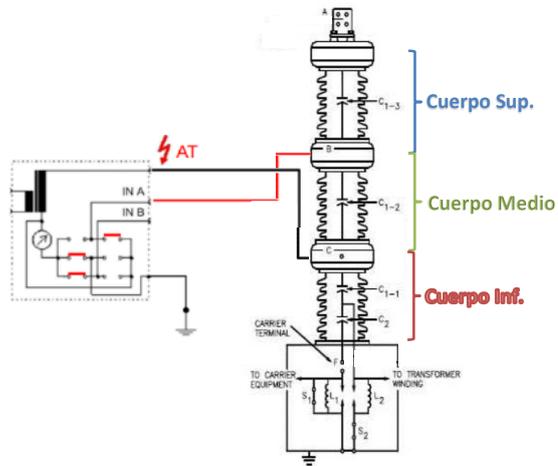
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpo superior de transformador de tensión 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 55:

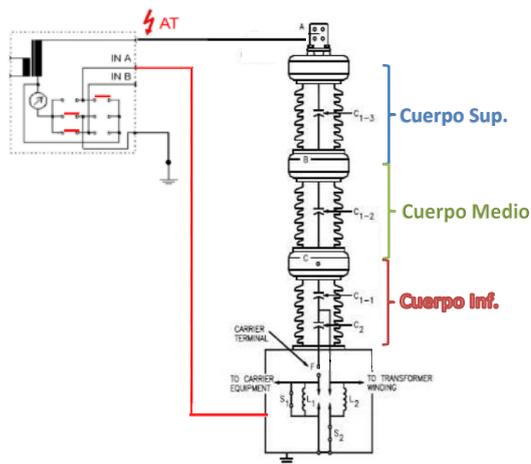
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia en cuerpo medio e inferior de transformador de tensión 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 56:

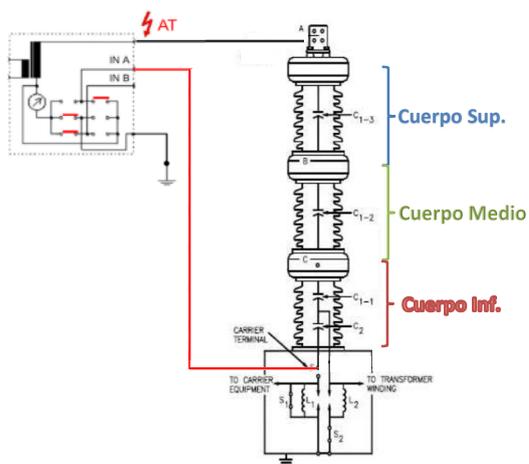
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C_n o total de transformador de tensión 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 57:

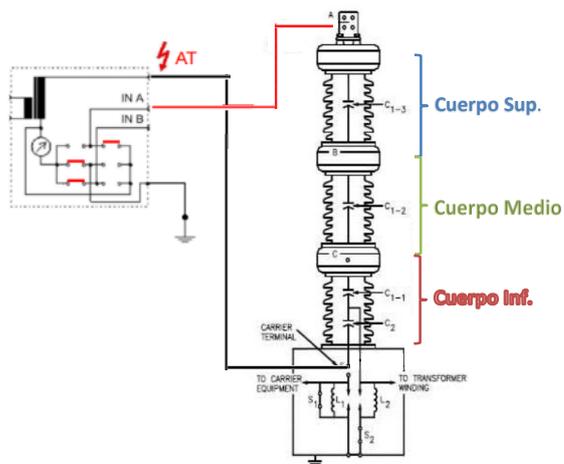
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C1 de transformador de tensión 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 58:

Conexión para medición de tangente delta y capacitancia C2 de transformador de tensión 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Tabla 15: Procedimiento para medición de tangente delta y capacitancia en transformador de tensión 500kV

N°	Modo	Prueba a	Energizar	Tierra	Guarda	UST	Mide
1	UST	10 KV	B	---	---	A	Superior
2	UST	10 KV	C	---	---	B	Medio
3	GST	10 KV	C	---	B	---	Inferior
4	GST	10 KV	A	---	---	---	General
5	GST	10 KV	A	---	Carrier	---	C1
6	GST	2 KV	Carrier	---	A	---	C2

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.9.2.1 Criterio de aceptación

Según IEC 61869-5¹ (Clausula 7.4.3): El Factor de disipación dieléctrica $\tan\delta$ (FP) medido tendrá un valor $\leq 0.5\%$, y el valor de la capacitancia (C_p), guardará relación con el valor obtenido en las pruebas FAT.

6.2.9.3 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad

- El procedimiento para esta prueba es igual que para el Transformador de tensión 220kV (ver acápite 6.2.1.3)

6.2.9.4 Medición de resistencia de aislamiento

- El procedimiento para esta prueba es igual que para el Transformador de tensión 220kV (ver acápite 6.2.1.3)

6.2.10 INTERRUPTOR 500kV

6.2.10.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento.
- Medición de factor de potencia, capacitancia y pérdidas dieléctricas
- Medición de la resistencia de contactos
- Medición de tiempos de apertura y cierre.
- Medición de la corriente del motor al cierre y apertura del seccionador

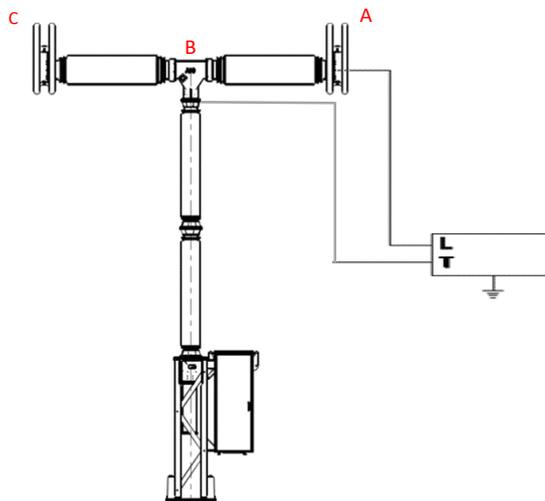
¹ Instrument transformers - Part 5: Additional requirements for capacitor voltage transformers

6.2.10.2 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- El interruptor debe estar en posición abierto.
- Realizar las conexiones de prueba tal como se muestra en la tabla N° 16 y figura N° 59, 60 y 61.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 59:

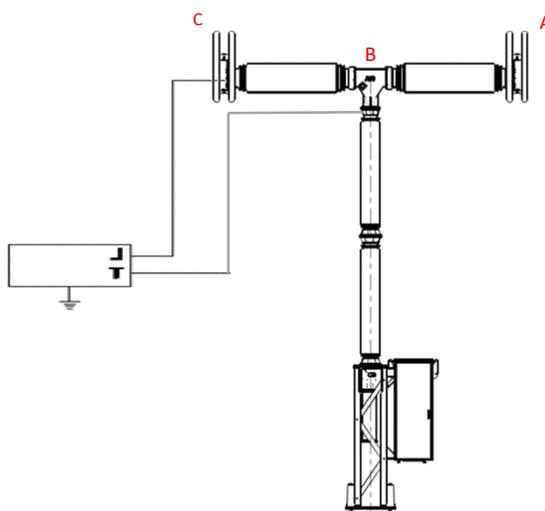
Conexión para medición de resistencia de aislamiento de cámara 1 en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 60:

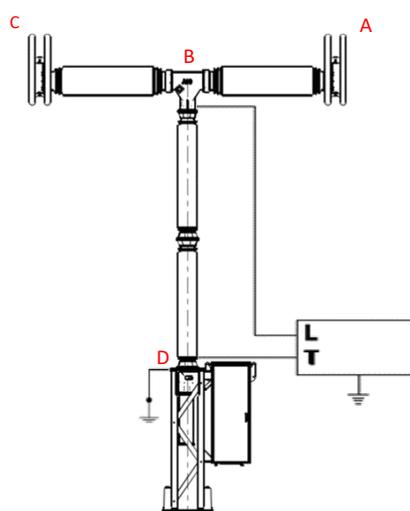
Conexión para medición de resistencia de aislamiento de cámara 2 en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 61:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento de aislador soporte en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Tabla 16: Conexión para medición de resistencia de aislamiento en Interruptor 500kV

N° Prueba	Conexión		Mide
	L	T	
1	A	B	Cámara 1
2	C	B	Cámara 2
3	B	D	Aislador soporte

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.10.2.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

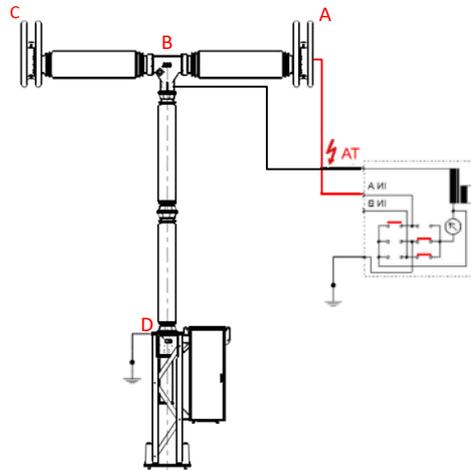
- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100000 \text{ M}\Omega$ (100 G Ω) - tabla 10

6.2.10.3 Medición de tangente delta

- Esta prueba se realiza con el equipo multifuncional de pruebas CPC 100 y la unidad CP TD1
- Encender la fuente y el controlador del equipo de prueba. Configurar los datos requeridos por el controlador: serie, marca, tensión, etc. del interruptor de potencia.
- Configurar la tensión de prueba, la tensión máxima de prueba será 10kV.
- Verificar los datos, accionar el interruptor de seguridad y el equipo eleva gradualmente la tensión aplicada y automáticamente realiza las pruebas al valor de tensión prefijado.
- Al desactivar el interruptor de seguridad el equipo descargará automáticamente "a tierra" el interruptor de potencia probado.
- El procedimiento de conexión de pruebas se resume en la tabla N° 17 y en la figura N° 62, 63 y 64

Figura N° 62:

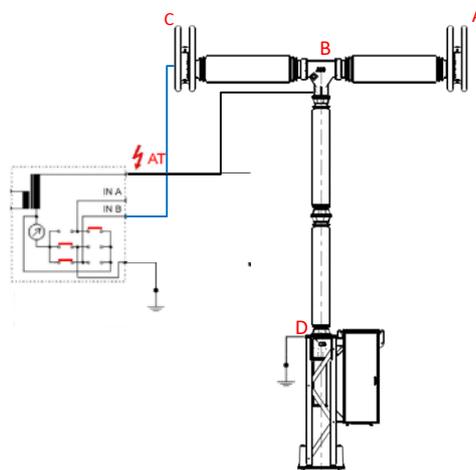
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia de cámara 1 en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 63:

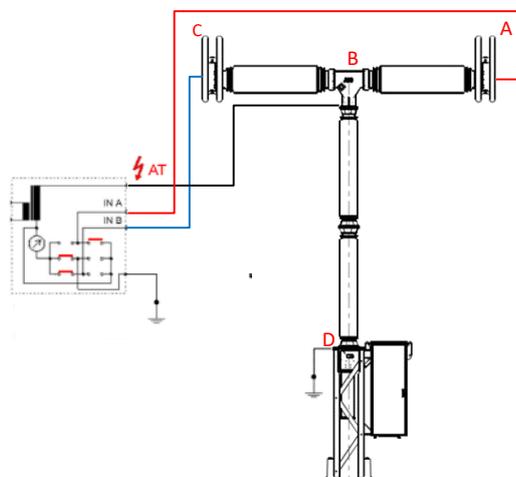
Conexión para medición de tangente delta y capacitancia de cámara 1 en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Figura N° 64:

Conexión para medición de tangente delta y capacitancia de aislador soporte en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

Tabla 17: Conexión para medición de tangente delta en Interruptor 500kV

N°	Modo	Prueba a	Energizar	Guarda	UST	Mide
1	UST	10 KV	B	---	A	Cámara 1
2	UST	10 KV	B	---	B	Cámara 2
3	GST _{gAB}	10 KV	B	A y C	---	Aislador Soporte

Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.10.3.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 (Clausula 7.6.4): El Factor de disipación dieléctrica $\tan\delta$ (FP) y el valor de la capacitancia (C_p), deberán ser $\pm 10\%$ de los valores de fabrica

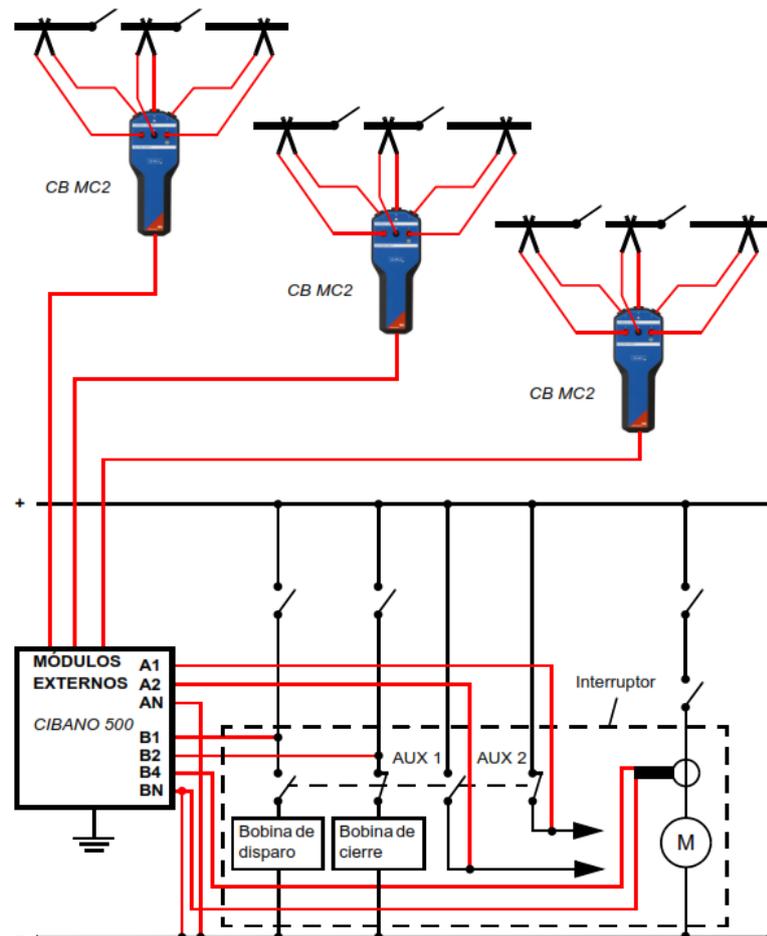
6.2.10.4 Medición de resistencia de contactos

- Esta prueba se realiza con el equipo de pruebas de interruptores CIBANO 500; y usando el software Primary Test Manager.
- El interruptor debe estar en posición cerrado
- Configurar los parámetros de prueba

- Realizar las conexiones de prueba tal como se muestra en la figura N° 65.
- Accionar el pulsador de inicio de medición para inyectar la corriente seleccionada e iniciar el proceso de medición
- Durante la medición se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 65:

Conexión para medición de resistencia de contactos en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.10.4.1 Criterio de aceptación

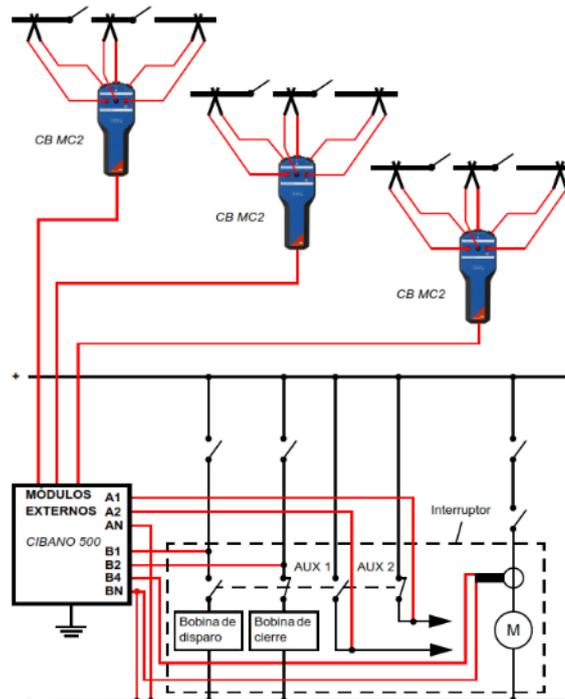
Según IEC 62271-100:2011 (Clausula 7.3): Desviación no mayor al 20 % con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT,

6.2.10.5 Medición de tiempos de apertura y cierre, corriente de la bobina de cierre y apertura, corriente del motor

- Esta prueba se realiza con el equipo de pruebas de interruptores CIBANO 500; y usando el software Primary Test Manager.
- Debe estar habilitado el mando eléctrico del interruptor.
- Identificar en el plano el circuito de control de la bobina de cierre y apertura del motor, ubicado dentro de la caja de mando.
- Realizar las conexiones de prueba tal como se muestra en la figura N° 66 y configurar los parámetros de prueba.
- Accionar el pulsador de inicio de medición para iniciar el proceso de medición

Figura N° 66:

Conexión para mediciones en Interruptor 500kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.10.5.1 Criterio de aceptación

Los valores de referencia de los tiempos de operación y las tolerancias, serán tomados del protocolo de pruebas FAT.

Según IEC 62271-100:2011 (clausula 5.101): El tiempo de discrepancia entre polos para el cierre debe ser menor a un cuarto de ciclo ($<1/4$ ciclo) de la frecuencia y para la apertura deberá ser menor a un sexto de ciclo ($<1/6$ ciclo)

6.2.11 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 500kV

6.2.11.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento.
- Medición de la resistencia de contactos
- Medición de tiempos de apertura y cierre.
- Medición de la corriente del motor al cierre y apertura del seccionador

6.2.11.2 Medición de resistencia de aislamiento

- El procedimiento para esta prueba es el mismo que para el seccionador doble apertura 220kV (ver acápite 6.2.7.2)

6.2.11.3 Medición de resistencia de contactos

- El procedimiento para esta prueba es el mismo que para el seccionador doble apertura 220kV (ver acápite 6.2.7.3)

6.2.11.4 Medición de tiempos de apertura y cierre del seccionador

- El procedimiento para esta prueba es el mismo para todos los seccionadores (ver acápite 6.2.6.4)

6.2.11.5 Medición de la corriente del motor

- El procedimiento para esta prueba es el mismo para todos los seccionadores (ver acápite 6.2.6.5)

6.2.12 PARARRAYOS 444kV

6.2.12.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento.

6.2.12.2 Medición de resistencia de aislamiento

- El procedimiento para esta prueba es el mismo que para el pararrayos 198kV (ver acápite 6.2.2.3)

6.2.13 REACTOR DE NEUTRO 115kV

6.2.13.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento
- Medición de la resistencia de devanados
- Medición de la relación de transformación y verificación de la polaridad del CT.
- Medición de la curva de saturación del CT.
- Medición de la resistencia eléctrica en los devanados secundarios del CT.
- Medición de la resistencia de aislamiento del CT.

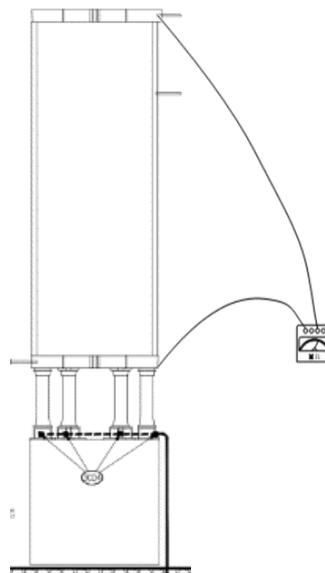
6.2.13.2 Medición de resistencia de aislamiento

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 67.

- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA
- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Como referencia de valores límites se muestran en la tabla N° 10.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.
- La medición del aislamiento se realizará entre el devanado y masa (tierra)

Figura N° 67:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en reactor de neutro 115kV



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.13.2.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.1 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

- ❖ Resistencia de aislamiento $\geq 100000 \text{ M}\Omega$ (100 G Ω) - tabla 10

6.2.13.3 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad (para transformador de corriente del neutro)

- El procedimiento para esta prueba es el mismo que para el transformador de corriente 220kV (ver acápite 6.2.4.3)

6.2.13.4 Medición de curva de saturación (punto de inflexión) (para transformador de corriente del neutro)

- El procedimiento para esta prueba es el mismo que para el transformador de corriente 220kV (ver acápite 6.2.4.4)

6.2.13.5 Medición de resistencia de devanados (para transformador de corriente del neutro)

- El procedimiento para esta prueba es el mismo que para el transformador de corriente 220kV (ver acápite 6.2.4.5)

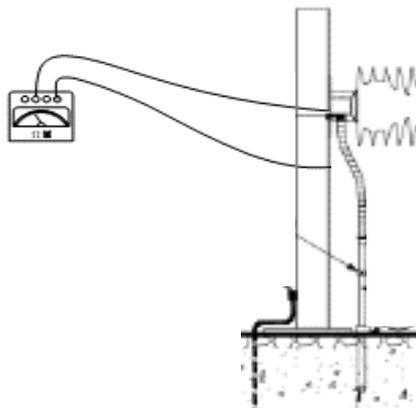
6.2.13.6 Medición de resistencia de aislamiento (para transformador de corriente del neutro)

- Esta prueba se realiza con un Megóhmetro.
- Realizar las conexiones tal como se muestra en la figura N° 68.
- Las tensiones de prueba se tomarán según las recomendaciones del NETA

- Accionar el pulsador ON para que se inyecte la tensión de prueba, transcurrido los 60 segundos el equipo automáticamente detiene la medición y a la vez se observa en su pantalla el resultado de la medición.
- Terminada la medición aterrizar el borne de alta tensión con la finalidad de eliminar toda tensión residual.
- Como referencia de valores límites se muestran en la tabla N° 8.
- Durante la medición de resistencia de aislamiento se tomarán lecturas de temperatura y humedad.

Figura N° 68:

Conexión para medición de resistencia de aislamiento en transformador de corriente del reactor del neutro



Fuente: Procedimiento de Pruebas de la empresa TECNELECING SAC

6.2.13.6.1 Criterio de aceptación

Según ANSI/NETA ATS 2015 tabla 100.5 (Los resultados deben referirse a la temperatura de 20°C - ver tabla N° 5):

Según tabla N° 8:

- ❖ Para inyecciones por el lado primario $\geq 5000 \text{ M}\Omega$ (5 G Ω)
- ❖ Para inyecciones desde el lado secundario $\geq 100 \text{ M}\Omega$ (0.1G Ω)

6.2.14 PARARRAYOS 120kV

6.2.14.1 Relación de Pruebas a Ejecutar:

- Medición de la resistencia de aislamiento.

6.2.14.2 Medición de resistencia de aislamiento

- El procedimiento para esta prueba es el mismo que para el pararrayos 198kV (ver acápite 6.2.2.3)

VII. UBICACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS EN EL MARCO DEL SUSTENTO TEÓRICO

7.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas ejecutadas a los equipos de patio de la subestación Colcabamba 500/220kV y su comparación con los valores obtenidos en las pruebas FAT y/o los valores recomendados por norma

7.1.1 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 220kV

7.1.1.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los transformadores de tensión de 220kV del proyecto y su distribución en las celdas y/o barras de la subestación

Tabla 18: Distribucion de Transformadores de Tensión 220kV en la S.E Colcabamba

TT N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	L-2225	TT-2555	R	15000559
2			S	15000543
3			T	15000544
4	Barra A	TT-2556	S	15000545
5	Barra B	TT-2557	S	15000546
6	AT-103-523	TT-2558	R	15000547
7			S	15000548
8			T	15000549
9	L-2140	TT-2575	R	15000550
10			S	15000551
11			T	15000552
12	L-2141	TT-2576	R	15000553
13			S	15000554
14			T	15000555

Fuente: Elaboración propia

7.1.1.2 Medición de tangente delta y capacitancia

Tabla 19: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2555

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Cuerpo Sup.	10	0.048	0.0759	9068	9040
	Cuerpo Inf.	10	0.049	0.0870	9073	9078
	C. Total (C _n)	10	-	0.0975	4400	4554
	C ₁	10	-	0.1769	4713	4729
	C ₂	2	-	0.1395	120290	120500
S	Cuerpo Sup.	10	0.046	0.0702	9201	9174
	Cuerpo Inf.	10	0.051	0.0815	9162	9170
	C. Total (C _n)	10	-	0.0906	4400	4609
	C ₁	10	-	0.1340	4771	4788
	C ₂	2	-	0.1047	120737	120860
T	Cuerpo Sup.	10	0.047	0.0675	9166	9112
	Cuerpo Inf.	10	0.049	0.0782	9155	9144
	C. Total (C _n)	10	-	0.0823	4400	4590
	C ₁	10	-	0.1307	4759	4766
	C ₂	2	-	0.0994	121783	121770

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2556

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
S	Cuerpo Sup.	10	0.050	0.0686	9119	9070
	Cuerpo Inf.	10	0.050	0.0828	9168	9157
	C. Total (C _n)	10	-	0.0881	4400	4581
	C ₁	10	-	0.1766	4749	4757
	C ₂	2	-	0.1019	121939	121550

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2557

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
S	Cuerpo Sup.	10	0.052	0.0642	9269	9214
	Cuerpo Inf.	10	0.048	0.0830	9240	9228
	C. Total (C _n)	10	-	0.0823	4400	4636
	C ₁	10	-	0.1962	4809	4816
	C ₂	2	-	0.1962	121850	121680

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2558

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Cuerpo Sup.	10	0.053	0.0672	9177	9133
	Cuerpo Inf.	10	0.048	0.0866	9171	9158
	C. Total (C _n)	10	-	0.0900	4400	4598
	C ₁	10	-	0.1758	4766	4775
	C ₂	2	-	0.1379	121915	121790
S	Cuerpo Sup.	10	0.049	0.0741	9185	9133
	Cuerpo Inf.	10	0.048	0.0764	9137	9122
	C. Total (C _n)	10	-	0.0912	4400	4589
	C ₁	10	-	0.1372	4759	4766
	C ₂	2	-	0.0992	121473	121300
T	Cuerpo Sup.	10	0.068	0.0687	9170	9123
	Cuerpo Inf.	10	0.048	0.0824	9147	9141
	C. Total (C _n)	10	-	0.0874	4400	4591
	C ₁	10	-	0.1745	4760	4770
	C ₂	2	-	0.1427	120555	120580

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2575

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Cuerpo Sup.	10	0.052	0.0715	9174	9101
	Cuerpo Inf.	10	0.047	0.0776	9172	9164
	C. Total (C _n)	10	-	0.0880	4400	4584
	C ₁	10	-	0.1361	4767	4762
	C ₂	2	-	0.0950	120694	120250
S	Cuerpo Sup.	10	0.048	0.0688	9123	9069
	Cuerpo Inf.	10	0.050	0.0755	9143	9123
	C. Total (C _n)	10	-	0.0857	4400	4571
	C ₁	10	-	0.1831	4745	4749
	C ₂	2	-	0.1476	121174	120630
T	Cuerpo Sup.	10	0.047	0.0664	9152	9105
	Cuerpo Inf.	10	0.047	0.0757	9136	9055
	C. Total (C _n)	10	-	0.0823	4400	4580
	C ₁	10	-	0.1299	4750	4756
	C ₂	2	-	0.0986	121599	121440

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-2576

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Cuerpo Sup.	10	0.058	0.0706	9070	9114
	Cuerpo Inf.	10	0.052	0.0735	9120	9091
	C. Total (C _n)	10	-	0.0882	4400	4575
	C ₁	10	-	0.1360	4757	4753
	C ₂	2	-	0.0969	120738	119940
S	Cuerpo Sup.	10	0.048	0.0682	9077	9080
	Cuerpo Inf.	10	0.050	0.0820	9137	9102
	C. Total (C _n)	10	-	0.0889	4400	4570
	C ₁	10	-	0.2130	4750	4747
	C ₂	2	-	0.1767	121172	120410
T	Cuerpo Sup.	10	0.058	0.0769	9078	9034
	Cuerpo Inf.	10	0.047	0.0743	9198	9184
	C. Total (C _n)	10	-	0.0874	4400	4576
	C ₁	10	-	0.1351	4747	4752
	C ₂	2	-	0.0989	121082	120980

Fuente: Elaboración propia

7.1.1.3 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad

Tabla 25: Valores de relación de transformación TT-2555

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1a – 1n	2000	2001.031	-0.05	0.47	Correcto
	2a – 2n	2000	2000.251	-0.01	0.46	Correcto
	3a – 3n	2000	2000.149	-0.01	0.46	Correcto
S	1a – 1n	2000	1999.240	0.04	0.54	Correcto
	2a – 2n	2000	1998.530	0.07	0.55	Correcto
	3a – 3n	2000	1998.410	0.08	0.55	Correcto
T	1a – 1n	2000	2001.372	-0.07	0.35	Correcto
	2a – 2n	2000	2000.580	-0.03	0.36	Correcto
	3a – 3n	2000	2000.529	-0.03	0.36	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Valores de relación de transformación TT-2556

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
S	1a – 1n	2000	2000.251	-0.01	0.31	Correcto
	2a – 2n	2000	1999.409	0.03	0.31	Correcto
	3a – 3n	2000	1999.409	0.03	0.32	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Valores de relación de transformación TT-2557

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
S	1a – 1n	2000	2000.740	-0.04	0.71	Correcto
	2a – 2n	2000	1999.889	0.01	0.73	Correcto
	3a – 3n	2000	1999.900	0.01	0.73	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Valores de relación de transformación TT-2558

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1a – 1n	2000	2001.281	-0.06	0.43	Correcto
	2a – 2n	2000	2000.451	-0.02	0.44	Correcto
	3a – 3n	2000	2000.451	-0.02	0.44	Correcto
S	1a – 1n	2000	1998.600	0.07	0.76	Correcto
	2a – 2n	2000	1997.762	0.11	0.77	Correcto
	3a – 3n	2000	1997.722	0.11	0.77	Correcto
T	1a – 1n	2000	2000.480	-0.02	0.46	Correcto
	2a – 2n	2000	1999.640	0.02	0.47	Correcto
	3a – 3n	2000	1999.589	0.02	0.47	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Valores de relación de transformación TT-2575

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1a – 1n	2000	2002.935	-0.15	0.35	Correcto
	2a – 2n	2000	2002.102	-0.11	0.33	Correcto
	3a – 3n	2000	2002.073	-0.10	0.33	Correcto
S	1a – 1n	2000	2002.042	-0.10	0.49	Correcto
	2a – 2n	2000	2001.231	-0.06	0.49	Correcto
	3a – 3n	2000	2001.151	-0.06	0.49	Correcto
T	1a – 1n	2000	1999.849	0.01	0.40	Correcto
	2a – 2n	2000	1998.980	0.05	0.42	Correcto
	3a – 3n	2000	1998.929	0.05	0.43	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Valores de relación de transformación TT-2576

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1a – 1n	2000	1999.720	0.01	0.34	Correcto
	2a – 2n	2000	1998.600	0.07	0.33	Correcto
	3a – 3n	2000	1998.581	0.07	0.34	Correcto
S	1a – 1n	2000	2000.049	0.00	0.41	Correcto

	2a – 2n	2000	1999.169	0.04	0.40	Correcto
	3a – 3n	2000	1999.289	0.04	0.42	Correcto
T	1a – 1n	2000	1999.311	0.03	0.41	Correcto
	2a – 2n	2000	1998.301	0.09	0.40	Correcto
	3a – 3n	2000	1998.310	0.08	0.40	Correcto

Fuente: Elaboración propia

7.1.1.4 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 31: Valores de resistencia de aislamiento TT-2555

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N1	15000	>3000	>3000	2016
Primario vs. Secundario N2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N3	15000	>3000	>3000	>3000
Sec. N1 vs. Sec. N2	500	>5000	916.6	1305
Sec. N1 vs. Sec. N3	500	615.6	1653	>5000
Sec. N2 vs. Sec. N3	500	970.4	>5000	>5000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Valores de resistencia de aislamiento TT-2556 y TT 2557

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)	
		TT-2556	TT-2557
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N1	15000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N2	15000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N3	15000	>3000	>3000
Sec. N1 vs. Sec. N2	500	>5000	1960
Sec. N1 vs. Sec. N3	500	775	>5000
Sec. N2 vs. Sec. N3	500	>5000	1288

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Valores de resistencia de aislamiento TT-2558

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N1	15000	>3000	>3000	>3000

Primario vs. Secundario N2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N3	15000	1987	>3000	>3000
Sec. N1 vs. Sec. N2	500	861.3	>5000	>5000
Sec. N1 vs. Sec. N3	500	192.1	>5000	>5000
Sec. N2 vs. Sec. N3	500	>5000	>5000	1229

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Valores de resistencia de aislamiento TT-2575

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N3	15000	>3000	>3000	>3000
Sec. N1 vs. Sec. N2	500	354.5	327.6	280.8
Sec. N1 vs. Sec. N3	500	575.6	1146.6	436.4
Sec. N2 vs. Sec. N3	500	460.3	645.8	359.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Valores de resistencia de aislamiento TT-2576

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N3	15000	>3000	>3000	>3000
Sec. N1 vs. Sec. N2	500	>5000	1214	776
Sec. N1 vs. Sec. N3	500	>5000	>5000	>5000
Sec. N2 vs. Sec. N3	500	>5000	>5000	692

Fuente: Elaboración propia

7.1.2 PARARRAYOS 198kV

7.1.2.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los Pararrayos 198kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 36: Distribucion de Pararrayos 198kV en la S.E Colcabamba

PR N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	L-2225	PR-2511	R	75248633
2			S	75248634
3			T	75248635
4	L-2140	PR-2522	R	75248044
5			S	75248045
6			T	75248046
7	L-2141	PR-2523	R	75248047
8			S	75248048
9			T	75248049

Fuente: Elaboración propia

7.1.2.2 Medición de corriente de fuga, pérdida y capacitancia por el método de tangente delta

Tabla 37: Valores de capacitancia y perdidas PR-2511

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (μ A)	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Cuerpo Sup.	10	129.63	34.337	44.9
	Cuerpo Inf.	10	277.44	70.570	71.3
	Cap. Total	10	248.50	62.915	31.3
S	Cuerpo Sup.	10	129.67	34.376	46.6
	Cuerpo Inf.	10	280.95	71.442	73.8
	Cap. Total	10	248.98	62.977	33.0
T	Cuerpo Sup.	10	131.45	34.847	45.8
	Cuerpo Inf.	10	269.86	68.559	71.8
	Cap. Total	10	246.40	62.289	31.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Valores de capacitancia y perdidas PR-2522

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (μ A)	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Cuerpo Sup.	10	132.83	35.218	43.9
	Cuerpo Inf.	10	275.64	70.093	67.5
	Cap. Total	10	245.72	62.183	31.1
S	Cuerpo Sup.	10	134.93	35.772	45.1

	Cuerpo Inf.	10	269.65	68.505	68.5
	Cap. Total	10	247.31	62.533	30.6
T	Cuerpo Sup.	10	137.49	36.409	53.1
	Cuerpo Inf.	10	269.44	68.318	83.4
	Cap. Total	10	236.22	59.596	35.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Valores de capacitancia y perdidas PR-2523

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (μ A)	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Cuerpo Sup.	10	133.10	35.284	41.6
	Cuerpo Inf.	10	270.58	68.759	62.9
	Cap. Total	10	248.46	62.898	29.7
S	Cuerpo Sup.	10	129.55	34.353	40.2
	Cuerpo Inf.	10	293.65	74.802	62.9
	Cap. Total	10	249.13	62.998	29.9
T	Cuerpo Sup.	10	132.38	35.116	40.0
	Cuerpo Inf.	10	271.95	69.073	59.5
	Cap. Total	10	246.92	62.477	29.8

Fuente: Elaboración propia

7.1.2.3 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 40: Valores de resistencia de aislamiento PR-2511

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (G Ω)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Terminal de Alta vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 1	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 2	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Valores de resistencia de aislamiento PR-2522

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (G Ω)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Terminal de Alta vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 1	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 2	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Valores de resistencia de aislamiento PR-2523

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Terminal de Alta vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 1	15000	1875	>3000	>3000
Sección 2	15000	1313	1688	1500

Fuente: Elaboración propia

7.1.3 INTERRUPTORES DE POTENCIA 220kV

7.1.3.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los Interruptores 220kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 43: Distribucion de Interruptores 220kV en la S.E Colcabamba

TC N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	L-2225	IN-2816	R	1HSB01534120-A1
2			S	1HSB01534120-B1
3			T	1HSB01534120-C1
4	Acople	IN-2818	R	1HSB01534121-A1
5			S	1HSB01534121-B1
6			T	1HSB01534121-C1
7	AT-103-523	IN-2820	R	1HSB01536029-A1
8			S	1HSB01536029-B1
9			T	1HSB01536029-C1
10	L-2140	IN-2852	R	1HSB01536037-A1
11			S	1HSB01536037-B1
12			T	1HSB01536037-C1
13	L-2141	IN-2854	R	1HSB01536038-A1
14			S	1HSB01536038-B1
15			T	1HSB01536038-C1

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 44: Valores de resistencia de aislamiento IN-2816

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Polo completo vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Polo superior	15000	>3000	1242	>3000
Polo inferior	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45: Valores de resistencia de aislamiento IN-2818

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Polo completo vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Polo superior	15000	>3000	>3000	>3000
Polo inferior	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46: Valores de resistencia de aislamiento IN-2820

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Polo completo vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Polo superior	15000	>3000	>3000	>3000
Polo inferior	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47: Valores de resistencia de aislamiento IN-2852

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Polo completo vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Polo superior	15000	1260	1800	>3000
Polo inferior	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Valores de resistencia de aislamiento IN-2854

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Polo completo vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Polo superior	15000	>3000	>3000	>3000
Polo inferior	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.3 Medición de tangente delta

Tabla 49: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2816

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (mA)	Tan δ [%] medido	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Polo Completo	10	0.1586	0.2875	39.021	4.6
	Cámara	10	0.0387	0.6104	10.257	2.4
	Aislador	10	0.1373	0.2468	33.383	3.4
S	Polo Completo	10	0.1588	0.2635	39.073	4.2
	Cámara	10	0.0393	0.5873	10.416	2.3
	Aislador	10	0.1390	0.2421	33.847	3.4
T	Polo Completo	10	0.1587	0.2781	39.024	4.4
	Cámara	10	0.0391	0.5367	10.372	2.1
	Aislador	10	0.1370	0.2392	33.300	3.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2818

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (mA)	Tan δ [%] medido	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Polo Completo	10	0.1569	0.1791	38.630	2.8
	Cámara	10	0.0410	0.4765	10.874	2.0
	Aislador	10	0.1342	0.1866	32.607	2.5
S	Polo Completo	10	0.1571	0.2244	38.659	3.0
	Cámara	10	0.0406	0.5308	10.759	2.2
	Aislador	10	0.1358	0.2180	32.983	3.0
T	Polo Completo	10	0.1566	0.2081	38.467	3.3
	Cámara	10	0.0409	0.5959	10.844	2.4
	Aislador	10	0.1346	0.2193	32.660	3.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2820

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (mA)	Tan δ [%] medido	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Polo Completo	10	0.1586	0.2761	39.023	4.4
	Cámara	10	0.0391	0.5146	10.367	2.0
	Aislador	10	0.1368	0.2405	32.222	3.3
S	Polo Completo	10	0.1635	0.2691	40.349	4.4
	Cámara	10	0.0396	0.5105	10.524	2.0
	Aislador	10	0.1427	0.2785	34.813	4.0

T	Polo Completo	10	0.1620	0.2999	39.901	4.9
	Cámara	10	0.0398	0.5574	10.543	2.2
	Aislador	10	0.1366	0.2753	33.162	3.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2852

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (mA)	Tan δ [%] medido	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Polo Completo	10	0.1559	0.1816	38.277	2.8
	Cámara	10	0.0422	0.4701	11.184	2.0
	Aislador	10	0.1417	0.1925	34.547	2.7
S	Polo Completo	10	0.1555	0.2008	38.174	3.1
	Cámara	10	0.4243	0.4421	11.242	1.9
	Aislador	10	0.1399	0.1824	34.071	2.6
T	Polo Completo	10	0.1558	0.1933	38.282	2.9
	Cámara	10	0.4254	0.4796	11.266	2.0
	Aislador	10	0.1406	0.1561	34.235	2.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-2854

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (mA)	Tan δ [%] medido	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Polo Completo	10	0.1571	0.2079	38.615	3.3
	Cámara	10	0.0565	0.4378	14.981	2.5
	Aislador	10	0.1436	0.2072	35.053	3.0
S	Polo Completo	10	0.1568	0.1952	38.530	3.1
	Cámara	10	0.0436	0.5064	11.555	2.2
	Aislador	10	0.1411	0.2208	34.380	3.1
T	Polo Completo	10	0.1570	0.1937	38.587	3.0
	Cámara	10	0.0434	0.4716	11.487	2.0
	Aislador	10	0.1415	0.1834	34.463	2.6

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.4 Medición de resistencia de contactos

Tabla 54: Valores de resistencia de contactos IN-2816

Fase	Cámara	I Inyectada (A)	R medida ($\mu\Omega$)	R esperada ($\mu\Omega$)
R	1	200	39	34 \pm 20%
S	1	200	40	33 \pm 20%
T	1	200	40	34 \pm 20%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55: Valores de resistencia de contactos IN-2818

Fase	Cámara	I Inyectada (A)	R medida ($\mu\Omega$)	R esperada ($\mu\Omega$)
R	1	200	39	36 \pm 20%
S	1	200	38	35 \pm 20%
T	1	200	39	34 \pm 20%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Valores de resistencia de contactos IN-2820

Fase	Cámara	I Inyectada (A)	R medida ($\mu\Omega$)	R esperada ($\mu\Omega$)
R	1	200	39	34 \pm 20%
S	1	200	40	34 \pm 20%
T	1	200	40	34 \pm 20%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57: Valores de resistencia de contactos IN-2852

Fase	Cámara	I Inyectada (A)	R medida ($\mu\Omega$)	R esperada ($\mu\Omega$)
R	1	200	40	38 \pm 20%
S	1	200	40	35 \pm 20%
T	1	200	40	36 \pm 20%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Valores de resistencia de contactos IN-2854

Fase	Cámara	I Inyectada (A)	R medida ($\mu\Omega$)	R esperada ($\mu\Omega$)
R	1	200	40	39 \pm 20%
S	1	200	39	38 \pm 20%
T	1	200	37	35 \pm 20%

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.5 Medición de tiempos de Operación del Interruptor

Tabla 59: Valores de tiempos de operación IN-2816

Maniobra	Tiempo de operación (ms)			Valor esperado (ms)	Discrepancia de polos
	Fase R	Fase S	Fase T		
Cierre (C)	27.8	26.8	27.2	26.6	1.0
Apertura 1 (O1)	16.2	16.0	16.0	16.1	0.2
Apertura 2 (O2)	16.2	16.2	16.1	16.2	0.1

Apertura-Cierre (O-C)	25.5	25.0	25.6	25.3	0.6
Apertura-cierre-apertura (O-C-O)	16.2	16.2	16.0	16.2	0.2
	261.6	260.4	260.4	260.4	1.2
	25.2	25.0	25.8	25.4	0.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60: Valores de tiempos de operación IN-2818

Maniobra	Tiempo de operación (ms)			Valor esperado (ms)	Discrepancia de polos
	Fase R	Fase S	Fase T		
Cierre (C)	26.8	26.9	26.8	26.7	0.1
Apertura 1 (O1)	16.8	16.4	16.2	16.7	0.6
Apertura 2 (O2)	16.6	16.5	16.4	16.7	0.2
Apertura-Cierre (O-C)	26.0	26.4	25.5	26.0	0.9
Apertura-cierre-apertura (O-C-O)	16.8	16.6	16.3	16.3	0.5
	260.0	260.0	259.9	259.9	0.1
	26.3	26.4	25.7	25.7	0.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61: Valores de tiempos de operación IN-2820

Maniobra	Tiempo de operación (ms)			Valor esperado (ms)	Discrepancia de polos
	Fase R	Fase S	Fase T		
Cierre (C)	26.8	26.7	26.5	26.6	0.3
Apertura 1 (O1)	16.2	16.4	16.6	16.7	0.4
Apertura 2 (O2)	16.4	16.5	16.5	16.5	0.1
Apertura-Cierre (O-C)	25.4	26.2	25.6	26.5	0.8
Apertura-cierre-apertura (O-C-O)	16.3	16.5	16.5	16.6	0.2
	260.4	260.4	259.8	260.1	0.6
	25.5	25.5	25.8	25.7	0.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62: Valores de tiempos de operación IN-2852

Maniobra	Tiempo de operación (ms)			Valor esperado (ms)	Discrepancia de polos
	Fase R	Fase S	Fase T		
Cierre (C)	27.2	27.1	27.3	27.0	0.2
Apertura 1 (O1)	16.6	16.8	16.8	16.9	0.2
Apertura 2 (O2)	16.6	16.8	16.9	16.8	0.3
Apertura-Cierre (O-C)	25.9	26.1	25.7	26.0	0.4

Apertura-cierre-apertura (O-C-O)	16.6	16.8	16.8	16.8	0.2
	260.6	260.2	260.5	262.1	0.4
	26.0	25.8	26.0	24.6	0.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63: Valores de tiempos de operación IN-2854

Maniobra	Tiempo de operación (ms)			Valor esperado (ms)	Discrepancia de polos
	Fase R	Fase S	Fase T		
Cierre (C)	27.4	27.2	27.8	26.9	0.6
Apertura 1 (O1)	16.6	16.8	17.2	17.0	0.6
Apertura 2 (O2)	16.7	16.5	16.9	16.7	0.4
Apertura-Cierre (O-C)	25.8	24.6	26.6	26.0	0.8
Apertura-cierre-apertura (O-C-O)	16.7	16.8	17.2	16.9	0.5
	260.5	260.2	260.0	259.9	0.5
	25.8	25.6	26.2	26.3	0.6

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.6 Corriente de la bobina de cierre y apertura, corriente del motor

Tabla 64: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2816

Bobina	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	2.4	2.5	2.5	2.5	137.0	138.6	141.3
Apertura 1	2.4	2.5	2.5	2.5	129.0	127.0	133.8
Apertura 2	2.4	2.5	2.5	2.5	128.0	134.0	134.0
Motor	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Corriente arranque	13.4	13.0	14.7	13.8	125.18	125.36	125.00
Corriente constante	-	7.1	8.7	8.9	125.77	125.29	124.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2818

Bobina	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	2.4	2.4	2.5	2.7	145.0	148.9	161.1
Apertura 1	2.4	2.4	2.5	2.6	130.0	134.8	143.5
Apertura 2	2.4	2.6	2.5	2.5	140.0	131.8	133.1

Motor	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Corriente arranque	13.8	13.8	13.8	15.1	130.4	130.5	130.6
Corriente constante	-	8.3	8.4	8.5	121.4	121.2	120.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2820

Bobina	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	2.4	2.5	2.5	2.4	129.0	129.0	125.7
Apertura 1	2.4	2.5	2.5	2.4	129.0	130.3	125.6
Apertura 2	2.4	2.5	2.5	2.4	129.0	125.6	125.6
Motor	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Corriente arranque	13.2	14.1	13.2	14.5	125.0	124.8	125.2
Corriente constante	-	9.0	8.3	9.0	124.4	125.7	125.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2852

Bobina	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	2.4	2.4	2.4	2.3	140.0	135.0	126.0
Apertura 1	2.4	2.4	2.3	2.3	130.0	132.0	128.0
Apertura 2	2.4	2.4	2.4	2.3	130.0	130.0	129.0
Motor	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Corriente arranque	13.7	13.9	13.9	12.7	130.2	128.7	128.6
Corriente constante	-	7.8	8.8	8.2	119.1	121.1	120.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-2854

Bobina	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	2.4	2.4	2.4	2.4	140.0	143.1	144.1
Apertura 1	2.4	2.3	2.3	2.3	130.0	128.8	129.3
Apertura 2	2.4	2.4	2.4	2.3	130.0	130.1	129.3

Motor	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Corriente arranque	13.6	13.0	14.2	12.3	125.4	125.1	125.0
Corriente constante	-	8.0	8.5	8.0	125.0	125.0	125.0

Fuente: Elaboración propia

7.1.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 220kV

7.1.4.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los transformadores de corriente 220kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 69: Distribucion de Transformadores de corriente 220kV en la S.E

Colcabamba

IN N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	L-2225	TC-2637	R	1510150
2			S	1510151
3			T	1510152
4	Acople	TC-2638	R	1510153
5			S	1510154
6			T	1510155
7	AT-103-523	TC-2639	R	1510143
8			S	1510144
9			T	1510145
10	L-2140	TC-2658	R	1510137
11			S	1510146
12			T	1510139
13	L-2141	TC-2659	R	1510140
14			S	1510141
15			T	1510142

Fuente: Elaboración propia

7.1.4.2 Medición de tangente delta y capacitancia

Tabla 70: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2637

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Primario vs Tierra	10	0.222	0.191	712	760
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.213	0.231	233	229
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.305	-	9387
S	Primario vs Tierra	10	0.230	0.198	718	767
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.238	0.239	236	231
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.333	-	9275
T	Primario vs Tierra	10	0.217	0.191	700	748
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.224	0.220	233	229
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.318	-	9981

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2638

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Primario vs Tierra	10	0.222	0.186	712	758
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.213	0.220	233	229
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.294	-	9887
S	Primario vs Tierra	10	0.230	0.200	718	749
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.238	0.225	236	225
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.318	-	9919
T	Primario vs Tierra	10	0.217	0.194	700	755
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.224	0.234	233	231
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.310	-	9891

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2639

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Primario vs Tierra	10	0.227	0.193	708	755
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.227	0.225	232	228
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.320	-	10056
S	Primario vs Tierra	10	0.230	0.194	716	763
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.240	0.239	234	230
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.324	-	10223
T	Primario vs Tierra	10	0.215	0.188	715	761
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.227	0.226	234	230
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.301	-	9995

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2658

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Primario vs Tierra	10	0.219	0.194	711	759
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.218	0.228	233	229
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.293	-	10290
S	Primario vs Tierra	10	0.224	0.190	701	754
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.224	0.229	232	228
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.312	-	9312
T	Primario vs Tierra	10	0.220	0.193	712	759
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.227	0.234	236	232
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.324	-	10550

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74: Valores de factor de disipación y capacitancia TC-2659

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Primario vs Tierra	10	0.210	0.192	713	759
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.225	0.230	235	231
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.280	-	10676
S	Primario vs Tierra	10	0.222	0.192	711	757
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.217	0.224	231	227
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.297	-	9774
T	Primario vs Tierra	10	0.214	0.191	712	760
	Primario vs Tap Prueba C ₁	10	0.219	0.222	232	229
	Tap Prueba C ₂ vs Tierra	2	-	0.319	-	10240

Fuente: Elaboración propia

7.1.4.3 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad

Tabla 75: Valores de relación de transformación TC-2637

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1S1 – 1S2	800/1	800/0.9982	-0.18	0.11	Correcto
	1S1 – 1S3	1600/1	1600/0.9981	-0.19	0.07	Correcto
	1S1 – 1S4	3200/1	3200/0.9980	-0.20	0.11	Correcto
	2S1 – 2S2	800/1	800/0.9960	-0.40	0.16	Correcto
	2S1 – 2S3	1600/1	1600/0.9968	-0.32	0.11	Correcto
	2S1 – 2S4	3200/1	3200/0.9974	-0.26	0.14	Correcto
	3S1 – 3S2	800/1	800/0.9962	-0.38	0.18	Correcto
	3S1 – 3S3	1600/1	1600/0.9969	-0.31	0.11	Correcto

	3S1 – 3S4	3200/1	3200/0.9977	-0.23	0.15	Correcto
	4S1 – 4S2	800/1	800/0.9968	-0.32	0.16	Correcto
	4S1 – 4S3	1600/1	1600/0.9900	-0.27	0.10	Correcto
	4S1 – 4S4	3200/1	3200/0.9978	-0.22	0.14	Correcto
S	1S1 – 1S2	800/1	800/0.9985	-0.15	0.11	Correcto
	1S1 – 1S3	1600/1	1600/0.9981	-0.19	0.08	Correcto
	1S1 – 1S4	3200/1	3200/0.9988	-0.12	0.11	Correcto
	2S1 – 2S2	800/1	800/0.9965	-0.35	0.20	Correcto
	2S1 – 2S3	1600/1	1600/0.9971	-0.29	0.14	Correcto
	2S1 – 2S4	3200/1	3200/0.9980	-0.20	0.16	Correcto
	3S1 – 3S2	800/1	800/0.9965	-0.35	0.22	Correcto
	3S1 – 3S3	1600/1	1600/0.9972	-0.28	0.14	Correcto
	3S1 – 3S4	3200/1	3200/0.9980	-0.20	0.17	Correcto
	4S1 – 4S2	800/1	800/0.9969	-0.31	0.19	Correcto
	4S1 – 4S3	1600/1	1600/0.9975	-0.25	0.11	Correcto
	4S1 – 4S4	3200/1	3200/0.9980	-0.20	0.17	Correcto
T	1S1 – 1S2	800/1	800/0.9982	-0.18	0.10	Correcto
	1S1 – 1S3	1600/1	1600/0.9982	-0.18	0.08	Correcto
	1S1 – 1S4	3200/1	3200/0.9985	-0.15	0.14	Correcto
	2S1 – 2S2	800/1	800/0.9968	-0.32	0.17	Correcto
	2S1 – 2S3	1600/1	1600/0.9972	-0.28	0.11	Correcto
	2S1 – 2S4	3200/1	3200/0.9979	-0.21	0.18	Correcto
	3S1 – 3S2	800/1	800/0.9965	-0.35	0.20	Correcto
	3S1 – 3S3	1600/1	1600/0.9971	-0.29	0.12	Correcto
	3S1 – 3S4	3200/1	3200/0.9973	-0.27	0.19	Correcto
	4S1 – 4S2	800/1	800/0.9967	-0.33	0.20	Correcto
	4S1 – 4S3	1600/1	1600/0.9972	-0.28	0.13	Correcto
	4S1 – 4S4	3200/1	3200/0.9979	-0.21	0.18	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76: Valores de relación de transformación TC-2638

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1S1 – 1S2	800/1	800/0.9984	-0.16	0.10	Correcto
	1S1 – 1S3	1600/1	1600/0.9982	-0.18	0.09	Correcto
	1S1 – 1S4	3200/1	3200/0.9990	-0.10	0.15	Correcto
	2S1 – 2S2	800/1	800/0.9970	-0.30	0.19	Correcto
	2S1 – 2S3	1600/1	1600/0.9972	-0.28	0.14	Correcto
	2S1 – 2S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.17	Correcto
	3S1 – 3S2	800/1	800/0.9971	-0.29	0.18	Correcto
	3S1 – 3S3	1600/1	1600/0.9974	-0.26	0.12	Correcto
	3S1 – 3S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.17	Correcto
	4S1 – 4S2	800/1	800/0.9970	-0.30	0.19	Correcto

	4S1 – 4S3	1600/1	1600/0.9973	-0.27	0.13	Correcto
	4S1 – 4S4	3200/1	3200/0.9979	-0.21	0.17	Correcto
S	1S1 – 1S2	800/1	800/0.9988	-0.12	0.14	Correcto
	1S1 – 1S3	1600/1	1600/0.9985	-0.15	0.12	Correcto
	1S1 – 1S4	3200/1	3200/0.9990	-0.10	0.14	Correcto
	2S1 – 2S2	800/1	800/0.9968	-0.32	0.22	Correcto
	2S1 – 2S3	1600/1	1600/0.9983	-0.17	0.16	Correcto
	2S1 – 2S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.18	Correcto
	3S1 – 3S2	800/1	800/0.9968	-0.32	0.24	Correcto
	3S1 – 3S3	1600/1	1600/0.9977	-0.23	0.17	Correcto
	3S1 – 3S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.17	Correcto
	4S1 – 4S2	800/1	800/0.9969	-0.31	0.21	Correcto
	4S1 – 4S3	1600/1	1600/0.9977	-0.23	0.15	Correcto
	4S1 – 4S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.17	Correcto
T	1S1 – 1S2	800/1	800/0.9983	-0.17	0.11	Correcto
	1S1 – 1S3	1600/1	1600/0.9982	-0.18	0.08	Correcto
	1S1 – 1S4	3200/1	3200/0.9990	-0.10	0.13	Correcto
	2S1 – 2S2	800/1	800/0.9960	-0.40	0.15	Correcto
	2S1 – 2S3	1600/1	1600/0.9971	-0.29	0.11	Correcto
	2S1 – 2S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.12	Correcto
	3S1 – 3S2	800/1	800/0.9967	-0.33	0.19	Correcto
	3S1 – 3S3	1600/1	1600/0.9974	-0.26	0.14	Correcto
	3S1 – 3S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.16	Correcto
	4S1 – 4S2	800/1	800/0.9968	-0.32	0.20	Correcto
	4S1 – 4S3	1600/1	1600/0.9973	-0.27	0.11	Correcto
	4S1 – 4S4	3200/1	3200/0.9982	-0.18	0.16	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77: Valores de relación de transformación TC-2639

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9980	-0.20	0.07	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9980	-0.20	0.08	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9967	-0.33	0.12	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9973	-0.27	0.10	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9972	-0.28	0.11	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9973	-0.27	0.11	Correcto
	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9964	-0.36	0.20	Correcto
	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9972	-0.28	0.16	Correcto
S	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9987	-0.13	0.11	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9985	-0.15	0.11	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9968	-0.32	0.26	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9972	-0.28	0.18	Correcto

	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9967	-0.33	0.18	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9973	-0.27	0.14	Correcto
	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9963	-0.37	0.23	Correcto
	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9972	-0.28	0.20	Correcto
T	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9987	-0.13	0.12	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9986	-0.14	0.14	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9976	-0.24	0.16	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9980	-0.20	0.16	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9971	-0.29	0.16	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9975	-0.25	0.18	Correcto
	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9972	-0.28	0.17	Correcto
	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9977	-0.23	0.13	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: Valores de relación de transformación TC-2658

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9985	-0.15	-0.06	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9981	-0.19	-0.15	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9963	-0.37	-0.02	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9959	-0.41	-0.14	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9962	-0.38	0.02	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9960	-0.40	-0.13	Correcto
	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9963	-0.37	-0.03	Correcto
	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9959	-0.41	-0.15	Correcto
S	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9983	-0.17	-0.08	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9980	-0.20	-0.15	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9966	-0.34	-0.03	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9963	-0.37	-0.17	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9967	-0.33	-0.03	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9963	-0.37	-0.18	Correcto
	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9957	-0.43	-0.01	Correcto
	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9958	-0.42	-0.17	Correcto
T	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9987	-0.13	-0.05	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9981	-0.19	-0.16	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9975	-0.25	-0.02	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9968	-0.32	-0.16	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9967	-0.33	-0.06	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9967	-0.33	-0.19	Correcto
	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9955	-0.45	0.06	Correcto
	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9977	-0.40	-0.11	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79: Valores de relación de transformación TC-2659

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9985	-0.15	-0.05	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9984	-0.16	-0.17	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9966	-0.34	-0.01	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9963	-0.37	-0.15	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9965	-0.35	0.02	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9961	-0.38	-0.12	Correcto
	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9964	-0.36	0.02	Correcto
S	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9961	-0.39	-0.12	Correcto
	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9987	-0.13	-0.04	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9981	-0.19	-0.13	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9964	-0.36	0.02	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9962	-0.38	-0.12	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9963	-0.37	0.03	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9962	-0.38	-0.11	Correcto
T	4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9964	-0.36	0.02	Correcto
	4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9962	-0.38	-0.10	Correcto
	1S1 – 1S2	1250/1	1250/0.9989	-0.11	-0.08	Correcto
	1S1 – 1S3	2500/1	2500/0.9984	-0.16	-0.17	Correcto
	2S1 – 2S2	1250/1	1250/0.9968	-0.32	-0.02	Correcto
	2S1 – 2S3	2500/1	2500/0.9967	-0.33	-0.15	Correcto
	3S1 – 3S2	1250/1	1250/0.9966	-0.34	-0.01	Correcto
	3S1 – 3S3	2500/1	2500/0.9966	-0.34	-0.15	Correcto
4S1 – 4S2	1250/1	1250/0.9969	-0.31	-0.02	Correcto	
4S1 – 4S3	2500/1	2500/0.9968	-0.32	-0.16	Correcto	

Fuente: Elaboración propia

7.1.4.4 Medición de curva de saturación (punto de inflexión)

Tabla 80: Puntos de saturación en TC-2637

Conexión	Punto de Saturación Fase R		Punto de Saturación Fase S		Punto de Saturación Fase T	
	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)
1S1 – 1S2	37.21	3.456	36.08	6.452	37.64	3.530
1S1 – 1S3	74.05	1.635	72.14	3.174	74.91	1.708
1S1 – 1S4	151.03	0.904	144.51	1.594	152.12	0.920
2S1 – 2S2	223.60	35.923	213.97	36.811	229.63	29.381
2S1 – 2S3	447.51	17.971	428.88	18.523	459.96	14.796
2S1 – 2S4	894.61	9.065	859.54	9.379	920.29	7.468
3S1 – 3S2	219.05	32.109	215.00	28.896	213.70	37.096
3S1 – 3S3	438.54	16.183	429.41	14.311	427.67	18.564
3S1 – 3S4	878.17	8.177	861.27	7.342	857.69	9.417

4S1 – 4S2	212.76	30.629	219.44	31.804	216.49	35.886
4S1 – 4S3	425.93	15.357	439.11	15.942	431.99	17.712
4S1 – 4S4	852.79	7.767	878.99	8.026	867.64	9.081

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81: Puntos de saturación en TC-2638

Conexión	Punto de Saturación Fase R		Punto de Saturación Fase S		Punto de Saturación Fase T	
	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)
1S1 – 1S2	33.58	4.616	34.33	3.150	32.57	3.590
1S1 – 1S3	67.96	2.424	68.97	1.594	65.46	1.806
1S1 – 1S4	137.82	1.296	140.22	0.865	135.13	1.053
2S1 – 2S2	215.45	45.313	225.25	35.068	213.09	24.587
2S1 – 2S3	430.56	22.568	450.81	17.613	426.41	12.403
2S1 – 2S4	862.38	11.350	902.05	8.891	854.04	6.299
3S1 – 3S2	219.61	33.360	218.91	34.501	218.64	33.825
3S1 – 3S3	439.18	16.763	438.64	17.353	437.70	16.991
3S1 – 3S4	879.52	8.435	877.38	8.748	875.76	8.566
4S1 – 4S2	209.04	33.660	219.74	26.963	220.51	34.165
4S1 – 4S3	418.28	16.864	440.10	13.579	441.17	17.122
4S1 – 4S4	838.14	8.519	879.83	6.832	883.19	8.650

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82: Puntos de saturación en TC-2639

Conexión	Punto de Saturación Fase R		Punto de Saturación Fase S		Punto de Saturación Fase T	
	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)
1S1 – 1S2	61.80	1.918	59.97	2.673	51.51	3.761
1S1 – 1S3	124.35	0.990	117.20	1.254	105.22	2.060
2S1 – 2S2	433.34	21.544	422.80	20.063	417.06	20.438
2S1 – 2S3	866.42	10.762	846.31	10.068	832.94	10.200
3S1 – 3S2	415.61	20.188	413.43	19.811	420.78	19.143
3S1 – 3S3	831.81	10.103	823.72	9.7470	841.86	9.590
4S1 – 4S2	434.22	20.378	427.19	24.147	434.68	22.647
4S1 – 4S3	866.87	10.132	854.67	12.059	869.69	11.348

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83: Puntos de saturación en TC-2658

Conexión	Punto de Saturación Fase R		Punto de Saturación Fase S		Punto de Saturación Fase T	
	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)
1S1 – 1S2	56.51	4.645	61.10	2.225	57.30	3.380
1S1 – 1S3	112.46	2.251	112.17	1.119	114.43	1.672

2S1 – 2S2	426.55	20.698	425.87	19.183	416.85	21.909
2S1 – 2S3	853.14	10.352	851.97	9.604	834.16	10.958
3S1 – 3S2	426.30	20.226	423.53	20.724	411.98	21.440
3S1 – 3S3	852.14	10.096	847.59	10.390	822.26	10.637
4S1 – 4S2	437.22	20.906	426.10	20.343	417.56	20.972
4S1 – 4S3	873.92	10.439	852.75	10.194	835.83	10.494

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84: Puntos de saturación en TC-2659

Conexión	Punto de Saturación Fase R		Punto de Saturación Fase S		Punto de Saturación Fase T	
	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)
1S1 – 1S2	59.54	2.338	62.46	1.993	57.34	1.775
1S1 – 1S3	120.74	1.232	126.55	1.056	115.16	0.912
2S1 – 2S2	424.79	18.964	424.28	20.430	429.47	21.031
2S1 – 2S3	849.13	9.476	848.80	10.235	860.10	10.587
3S1 – 3S2	424.14	22.275	413.29	25.430	421.25	19.751
3S1 – 3S3	848.72	11.168	827.69	12.763	842.92	9.899
4S1 – 4S2	416.50	21.171	430.08	21.040	423.74	19.500
4S1 – 4S3	833.53	10.603	858.02	10.438	847.47	9.747

Fuente: Elaboración propia

7.1.4.5 Medición de resistencia de devanados

Tabla 85: Valores de resistencia de devanados TC-2637

Conexión	I de Prueba (A)	R medida Referidas a 75 °C (Ω)			R esperada (Ω) (pruebas de fábrica a 75°C)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
1S1 – 1S2	1	1.608	1.560	1.586	1.62	1.60	1.63
1S1 – 1S3	1	3.446	3.395	3.372	3.48	3.45	3.50
1S1 – 1S4	1	8.040	7.959	7.882	8.11	8.10	8.11
2S1 – 2S2	1	3.830	3.800	3.717	3.89	3.89	3.84
2S1 – 2S3	1	7.997	7.955	7.759	8.13	8.15	8.02
2S1 – 2S4	1	17.705	17.348	16.988	18.0	17.9	17.5
3S1 – 3S2	1	3.783	3.777	3.785	3.83	3.87	3.90
3S1 – 3S3	1	7.865	7.928	7.822	8.00	8.12	8.11
3S1 – 3S4	1	17.318	17.577	17.222	17.6	18.0	17.9
4S1 – 4S2	1	3.755	3.763	3.838	3.80	3.86	3.97
4S1 – 4S3	1	7.906	7.735	7.997	8.00	7.94	8.25
4S1 – 4S4	1	17.363	16.793	17.359	17.6	17.2	18.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86: Valores de resistencia de devanados TC-2638

Conexión	I de Prueba (A)	R medida Referidas a 75 °C (Ω)			R esperada (Ω) (pruebas de fábrica a 75°C)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
1S1 – 1S2	1	1.528	1.551	1.523	1.62	1.60	1.63
1S1 – 1S3	1	3.280	3.330	3.303	3.48	3.45	3.50
1S1 – 1S4	1	7.737	7.734	7.845	8.11	8.10	8.11
2S1 – 2S2	1	3.596	3.647	3.581	3.89	3.89	3.84
2S1 – 2S3	1	7.520	7.601	7.541	8.13	8.15	8.02
2S1 – 2S4	1	16.511	16.690	16.750	18.0	17.9	17.5
3S1 – 3S2	1	3.644	3.731	3.653	3.83	3.87	3.90
3S1 – 3S3	1	7.438	7.742	7.600	8.00	8.12	8.11
3S1 – 3S4	1	16.168	16.958	16.907	17.6	18.0	17.9
4S1 – 4S2	1	3.727	3.708	3.658	3.80	3.86	3.97
4S1 – 4S3	1	7.833	7.780	7.612	8.00	7.94	8.25
4S1 – 4S4	1	16.970	16.845	16.740	17.6	17.2	18.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87: Valores de resistencia de devanados TC-2639

Conexión	I de Prueba (A)	R medida Referidas a 75 °C (Ω)			R esperada (Ω) (pruebas de fábrica a 75°C)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
1S1 – 1S2	1	2.4762	2.5040	2.5292	2.58	2.59	2.56
1S1 – 1S3	1	5.4623	5.5869	5.6070	5.70	5.75	5.71
2S1 – 2S2	1	6.4895	6.5413	6.7915	6.84	6.72	6.88
2S1 – 2S3	1	13.676	13.744	14.031	14.4	14.0	14.2
3S1 – 3S2	1	6.4508	6.6960	6.7966	6.78	6.88	6.91
3S1 – 3S3	1	13.377	14.083	14.213	14.1	14.5	14.4
4S1 – 4S2	1	6.4854	6.6903	6.7704	6.85	6.85	6.86
4S1 – 4S3	1	13.636	13.997	14.204	14.4	14.3	14.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88: Valores de resistencia de devanados TC-2658

Conexión	I de Prueba (A)	R medida Referidas a 75 °C (Ω)			R esperada (Ω) (pruebas de fábrica a 75°C)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
1S1 – 1S2	1	2.535	2.523	2.517	2.58	2.60	2.58
1S1 – 1S3	1	5.624	5.615	5.646	5.70	5.77	5.75
2S1 – 2S2	1	6.558	6.765	6.591	6.64	6.95	6.72
2S1 – 2S3	1	13.658	14.206	13.783	13.8	14.6	14.0
3S1 – 3S2	1	6.706	6.623	6.606	6.79	6.80	6.74
3S1 – 3S3	1	13.915	13.229	13.811	14.1	14.3	14.1
4S1 – 4S2	1	6.602	6.750	6.727	6.69	6.94	6.84
4S1 – 4S3	1	13.688	14.060	14.093	13.8	14.4	14.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89: Valores de resistencia de devanados TC-2659

Conexión	I de Prueba (A)	R medida Referidas a 75 °C (Ω)			R esperada (Ω) (pruebas de fábrica a 75°C)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
1S1 – 1S2	1	2.577	2.571	2.514	2.59	2.60	2.56
1S1 – 1S3	1	5.752	5.718	5.579	5.78	5.77	5.69
2S1 – 2S2	1	6.603	6.746	6.629	6.63	6.82	6.74
2S1 – 2S3	1	13.697	14.067	13.770	13.8	14.2	14.0
3S1 – 3S2	1	6.786	6.888	6.578	6.882	6.95	6.69
3S1 – 3S3	1	14.377	14.260	13.785	14.4	14.4	14.0
4S1 – 4S2	1	6.707	6.610	6.727	6.72	6.67	6.82
4S1 – 4S3	1	13.848	13.756	14.159	13.9	13.9	14.4

Fuente: Elaboración propia

7.1.4.6 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 90: Valores de resistencia de aislamiento TC-2637

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 3	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 4	15000	>3000	>3000	>3000
Sec.1 vs. Sec.2	500	>5000	>5000	>5000
Sec.1 vs. Sec.3	500	1315	>5000	>5000
Sec.1 vs. Sec.4	500	2517	3288	>5000
Sec.2 vs. Sec.3	500	>5000	>5000	1045
Sec.2 vs. Sec.4	500	3857	1323	>5000
Sec.3 vs. Sec.4	500	>5000	990	>5000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91: Valores de resistencia de aislamiento TC-2638

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 3	15000	>3000	>3000	2154
Primario vs. Secundario 4	15000	>3000	>3000	>3000

Sec.1 vs. Sec.2	500	351	2599	998
Sec.1 vs. Sec.3	500	>5000	>5000	>5000
Sec.1 vs. Sec.4	500	>5000	>5000	>5000
Sec.2 vs. Sec.3	500	751	921	3317
Sec.2 vs. Sec.4	500	>5000	2656	>5000
Sec.3 vs. Sec.4	500	486	1136	1025

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92: Valores de resistencia de aislamiento TC-2639

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 3	15000	1707	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 4	15000	>3000	>3000	>3000
Sec.1 vs. Sec.2	500	820	>5000	>5000
Sec.1 vs. Sec.3	500	>5000	1707	>5000
Sec.1 vs. Sec.4	500	>5000	>5000	>5000
Sec.2 vs. Sec.3	500	730	>5000	>5000
Sec.2 vs. Sec.4	500	>5000	>5000	705
Sec.3 vs. Sec.4	500	>5000	1604	>5000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93: Valores de resistencia de aislamiento TC-2658

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 2	15000	>3000	2070	>3000
Primario vs. Secundario 3	15000	1707	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 4	15000	>3000	>3000	>3000
Sec.1 vs. Sec.2	500	1959	>5000	>5000
Sec.1 vs. Sec.3	500	>5000	>5000	>5000
Sec.1 vs. Sec.4	500	1004	858	>5000
Sec.2 vs. Sec.3	500	1656	>5000	>5000
Sec.2 vs. Sec.4	500	>5000	>5000	1669
Sec.3 vs. Sec.4	500	>5000	>5000	>5000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94: Valores de resistencia de aislamiento TC-2659

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 1	15000	>3000	>3000	1815
Primario vs. Secundario 2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 3	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario 4	15000	>3000	>3000	>3000
Sec.1 vs. Sec.2	500	>5000	>5000	>5000
Sec.1 vs. Sec.3	500	>5000	1694	>5000
Sec.1 vs. Sec.4	500	>5000	>5000	>5000
Sec.2 vs. Sec.3	500	1500	>5000	748
Sec.2 vs. Sec.4	500	>5000	>5000	>5000
Sec.3 vs. Sec.4	500	653	>5000	998

Fuente: Elaboración propia

7.1.5 REACTOR LIMITADOR DE CORRIENTE 220kV

7.1.5.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los reactores limitadores de corriente 220kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 95: Distribucion de Reactor limitador de corriente 220kV en la S.E Colcabamba

R N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	L-2225	R-28	R	5192.173826.10.01
2			S	5192.173826.10.02
3			T	5192.173826.10.03

Fuente: Elaboración propia

7.1.5.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 96: Valores de resistencia de aislamiento R-28

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

7.1.6 SECCIONADORES SEMI PANTÓGRAFO 220kV

7.1.6.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan los seccionadores semi-pantógrafos 220kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 97: Distribucion de seccionadores semi pantógrafos 220kV en la S.E Colcabamba

SSP N°	Celda / Bahía	TAG	Equipo	Serie
1	L-2225	SE-8419	Seccionador	P14336
			Cuchilla Tierra	
2		SE-8421	Seccionador	P14320
3		SB-8427	Seccionador	P14321
4	AT-103-523	SB-8435	Seccionador	P14328
5		SE-8439	Seccionador	P14329
6	L-2140	SB-8551	Seccionador	P14331
7		SE-8555	Seccionador	P14330
8	L-2141	SB-8559	Seccionador	P14333
9		SE-8563	Seccionador	P14332

Fuente: Elaboración propia

7.1.6.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 98: Valores de resistencia de aislamiento Seccionadores Semi Pantógrafo 220kV

TAG	Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
			Fase R	Fase S	Fase T
SE-8419	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SE-8421	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SB-8427	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SB-8435	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SE-8439	Aislador vs. Tierra	15000	1238	1341	1282
SB-8551	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SE-8555	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SB-8559	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SE-8563	Aislador vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

7.1.6.3 Medición de resistencia de contactos

Tabla 99: Valores de resistencia de contactos Seccionadores semi pantógrafo 220kV

TAG	Fase	Equipo	I Inyectada (A)	R medida ($\mu\Omega$)	R esperada ($\mu\Omega$)
SE-8419	R	Seccionador	100	70.90	72-73 \pm 20%
		Cuchilla	100	42.88	-
	S	Seccionador	100	70.76	72-73 \pm 20%
		Cuchilla	100	42.43	-
	T	Seccionador	100	70.98	72-73 \pm 20%
		Cuchilla	100	40.98	-
SE-8421	R	Seccionador	100	72.74	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	71.84	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	71.48	72-73 \pm 20%
SB-8427	R	Seccionador	100	69.96	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	69.55	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	70.18	72-73 \pm 20%
SB-8435	R	Seccionador	100	68.57	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	70.16	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	69.14	72-73 \pm 20%
SE-8439	R	Seccionador	100	62.32	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	62.29	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	62.22	72-73 \pm 20%
SB-8551	R	Seccionador	100	71.80	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	73.53	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	72.79	72-73 \pm 20%
SE-8555	R	Seccionador	100	71.88	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	71.69	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	71.88	72-73 \pm 20%
SB-8559	R	Seccionador	100	68.06	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	67.31	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	68.37	72-73 \pm 20%
SE-8563	R	Seccionador	100	69.38	72-73 \pm 20%
	S	Seccionador	100	70.44	72-73 \pm 20%
	T	Seccionador	100	69.35	72-73 \pm 20%

Fuente: Elaboración propia

7.1.6.4 Medición de tiempos de apertura y cierre del seccionador

Tabla 100: Valores de tiempos de operación seccionadores semi pantógrafos 220kV

TAG	Maniobra		Tiempo de operación (s)		
			Fase R	Fase S	Fase T
SE-8419	Cierre	Seccionador	9.90	9.74	9.55
		Cuchilla	7.68	7.67	7.69
	Apertura	Seccionador	9.80	9.67	9.64
		Cuchilla	7.28	7.30	7.29
SE-8421	Cierre	Seccionador	9.78	9.66	9.62
	Apertura	Seccionador	10.05	9.94	10.29
SB-8427	Cierre	Seccionador	10.30	10.29	10.31
	Apertura	Seccionador	10.32	10.30	10.30
SB-8435	Cierre	Seccionador	9.65	9.62	9.66
	Apertura	Seccionador	9.83	9.91	9.85
SB-8439	Cierre	Seccionador	9.55	9.34	9.29
	Apertura	Seccionador	9.36	9.28	9.47
SB-8551	Cierre	Seccionador	9.68	9.51	9.62
	Apertura	Seccionador	9.95	9.98	9.88
SE-8555	Cierre	Seccionador	9.58	9.05	9.60
	Apertura	Seccionador	10.11	10.12	10.00
SB-8559	Cierre	Seccionador	10.12	10.15	10.13
	Apertura	Seccionador	10.33	10.29	10.31
SE-8563	Cierre	Seccionador	10.11	10.13	10.10
	Apertura	Seccionador	10.27	10.32	10.34

Fuente: Elaboración propia

7.1.6.5 Medición de la corriente del motor

Tabla 101: Valores de corriente de motor seccionadores semi pantógrafos 220kV

TAG	Maniobra		Corriente medida (A)			Corriente Nominal
			Fase R	Fase S	Fase T	
SE-8419	Cierre	Seccionador	0.61	0.77	0.38	1.7
		Cuchilla	1.42	1.18	1.38	1.7
	Apertura	Seccionador	0.68	0.86	1.02	1.7
		Cuchilla	1.16	1.0	1.03	1.7
SE-8421	Cierre	Seccionador	0.94	0.92	0.91	1.7
	Apertura	Seccionador	1.22	1.19	1.16	1.7
SB-8427	Cierre	Seccionador	1.19	1.43	1.16	1.7
	Apertura	Seccionador	1.87	1.87	1.88	1.7

SB-8435	Cierre	Seccionador	1.10	1.06	1.06	1.7
	Apertura	Seccionador	1.42	1.40	1.48	1.7
SE-8439	Cierre	Seccionador	1.18	1.14	1.18	1.7
	Apertura	Seccionador	1.42	1.42	1.47	1.7
SB-8551	Cierre	Seccionador	0.77	0.74	0.79	1.7
	Apertura	Seccionador	0.98	0.95	1.00	1.7
SE-8555	Cierre	Seccionador	0.80	0.74	0.72	1.7
	Apertura	Seccionador	1.22	1.15	1.13	1.7
SB-8559	Cierre	Seccionador	1.40	1.16	1.40	1.7
	Apertura	Seccionador	1.74	1.57	1.80	1.7
SE-8563	Cierre	Seccionador	1.33	1.28	1.26	1.7
	Apertura	Seccionador	1.83	1.83	1.85	1.7

Fuente: Elaboración propia

7.1.7 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 220kV

7.1.7.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan los seccionadores doble apertura 220kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 102: Distribucion de seccionadores doble apertura 220kV en la S.E Colcabamba

SSP N°	Celda / Bahía	TAG	Equipo	Serie
1	L-2225	SE-8605	Seccionador	G13729
2		SE-8607	Seccionador	G13730
3		SL-8423	Seccionador	G13731
4		SA-8425	Seccionador	G13732
5	Acople	SA-8429	Seccionador	G13733
6		SB-8431	Seccionador	G13734
7	AT-103-523	SA-8433	Seccionador	G13751
8		SL-8437	Seccionador Cuchilla PAT	G13741
9	L-2140	SA-8549	Seccionador	G13752
10		SL-8553	Seccionador Cuchilla PAT	G13744
11	L-2141	SA-8557	Seccionador	G13753
12		SE-8561	Seccionador Cuchilla PAT	G13745

Fuente: Elaboración propia

7.1.7.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 103: Valores de resistencia de aislamiento Seccionadores Doble Apertura
220kV

TAG	Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
			Fase R	Fase S	Fase T
SE-8605	Aislador 1 vs. Tierra	15000	2900	2712	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SE-8607	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	1925
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	1216	1850	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	1612	2237
SL-8423	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	2687	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	1056
SA-8425	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	2581	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	1400
SA-8429	Aislador 1 vs. Tierra	15000	2087	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	2625	2455
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	2575	>3000
SB-8431	Aislador 1 vs. Tierra	15000	2787	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SA-8433	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	2925	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SL-8437	Aislador 1 vs. Tierra	15000	2850	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SA-8549	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SL-8553	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	1335
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	2243
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	2537	>3000
SA-8557	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
SL-8561	Aislador 1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
	Aislador 2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	2687
	Aislador 3 vs. Tierra	15000	>3000	1900	2225

Fuente: Elaboración propia

7.1.7.3 Medición de resistencia de contactos

Tabla 104: Valores de resistencia de contactos Seccionadores Doble Apertura

TAG	Fase	Equipo	I Inyectada (A)	R medida ($\mu\Omega$)	R esperada ($\mu\Omega$)
SE-8605	R	Seccionador	100	71.85	67 \pm 20%
	S	Seccionador	100	72.46	67 \pm 20%
	T	Seccionador	100	69.73	67 \pm 20%
SE-8607	R	Seccionador	100	70.00	67 \pm 20%
	S	Seccionador	100	68.54	67 \pm 20%
	T	Seccionador	100	67.59	67 \pm 20%
SL-8423	R	Seccionador	100	70.09	67 \pm 20%
	S	Seccionador	100	70.41	67 \pm 20%
	T	Seccionador	100	69.61	67 \pm 20%
SA-8425	R	Seccionador	100	69.43	67 \pm 20%
	S	Seccionador	100	67.36	67 \pm 20%
	T	Seccionador	100	69.34	67 \pm 20%
SA-8429	R	Seccionador	100	68.99	67 \pm 20%
	S	Seccionador	100	69.79	67 \pm 20%
	T	Seccionador	100	69.47	67 \pm 20%
SB-8431	R	Seccionador	100	70.99	67 \pm 20%
	S	Seccionador	100	72.11	67 \pm 20%
	T	Seccionador	100	71.92	67 \pm 20%
SA-8433	R	Seccionador	100	90.47	90 \pm 20%
	S	Seccionador	100	90.88	90 \pm 20%
	T	Seccionador	100	92.62	90 \pm 20%
SL-8437	R	Seccionador	100	68.46	67 \pm 20%
		Cuchilla	100	40.15	-
	S	Seccionador	100	68.22	67 \pm 20%
		Cuchilla	100	41.41	-
	T	Seccionador	100	68.00	67 \pm 20%
		Cuchilla	100	39.82	-
SA-8549	R	Seccionador	100	91.70	90 \pm 20%
	S	Seccionador	100	91.94	90 \pm 20%
	T	Seccionador	100	90.54	90 \pm 20%
SL-8553	R	Seccionador	100	68.37	67 \pm 20%
		Cuchilla	100	20.08	-
	S	Seccionador	100	68.15	67 \pm 20%
		Cuchilla	100	22.00	-
	T	Seccionador	100	68.58	67 \pm 20%
		Cuchilla	100	21.99	-
SA-8557	R	Seccionador	100	91.91	90 \pm 20%
	S	Seccionador	100	93.01	90 \pm 20%
	T	Seccionador	100	92.72	90 \pm 20%

SL-8561	R	Seccionador	100	67.14	67 ±20%
		Cuchilla	100	42.73	-
	S	Seccionador	100	67.36	67 ±20%
		Cuchilla	100	43.87	-
	T	Seccionador	100	67.49	67 ±20%
		Cuchilla	100	40.96	-

Fuente: Elaboración propia

7.1.7.4 Medición de tiempos de apertura y cierre del seccionador

Tabla 105: Valores de tiempos de operación seccionadores doble apertura

TAG	Maniobra	Tiempo de operación (s)	
		Seccionador	Cuchilla PAT
SE-8605	Cierre	9.54	-
	Apertura	9.83	-
SE-8607	Cierre	9.24	-
	Apertura	9.43	-
SL-8423	Cierre	9.67	-
	Apertura	9.47	-
SA-8425	Cierre	9.03	-
	Apertura	9.55	-
SA-8429	Cierre	9.33	-
	Apertura	9,23	-
SB-8431	Cierre	9.08	-
	Apertura	9.19	-
SA-8433	Cierre	8.84	-
	Apertura	9.52	-
SL-8437	Cierre	8.71	7.32
	Apertura	8.90	7.74
SA-8549	Cierre	8.76	
	Apertura	9.56	
SL-8553	Cierre	9.04	6.55
	Apertura	9.65	7.20
SA-8557	Cierre	9.48	
	Apertura	9.75	
SL-8561	Cierre	9.20	6.57
	Apertura	9.75	6.90

Fuente: Elaboración propia

7.1.7.5 Medición de la corriente del motor

Tabla 106: Valores de corriente de motor seccionadores doble apertura

TAG	Maniobra		Corriente medida (A)			Corriente Nominal
			Fase R	Fase S	Fase T	
SE-8419	Cierre	Seccionador	1.160	1.109	1.143	1.7
	Apertura	Seccionador	1.109	1.057	1.109	1.7
SE-8607	Cierre	Seccionador	1.126	1.091	1.126	1.7
	Apertura	Seccionador	1.109	1.091	1.074	1.7
SL-8423	Cierre	Seccionador	1.091	1.13	1.16	1.7
	Apertura	Seccionador	1.091	1.11	1.04	1.7
SA-8425	Cierre	Seccionador	1.195	1.178	1.160	1.7
	Apertura	Seccionador	1.108	1.108	1.160	1.7
SA-8429	Cierre	Seccionador	1.00	1.00	1.14	1.7
	Apertura	Seccionador	0.97	0.99	1.18	1.7
SB-8431	Cierre	Seccionador	1.16	1.14	1.19	1.7
	Apertura	Seccionador	1.18	1.16	1.19	1.7
SA-8433	Cierre	Seccionador	1.16	1.16	1.14	1.7
	Apertura	Seccionador	1.09	1.11	1.11	1.7
SL-8437	Cierre	Seccionador	1.09	1.00	1.09	1.7
	Cierre	Cuchilla	1.09	1.09	1.13	1.7
	Apertura	Seccionador	0.99	0.95	1.04	1.7
	Apertura	Cuchilla	1.02	0.99	1.00	1.7
SA-8549	Cierre	Seccionador	1.14	1.09	1.14	1.7
	Apertura	Seccionador	1.07	1.04	1.09	1.7
SL-8553	Cierre	Seccionador	1.09	1.11	1.09	1.7
	Cierre	Cuchilla	1.19	1.18	1.19	1.7
	Apertura	Seccionador	1.18	1.07	1.11	1.7
	Apertura	Cuchilla	1.00	0.97	0.99	1.7
SA-8557	Cierre	Seccionador	1.14	1.11	1.12	1.7
	Apertura	Seccionador	1.07	1.07	1.09	1.7
SL-8561	Cierre	Seccionador	1.21	1.14	1.20	1.7
	Cierre	Cuchilla	1.07	1.02	1.02	1.7
	Apertura	Seccionador	1.14	1.16	1.16	1.7
	Apertura	Cuchilla	1.06	1.00	1.07	1.7

Fuente: Elaboración propia

7.1.8 CAPACITOR SHUNT 220kV

7.1.8.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los capacitores Shunt de 220kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 107: Distribucion de Transformadores de Tensión 220kV en la S.E Colcabamba

C N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	L-2225	C-4	R ₁	5192173826.90.1
2			R ₂	5192173826.90.2
3			R ₃	5192173826.90.3
4			S ₁	5192173826.90.4
5			S ₂	5192173826.90.5
6			S ₃	5192173826.90.6
7			T ₁	5192173826.90.7
8			T ₂	5192173826.90.8
9			T ₃	5192173826.90.9

Fuente: Elaboración propia

7.1.8.2 Medición de tangente delta y capacitancia

Tabla 108: Valores de factor de disipación y capacitancia Capacitores Shunt

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R ₁	C. Total (C _n)	10	-	0.2654	12228	12318
	Cuerpo Sup.	10	0.069	0.0855	24681	24604
	Cuerpo Inf.	10	0.063	0.0835	24250	24212
R ₂	C. Total (C _n)	10	-	0.1619	12250	12274
	Cuerpo Sup.	10	0.072	0.1108	24663	24614
	Cuerpo Inf.	10	0.063	0.0978	24357	24333
R ₃	C. Total (C _n)	10	-	0.1566	12201	12219
	Cuerpo Sup.	10	0.072	0.1035	24353	24281
	Cuerpo Inf.	10	0.067	0.1002	24469	24441
S ₁	C. Total (C _n)	10	-	0.1579	12228	12211
	Cuerpo Sup.	10	0.072	0.1040	24681	24251
	Cuerpo Inf.	10	0.067	0.0995	24250	24436
S ₂	C. Total (C _n)	10	-	0.1812	12250	12213
	Cuerpo Sup.	10	0.077	0.1048	24663	24181
	Cuerpo Inf.	10	0.082	0.1252	24357	24511

S ₃	C. Total (C _n)	10	-	0.1647	12201	12217
	Cuerpo Sup.	10	0.072	0.1045	24353	24155
	Cuerpo Inf.	10	0.067	0.1103	24469	24556
T ₁	C. Total (C _n)	10	-	0.1380	12228	12209
	Cuerpo Sup.	10	0.066	0.0983	24681	24370
	Cuerpo Inf.	10	0.055	0.0852	24250	24308
T ₂	C. Total (C _n)	10	-	0.1315	12250	12211
	Cuerpo Sup.	10	0.066	0.0959	24663	24264
	Cuerpo Inf.	10	0.057	0.0830	24357	24432
T ₃	C. Total (C _n)	10	-	0.1261	12201	12291
	Cuerpo Sup.	10	0.062	0.0970	24353	24381
	Cuerpo Inf.	10	0.063	0.0809	24469	24637

Fuente: Elaboración propia

7.1.8.3 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 109: Valores de resistencia de aislamiento Capacitores Shunt

Conexión	Fase	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
			1	2	3
Primario vs. Tierra	R	15000	1050	>3000	>3000
	S	15000	>3000	>3000	>3000
	T	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

7.1.9 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 500kV

7.1.9.1 Distribución de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los transformadores de tensión de 500kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 110: Distribución de Transformadores de Tensión 220kV en la S.E Colcabamba

TT N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	AT-103-523	TT-5032	R	15000563
2			S	15000564
3			T	15000565
4	L-5031	TT-5035	R	15000560
5			S	15000561
6			T	15000562

Fuente: Elaboración propia

7.1.9.2 Medición de tangente delta y capacitancia

Tabla 111: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-5032

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Cuerpo Sup.	10	0.043	0.0703	14975	14991
	Cuerpo Central	10	0.048	0.0655	14845	14861
	Cuerpo Inf.	10	0.043	0.0745	14905	14966
	C. Total (C _n)	10	-	0.0785	5000	5029
	C ₁	10	-	0.1353	5058	5118
	C ₂	2	-	0.0971	283574	284270
S	Cuerpo Sup.	10	0.046	0.0601	14844	14826
	Cuerpo Central	10	0.046	0.0625	14854	14838
	Cuerpo Inf.	10	0.048	0.0717	14823	14852
	C. Total (C _n)	10	-	0.0748	5000	4995
	C ₁	10	-	0.1317	5035	5085
	C ₂	2	-	0.0927	281762	281800
T	Cuerpo Sup.	10	0.041	0.0678	14962	14955
	Cuerpo Central	10	0.040	0.0662	14957	14945
	Cuerpo Inf.	10	0.046	0.1099	14860	14892
	C. Total (C _n)	10	-	0.0827	5000	5026
	C ₁	10	-	0.1413	5065	5117
	C ₂	2	-	0.0932	2811836	282010

Fuente: Elaboración propia

Tabla 112: Valores de factor de disipación y capacitancia TT-5035

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	Tan δ [%] fábrica	Tan δ [%] medido	C (pF) fábrica	C (pF) medida
R	Cuerpo Sup.	10	0.044	0.0615	14863	14849
	Cuerpo Central	10	0.044	0.0622	14861	14843
	Cuerpo Inf.	10	0.039	0.0675	14974	15818
	C. Total (C _n)	10	-	0.0779	5000	5014
	C ₁	10	-	0.1362	5055	5104
	C ₂	2	-	0.0938	283217	282790
S	Cuerpo Sup.	10	0.046	0.0611	14853	14825
	Cuerpo Central	10	0.041	0.0632	14963	14938
	Cuerpo Inf.	10	0.046	0.0722	14838	14848
	C. Total (C _n)	10	-	0.0771	5000	5022
	C ₁	10	-	0.1349	5050	5110
	C ₂	2	-	0.0906	283333	283050
T	Cuerpo Sup.	10	0.040	0.0690	14819	14852
	Cuerpo Central	10	0.050	0.0703	14797	14821
	Cuerpo Inf.	10	0.045	0.0787	14937	14999
	C. Total (C _n)	10	-	0.0868	5000	5007
	C ₁	10	-	0.1441	5040	5097
	C ₂	2	-	0.0977	278941	280020

Fuente: Elaboración propia

7.1.9.3 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad

Tabla 113: Valores de relación de transformación TT-5032

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1a – 1n	4545.45	4543.76	0.04	0.20	Correcto
	2a – 2n	4545.45	4543.60	0.04	0.18	Correcto
	3a – 3n	4545.45	4542.03	0.08	0.17	Correcto
S	1a – 1n	4545.45	4545.26	0.00	0.22	Correcto
	2a – 2n	4545.45	4545.38	0.07	0.23	Correcto
	3a – 3n	4545.45	4543.26	0.05	0.23	Correcto
T	1a – 1n	4545.45	4545.18	0.01	0.32	Correcto
	2a – 2n	4545.45	4543.46	0.04	0.33	Correcto
	3a – 3n	4545.45	4542.77	0.06	0.32	Correcto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 114: Valores de relación de transformación TT-5035

Fase	Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
R	1a – 1n	4545.45	4546.01	-0.01	0.23	Correcto
	2a – 2n	4545.45	4544.24	0.03	0.22	Correcto
	3a – 3n	4545.45	4544.47	0.02	0.23	Correcto
S	1a – 1n	4545.45	4547.65	-0.05	0.19	Correcto
	2a – 2n	4545.45	4544.94	0.01	0.19	Correcto
	3a – 3n	4545.45	4545.83	-0.01	0.20	Correcto
T	1a – 1n	4545.45	4553.03	-0.17	0.20	Correcto
	2a – 2n	4545.45	4550.64	-0.11	0.22	Correcto
	3a – 3n	4545.45	4550.36	-0.11	0.23	Correcto

Fuente: Elaboración propia

7.1.9.4 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 115: Valores de resistencia de aislamiento TT-5032

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N3	15000	>3000	>3000	>3000
Sec. N1 vs. Los demás a tierra	500	>5000	2668	>5000
Sec. N1 vs. Los demás a tierra	500	3879	1759	>5000
Sec. N2 vs. Los demás a tierra	500	1687	1745	>5000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 116: Valores de resistencia de aislamiento TT-5035

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Primario vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N1	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N2	15000	>3000	>3000	>3000
Primario vs. Secundario N3	15000	>3000	>3000	>3000
Sec. N1 vs. Los demás a tierra	500	594	2076	2002
Sec. N1 vs. Los demás a tierra	500	777	2097	>5000
Sec. N2 vs. Los demás a tierra	500	>5000	1682	1054

Fuente: Elaboración propia

7.1.10 INTERRUPTOR 500kV

7.1.10.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan los Interruptores 500kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 117: Distribucion de Interruptores 500kV en la S.E Colcabamba

TC N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	L-5031	IN-5100	R	1HSB01534119-A1
2			S	1HSB01534119-B1
3			T	1HSB01534119-C1

Fuente: Elaboración propia

7.1.10.2 Medición de resistencia de contactos

Tabla 118: Valores de resistencia de contactos IN-5100

Fase	Cámara	I Inyectada (A)	R medida (μΩ)	R esperada (μΩ)
R	Completo	100	60	63 ±20%
	1	100	30	-
	2	100	30	-
S	Completo	100	60	62 ±20%
	1	100	30	-
	2	100	30	-
T	Completo	100	60	61 ±20%
	1	100	30	-
	2	100	30	-

Fuente: Elaboración propia

7.1.10.3 Medición de tangente delta

Tabla 119: Valores de factor de disipación y capacitancia IN-5100

Fase	Aislamiento a medir	Tensión aplicada [kV]	I (mA)	Tan δ [%] medido	C (pF) medido	Perdidas a 10kV (mW)
R	Cámara 1	10	0.0753	0.4124	19.965	3.1
	Cámara 2	10	0.0751	0.3999	19.916	3.0
	Aislador	10	0.1642	0.2200	40.555	3.6
S	Cámara 1	10	0.0733	0.4113	19.436	3.0
	Cámara 2	10	0.0750	0.4138	19.901	3.1
	Aislador	10	0.1639	0.2122	40.408	3.5
T	Cámara 1	10	0.0739	0.4303	19.533	3.2
	Cámara 2	10	0.0719	0.2425	19.039	2.1
	Aislador	10	0.1758	0.3526	43.596	6.2

Fuente: Elaboración propia

7.1.10.4 Medición de tiempos de Operación del Interruptor

Tabla 120: Valores de tiempos de operación IN-2816

Maniobra	Tiempo de operación (ms)			Valor esperado (ms)	Discrepancia de tiempo de operación
	Fase R	Fase S	Fase T		
Cierre (C) Cámara 1	56.5	56.6	56.3	59.9	0.3
Cierre (C) Cámara 2	56.6	56.4	56.0	60.6	0.6
Apertura 1 (O1) Cámara 1	18.0	17.8	17.8	20.1	0.2
Apertura 1 (O1) Cámara 2	18.0	18.1	18.0	19.9	0.1
Apertura 2 (O2) Cámara 1	17.9	17.6	17.9	20.0	0.3
Apertura 2 (O2) Cámara 2	18.0	18.0	18.0	19.9	0.0
Apertura-Cierre (O-C) Cámara 1	56.4	56.5	56.3	60.1	0.2
Apertura-Cierre (O-C) Cámara 2	56.4	56.2	56.0	60.6	0.4
Apertura-cierre-apertura (O-C-O) Cámara 1	17.8	17.8	18.0	20.1	0.2
	288.4	288.3	287.9	289.2	0.5
	40.7	39.9	41.0	44.1	0.8
Apertura-Cierre (O-C) Cámara 2	17.9	18.0	18.1	20.6	0.2
	288.2	287.8	287.6	289.0	0.6
	40.9	40.5	41.3	43.5	0.8

Fuente: Elaboración propia

7.1.10.5 Corriente de la bobina de cierre y apertura, corriente del motor

Tabla 121: Valores de corriente de consumo y tensión en bobinas y motor IN-5100

Bobina	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	2.4	2.6	2.7	2.6	129.0	128.0	127.0
Apertura 1	2.4	2.3	2.4	2.3	128.0	129.0	129.0
Apertura 2	2.4	2.4	2.4	2.3	132.0	128.0	128.0
Motor	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Corriente arranque	25	24.8	25.1	25.4	125	125	125

Fuente: Elaboración propia

7.1.10.6 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 122: Valores de resistencia de aislamiento IN-5100

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Cámara1 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Cámara2 vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Aislador soporte	15000	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

7.1.11 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 500kV

7.1.11.1 Distribución de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan los seccionadores doble apertura 500kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 123: Distribución de seccionadores doble apertura 500kV en la S.E Colcabamba

SDA N°	Celda / Bahía	TAG	Equipo	Serie
1	R-29	SE-5223	Seccionador	H05718

Fuente: Elaboración propia

7.1.11.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 124: Valores de resistencia de aislamiento SE-5223

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Aislador 1 Fase R	15000	>3000	2013	1121
Aislador 2 Fase R	15000	2875	1981	1077
Aislador 3 Fase R	15000	>3000	2123	1211

Fuente: Elaboración propia

7.1.11.3 Medición de resistencia de contactos

Tabla 125: Valores de resistencia de contactos SE-5223

Fase	Equipo	I Inyectada (A)	R medida (μΩ)	R esperada (μΩ)
R	Seccionador	100	93.08	95 ±20%
S	Seccionador	100	92.40	95 ±20%
T	Seccionador	100	92.71	95 ±20%

Fuente: Elaboración propia

7.1.11.4 Medición de tiempos de apertura y cierre del seccionador

Tabla 126: Valores de tiempos de operación SE-5223

Maniobra		Tiempo de operación (s)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	Seccionador	8.87	8.89	8.88
Apertura	Seccionador	8.88	8.91	8.87

Fuente: Elaboración propia

7.1.11.5 Medición de la corriente del motor

Tabla 127: Valores de corriente de motor seccionadores semi pantógrafos 220kV

Maniobra		Corriente medida (A)			Corriente Nominal
		Fase R	Fase S	Fase T	
Cierre	Seccionador	1.11	1.11	1.25	1.7
Apertura	Seccionador	1.00	0.97	1.04	1.7

Fuente: Elaboración propia

7.1.12 PARARRAYOS 444kV

7.1.12.1 Distribucion de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presentan todos los Pararrayos 444kV del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 128: Distribucion de Pararrayos 444kV en la S.E Colcabamba

PR N°	Celda / Bahía	TAG	Fase	Serie
1	AT-103-523	PR-5028	R	75248057
2			S	75248058
3			T	75248059
4			Reserva	75248060
5	L-5031	PR-5031	R	75248050
6			S	75248051
7			T	75248052
8	R-29	PR-5032	R	75248053
9			S	75248054
10			T	75248055

Fuente: Elaboración propia

7.1.12.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 129: Valores de resistencia de aislamiento PR-5028

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)			
		Fase R	Fase S	Fase T	Reserva
Terminal de Alta vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000	>3000
Sección 1	15000	>3000	>3000	>3000	1852
Sección 2	15000	>3000	1292	2154	1482
Sección 3	15000	1292	2154	>3000	1111
Sección 4	15000	1292	>3000	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 130: Valores de resistencia de aislamiento PR-5031

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Terminal de Alta vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 1	15000	1125	>3000	>3000
Sección 2	15000	1875	>3000	>3000

Sección 3	15000	1313	1500	>3000
Sección 4	15000	1875	>3000	>3000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 131: Valores de resistencia de aislamiento PR-5032

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)		
		Fase R	Fase S	Fase T
Terminal de Alta vs. Tierra	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 1	15000	>3000	>3000	>3000
Sección 2	15000	1252	1788	1565
Sección 3	15000	1341	1341	1252
Sección 4	15000	671	1341	2235

Fuente: Elaboración propia

7.1.13 REACTOR DE NEUTRO 115kV

7.1.13.1 Distribución de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presenta el reactor del neutro del proyecto y su distribución en las celdas de la subestación

Tabla 132: Distribución de reactor del neutro en la S.E Colcabamba

R N°	Celda / Bahía	TAG	Serie
1	R-29	RN-6	5192.173826.70.04

Fuente: Elaboración propia

7.1.13.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 133: Valores de resistencia de aislamiento RN-6

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)
Primario vs. Tierra	15000	>3000

Fuente: Elaboración propia

7.1.13.3 Medición de resistencia de aislamiento CT Toroidal

Tabla 134: Valores de resistencia de aislamiento CT Toroidal

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	S1-S2		
		Medido (GΩ)	Referida a 20 °C (GΩ)	Esperada (GΩ)
TC 1 - masa	500	30	29.25	>5

Fuente: Elaboración propia

7.1.13.4 Medición de resistencia óhmica de devanados CT

Toroidal

Tabla 135: Valores de resistencia de devanados CT Toroidal

Conexión	I de Prueba (A)	S1-S2	
		Medido (Ω)	Referida a 75 °C (Ω)
TC 1	2	30	29.25

Fuente: Elaboración propia

7.1.13.5 Medición de relación de transformación y verificación de polaridad CT Toroidal

Tabla 136: Valores de relación de transformación CT Toroidal

Conexión	Relación nominal	Relación medida	Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
1S1 – 1S2	20/1	20/0.9966	-0.34	0.02	Correcto

Fuente: Elaboración propia

7.1.13.6 Medición de curva de saturación CT Toroidal

Tabla 137: Puntos de saturación en CT Toroidal

Conexión	Punto de Saturación	
	(V)	(mA)
1S1 – 1S2	319.89	15.933

Fuente: Elaboración propia

7.1.14 PARARRAYOS 120kV

7.1.14.1 Distribución de equipos en la subestación

En la siguiente tabla se presenta el Pararrayos 120kV del proyecto

Tabla 138: Distribución de Pararrayos 444kV en la S.E Colcabamba

PR N°	Celda / Bahía	TAG	Serie
1	R-29	PR-5033	75248064

Fuente: Elaboración propia

7.1.14.2 Medición de resistencia de aislamiento

Tabla 139: Valores de resistencia de aislamiento PR-5033I

Conexión	Tensión de Prueba / Tiempo 60 S	R referidas a 20 °C (GΩ)
Terminal de Alta vs. Tierra	15000	>3000

Fuente: Elaboración propia

7.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de obtener los resultados, se hace la correspondiente evaluación a los valores obtenidos, teniendo en cuenta los criterios de aceptación establecidos en los procedimientos de pruebas (acápite 6.2)

7.2.1 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 220kV

- Los valores de factor de potencia obtenidos para Cuerpo superior, Cuerpo inferior, C_n , C_1 y C_2 (tabla 19 a tabla 24), son menores a 0.5% (valor máximo de 0.2130), por lo que cumple con lo indicado en la norma 61869-5.
- Los valores de capacitancia obtenidos para Cuerpo superior, Cuerpo inferior, C_n , C_1 y C_2 (tabla 19 a tabla 24), son muy cercanos a los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma 61869-5.
- Los valores de error en la medición de relación de transformación (tabla 25 a tabla 30) para los núcleos de medición clase 0.2 (1a-1n); son menores a 0.2% (valor máximo de 0.15%), por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-5; tabla 501 para núcleos de medida
- Los valores de error en la medición de relación de transformación (tabla 25 a tabla 30) para los núcleos de

proteccion clase 3P (2a-2n, 3a-3n); son menores a 3% (valor máximo de 0.11%), por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-5; tabla 502 para núcleos de protección

- Se verifico la polaridad para todas las conexiones, obteniendo en el equipo de pruebas el resultado de “correcto”
- Los valores de resistencia de aislamiento de primario vs tierra y primario vs los demás secundarios (tabla 31 a tabla 35), son mayores a 5 GΩ (valor mínimo de 1987 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5
- Los valores de resistencia de aislamiento entre los devanados secundarios (tabla 31 a tabla 35), son mayores a 0.1 GΩ (valor mínimo de 192.1 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5

7.2.2 PARARRAYOS 198kV

- No se cuenta con valores de capacitancia de pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 37 a tabla 39) para Cuerpo superior, Cuerpo inferior y C_n; se verificó que los valores son similares en las tres fases para cada terna de Pararrayos.
- No se cuenta con valores de pérdidas de potencia en las pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 37 a tabla 39) para Cuerpo superior, Cuerpo inferior y C_n; se verificó que los valores son similares en las tres fases para cada terna de Pararrayos.

- Los valores de resistencia de aislamiento de terminal de alta vs tierra, sección 1 y sección 2 (tabla 40 a tabla 42), son mayores a 100 GΩ (valor mínimo de 1313 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1

7.2.3 INTERRUPTORES DE POTENCIA 220kV

- Los valores de resistencia de aislamiento de polo completo vs tierra, polo superior y polo inferior (tabla 44 a tabla 48), son mayores a 100 GΩ (valor mínimo de 1242 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1
- No se cuenta con valores de factor de potencia de pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 49 a tabla 53) para Polo completo, Cámara y aislador; se verificó que los valores son similares en las tres fases de cada terna de Interruptores.
- No se cuenta con valores de Capacitancia de pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 49 a tabla 53) para Polo completo, Cámara y aislador; se verificó que los valores son similares en las tres fases de cada terna de Interruptores.
- No se cuenta con valores de pérdidas de potencia de pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 49 a tabla 53) para Polo completo, Cámara y aislador; se verificó que los valores son similares en las tres fases de cada terna de Interruptores.

- Los valores de resistencia de contactos obtenidos en campo (tabla 54 a tabla 58) tienen una desviación menor al 20% de los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-100.
- Los valores de tiempo de operación obtenidos para las operaciones de cierre, apertura 1, apertura 2, Apertura-cierre, Apertura-cierra-apertura (tabla 59 a tabla 63); son similares a los valores obtenidos en fabrica y las discrepancias de polos para tiempos de cierre tienen valores menores a $\frac{1}{4}$ de ciclo o 4.2 ms (valor máximo 1.0ms) y las discrepancias de polos para tiempos de apertura tienen valores menores a $\frac{1}{6}$ de ciclo o 2.7 ms (valor máximo de 0.6ms); por lo que se cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-100
- Los valores de corriente de consumo de bobinas para las maniobras de cierres, apertura 1 y apertura 2 (tabla 64 a tabla 68), son similares a los valores obtenidos en fábrica.
- Los valores de corriente de consumo de motor para la carga del resorte (tabla 64 a tabla 68), son similares a los valores obtenidos en fabrica

7.2.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE 220kV

- Los valores de factor de potencia obtenidos para General, C₁ y C₂ (tabla 70 a tabla 74), son menores a 0.5% (valor máximo de 0.333), por lo que cumple con lo indicado en la norma 61869-1
- Los valores de capacitancia obtenidos para General, C₁ y C₂ (tabla 70 a tabla 74), son muy cercanos a los valores obtenidos

en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma 61869-1

- Los valores de error en la medición de relación de transformación (tabla 75 a tabla 79) para los núcleos de medición clase 0.2S (1S1-1S2-1S3-1S4); son menores o iguales a 0.2% (valor máximo de 0.20%), por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-2; tabla 200.2 para núcleos de medida
- Los valores de error en la medición de relación de transformación (tabla 75 a tabla 79) para los núcleos de protección clase 5P (2S1-2S2-2S3-2S4, 3S1-3S2-3S3-3S4, 4S1-4S2-4S3-4S4); son menores a 1% (valor máximo de 0.45%), por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-2; tabla 200.3 para núcleos de protección
- Se verificó la polaridad para todas las conexiones, obteniendo en el equipo de pruebas el resultado de “correcto”
- Los valores de corriente y tensión en los puntos de saturación para los núcleos de medida y protección obtenidos en campo (tabla 80 a tabla 84), son similares a los valores obtenidos en fábrica.
- Los valores de resistencia de devanados (tabla 85 a tabla 89), tienen valores similares y menores a los obtenidos en fábrica, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-2
- Los valores de resistencia de aislamiento de primario vs tierra y primario vs los demás secundarios (tabla 90 a tabla 94), son

mayores a 5 GΩ (valor mínimo de 1707 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5

- Los valores de resistencia de aislamiento entre los devanados secundarios (tabla 90 a tabla 94), son mayores a 0.1 GΩ (valor mínimo de 351 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5

7.2.5 REACTOR LIMITADOR DE CORRIENTE 220kV

- Los valores de resistencia de aislamiento de primario vs tierra (tabla 96), son mayores a 100GΩ (valor mínimo de >3000GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1

7.2.6 SECCIONADORES SEMI PANTÓGRAFO 220kV

- Los valores de resistencia de aislamiento de Aislador vs Tierra (tabla 98), son mayores a 100 GΩ (valor mínimo de 1238 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1
- Los valores de resistencia de contactos obtenidos en campo (tabla 99) tienen una desviación menor al 20% de los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-102; para el caso de las cuchillas de tierra, se verifico que los valores son similares en las tres fases.
- No se cuenta con los valores de tiempos de operación, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo para las

operaciones de cierre y apertura (tabla 100); se verificó que los valores son similares en las tres fases de cada terna de Seccionador semi pantógrafo

- No se cuenta con los valores de corriente de consumo de motor, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo para las operaciones de cierre y apertura (tabla 101); se verificó que los valores son similares en las tres fases de cada terna de Seccionador semi pantógrafo y menores a la corriente máxima indicada en placa de características.

7.2.7 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 220kV

- Los valores de resistencia de aislamiento de Aislador vs Tierra (tabla 103), son mayores a 100 GΩ (valor mínimo de 1056 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1
- Los valores de resistencia de contactos obtenidos en campo (tabla 104) tienen una desviación menor al 20% de los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-102; para el caso de las cuchillas de tierra, se verificó que los valores son similares en las tres fases.
- No se cuenta con los valores de tiempos de operación, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo para las operaciones de cierre y apertura (tabla 105); se verificó que los valores son similares en los seccionadores doble apertura del proyecto.

- No se cuenta con los valores de corriente de consumo de motor, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo para las operaciones de cierre y apertura (tabla 106); se verificó que los valores para los seccionadores doble apertura son similares entre ellos y menores a la corriente máxima indicada en placa de características.

7.2.8 CAPACITOR SHUNT 220kV

- Los valores de factor de potencia obtenidos para Cuerpo superior, Cuerpo inferior y C_n (tabla 108), son menores a 0.5% y similares a los obtenidos en fabrica (valor máximo de 0.2654), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI NETA ATS
- Los valores de capacitancia obtenidos para Cuerpo superior, Cuerpo inferior y C_n (tabla 108), son muy cercanos a los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI NETA ATS
- Los valores de resistencia de aislamiento de primario vs tierra (tabla 109), son mayores a 100 G Ω (valor mínimo de 1050 G Ω), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1

7.2.9 TRANSFORMADORES DE TENSIÓN 500kV

- Los valores de factor de potencia obtenidos para Cuerpo superior, Cuerpo central, Cuerpo inferior, C_n , C_1 y C_2 (tabla 111 y tabla 112), son menores a 0.5% (valor máximo de 0.1441), por lo que cumple con lo indicado en la norma 61869-5.

- Los valores de capacitancia obtenidos para Cuerpo superior, Cuerpo central, Cuerpo inferior, C_n , C_1 y C_2 (tabla 111 y tabla 112), son muy cercanos a los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma 61869-5.
- Los valores de error en la medición de relación de transformación (tabla 113 y tabla 114) para los núcleos de medición clase 0.2 (1a-1n); son menores a 0.2% (valor máximo de 0.17%), por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-5; tabla 501 para núcleos de medida
- Los valores de error en la medición de relación de transformación (tabla 113 y tabla 114) para los núcleos de protección clase 3P (2a-2n, 3a-3n); son menores a 3% (valor máximo de 0.11%), por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-5; tabla 502 para núcleos de protección
- Se verificó la polaridad para todas las conexiones, obteniendo en el equipo de pruebas el resultado de “correcto”
- Los valores de resistencia de aislamiento de primario vs tierra y primario vs los demás secundarios (tabla 115 y tabla 116), son mayores a 5 G Ω (valor mínimo de >3000 G Ω), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5
- Los valores de resistencia de aislamiento entre los devanados secundarios (tabla 115 y tabla 116), son mayores a 0.1 G Ω (valor mínimo de 594 G Ω), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5

7.2.10 INTERRUPTOR 500kV

- Los valores de resistencia de contactos obtenidos en campo (tabla 118) tienen una desviación menor al 20% de los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-100.
- No se cuenta con valores de factor de potencia de pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 119) para Cámara 1, Cámara 2 y Aislador; se verificó que los valores son similares en las tres fases.
- No se cuenta con valores de Capacitancia de pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 119) para Cámara 1, Cámara 2 y Aislador; se verificó que los valores son similares en las tres fases.
- No se cuenta con valores de pérdidas de potencia de pruebas FAT, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo (tabla 119) para Cámara 1, Cámara 2 y Aislador; se verificó que los valores son similares en las tres fases.
- Los valores de tiempo de operación obtenidos para las operaciones de cierre en cámara 1 y cámara 2, apertura 1 en cámara 1 y cámara 2, apertura 2 en cámara 1 y cámara 2, Apertura-cierre en cámara 1 y cámara 2, Apertura-cierra-apertura en cámara 1 y cámara 2 (tabla 120); son similares a los valores obtenidos en fabrica y las discrepancias de polos para tiempos de cierre tienen valores menores a $\frac{1}{4}$ de ciclo o 4.2 ms (valor máximo 0.6ms) y las discrepancias de polos para

tiempos de apertura tienen valores menores a 1/6 de ciclo o 2.7 ms (valor máximo de 0.3ms); por lo que se cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-100

- Los valores de corriente de consumo de bobinas para las maniobras de cierres, apertura 1 y apertura 2 (tabla 121), son similares a los valores obtenidos en fábrica.
- Los valores de corriente de consumo de motor para la carga del resorte (tabla 121), son similares a los valores obtenidos en fabrica
- Los valores de resistencia de aislamiento de cámara 1 vs tierra, cámara 2 vs tierra y aislador soporte (tabla 122), son mayores a 100 GΩ (valor mínimo de >3000 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1

7.2.11 SECCIONADORES DOBLE APERTURA 500kV

- Los valores de resistencia de aislamiento de Aislador vs Tierra (tabla 124), son mayores a 100 GΩ (valor mínimo de 1077 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1
- Los valores de resistencia de contactos obtenidos en campo (tabla 125) tienen una desviación menor al 20% de los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-102
- No se cuenta con los valores de tiempos de operación, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo para las

operaciones de cierre y apertura (tabla 126); se verificó que los valores son similares para las 3 fases del seccionador.

- No se cuenta con los valores de corriente de consumo de motor, por lo que comparamos los valores obtenidos en campo para las operaciones de cierre y apertura (tabla 127); se verificó que los valores para los seccionadores doble apertura son similares para las 3 fases del seccionador

7.2.12 PARARRAYOS 444kV

- Los valores de resistencia de aislamiento de terminal de alta vs tierra, sección 1, sección 2, sección 3 y sección 4 (tabla 129 a tabla 131), son mayores a $100\text{ G}\Omega$ (valor mínimo de $671\text{ G}\Omega$), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1

7.2.13 REACTOR DE NEUTRO 115kV

- El valor de resistencia de aislamiento de primario vs tierra (tabla 133), es mayor a $100\text{ G}\Omega$ (valor de $>3000\text{ G}\Omega$), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1
- El valor de resistencia de aislamiento de primario vs tierra en el transformador de corriente (tabla 134), es mayor a $5\text{ G}\Omega$ (valor de $29.25\text{ G}\Omega$), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5
- No se cuenta con el valor de resistencia de devanados, por lo que el valor obtenido (tabla 135) servirá para futuros controles

- Los valores de error en la medición de relación de transformación (tabla 136) para el núcleo de protección clase 5P (1S1-1S2); es menor a 1% (valor de 0.34%), por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-2; tabla 200.3 para núcleos de protección
- Se verifico la polaridad para todas las conexiones, obteniendo en el equipo de pruebas el resultado de “correcto”
- Los valores de corriente y tensión en los puntos de saturación para los núcleos de medida y protección obtenidos en campo (tabla 137), son similares a los valores obtenidos en fabrica.

7.2.14 PARARRAYOS 120kV

- El valor de resistencia de aislamiento de terminal de alta vs tierra, (tabla 139), es mayor a 100 GΩ (valor de >3000 GΩ), por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1

VIII. APORTES LOGRADOS PARA EL DESARROLLO DEL CENTRO LABORAL

- Luego de ejecutar el montaje de los equipos de alta y extra alta tensión, se deben realizar las pruebas individuales en sitio con el fin de verificar si los equipos sufrieron algún daño durante su etapa de transporte y/o montaje y su ensamble ha sido el definido por el fabricante; el éxito en la ejecución de las pruebas y la obtención de resultados acordes a lo especificado en normas y protocolos de fábrica, garantizaron que el montaje electromecánico (también realizado por nuestra empresa) fue realizado correctamente.
- El área de pruebas eléctricas en la empresa era nueva; por lo cual, debido a la envergadura del proyecto, se obtuvo una buena experiencia que serviría para futuras cartas de presentación de la empresa.
- Se establecieron procedimientos documentados de trabajo, los cuales se incluyeron al SIG (Sistema Integrado de Gestión) de la empresa, para su uso en futuros proyectos y servicios relacionados a las actividades de pruebas a equipos de patio.
- Se brindó aportes en la identificación de peligros y evaluación de riesgos asociados a la actividad.
- Se capacitó al personal técnico que apoyo en la ejecución de las pruebas eléctricas en el procedimiento de trabajo, peligros y riesgos asociados a la actividad.

IX. APORTES PARA LA FORMACIÓN PROFESIONAL

- El aporte primordial para la formación profesional es contar con la competencia de laborar en el rubro de transmisión y distribución eléctrica, ejecutando pruebas eléctricas de campo a equipos de patio en subestaciones eléctricas
- Esta experiencia sirvió para la especialización en la ejecución de pruebas eléctricas a equipos de patio, ampliar conocimientos teóricos en cuanto a las normativas internacionales y los criterios de aceptación para estas pruebas
- Otro aporte principal es la interacción del trabajo en campo, dirigiendo a personal técnico, ejecutando las pruebas eléctricas y evaluando inmediatamente los resultados para tomar decisión de continuar con el siguiente equipo o realizar alguna acción correctiva

X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

- Las pruebas eléctricas de aceptación a equipos de patio son muy importantes ya que permiten evaluar la condición del equipo al inicio de su vida útil y con ello garantizar la correcta operación de estos equipos, asegurando así la continuidad en la operación.
- Se identificaron las características técnicas de la Subestación Colcabamba 500/220kV; la cual tiene un patio en 500kV con configuración “Interruptor y Medio” y un patio en 220kV con configuración “Doble Barra más Seccionador de Transferencia”, se identificaron las celdas o bahías y los equipos que conforman estos patios
- Se realizó una descripción técnica de los diferentes tipos de pruebas de campo (SAT) que se realizaron a los equipos de patio de la Subestación Colcabamba 500/220kV
- Se identificaron los equipos de patio a los cuales se realizaron las pruebas en el patio de 500kV y 220kV con su nomenclatura operativa (TAG) y número de serie por cada equipo en las tablas 18, 36, 43, 69, 95, 97, 102, 107, 110, 117, 123, 128 132 y 138.
- Se presentó a detalle los resultados e interpretación de estos resultados, teniendo en cuenta los criterios de aceptación de las pruebas eléctricas de campo (SAT) realizadas a cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión (interruptores, seccionadores,

transformadores de corriente, transformadores de tensión, capacitores Shunt, Reactores y pararrayos); obteniendo principalmente los siguientes resultados satisfactorios.

- El valor máximo de factor de potencia para TT 220kV y 500kV, TC 220kV y Capacitores Shunt 220kV es 0.333; cumpliendo con lo indicado en las normas 61869-1 y 61869-5 (<0.5%).
- El valor máximo de error en la medición de relación de transformación para núcleos de medición clase 0.2 en TT 220kV y 500kV es 0.17%, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-5; tabla 501 para núcleos de medida (<0.2%)
- El valor máximo de error en la medición de relación de transformación para núcleos de protección clase 3P en TT 220kV y 500kV es 0.11%, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-5; tabla 502 para núcleos de protección (<0.3%)
- El valor mínimo de resistencia de aislamiento de primario vs tierra y primario vs los demás secundarios para TT 220kV y 500kV, TC 220kV y Capacitores Shunt 220kV es 1050 GΩ, por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5 (>5 GΩ)
- El valor mínimo de resistencia de aislamiento entre secundarios para TC 220kV, TT 220kV y 500kV, es 192.1 GΩ, por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.5 (>0.1 GΩ)

- El valor mínimo de resistencia de aislamiento en pararrayos 198kV y 444kV, Interruptores 220kV y 500kV, Seccionadores 220kV y 500kV es 671 GΩ, por lo que cumple con lo indicado en la norma ANSI/NETA ATS tabla 100.1
- Los valores de resistencia de contactos en seccionadores 220kV y 500kV, Interruptores 220kV y 500kV tienen una desviación menor al 20% de los valores obtenidos en las pruebas FAT, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-100.e IEC 62271-102
- Los valores de las discrepancias de polos en Interruptores 220kV y 500kV; para tiempos de cierre tienen valores menores a ¼ de ciclo o 4.2 ms (valor máximo 1.0ms) y las discrepancias de polos para tiempos de apertura tienen valores menores a 1/6 de ciclo o 2.7 ms (valor máximo de 0.6ms); por lo que se cumple con lo indicado en la norma IEC 62271-100
- El valor máximo de error en la medición de relación de transformación para núcleos de medición clase 0.2S en TC 220kV es 0.20%, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-2; tabla 200.2 para núcleos de medida ($\leq 0.2\%$)
- El valor máximo de error en la medición de relación de transformación para núcleos de protección clase 5P en TC 220kV es 0.45%, por lo que cumple con lo indicado en la norma IEC 61869-2; tabla 200.3 para núcleos de protección ($\leq 1\%$)

10.2 RECOMENDACIONES

- Los valores obtenidos en las pruebas eléctricas a los equipos de patio son un punto de partida para el inicio de su vida útil, estos valores deben ser comparados con resultados de futuras pruebas a realizar, donde alguna desviación servirá para tomar las acciones correctivas que correspondan.
- Se recomienda realizar las pruebas eléctricas a los equipos de patio cada 12 meses para evaluar el estado y tendencia de estos equipos, estas intervenciones deben ser realizadas por personal calificado.
- La empresa debe capacitar constantemente a su personal ingenieros y técnicos sobre la normatividad internacional vigente, teoría y práctica de las pruebas eléctricas a equipos de alta y extra alta tensión, seguridad y salud en el trabajo para las actividades a realizar.
- La empresa debe mantener los equipos de pruebas eléctricas con calibración vigente, considerar que las calibraciones tienen un periodo de validez máximo de doce (12) meses
- La escuela profesional de Ingeniería en energía debe promover capacitaciones y seminarios teóricos – prácticos y adquirir los equipos e instrumentos relacionados a las pruebas eléctricas de campo de equipos de alta y extra alta tensión con el objetivo de tener egresados especializados en el tema

XI.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mejía, V. (2003). *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión*. Colombia: Impresiones Graficas Ltda.
- Trashorras, J. (2015). *Subestaciones Eléctricas*. España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Harper, E. (2005). *Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Mediana y Alta Tensión*. México: Editorial Limusa S.A.
- MEGGER. 2012. *Evaluación de Estado de Equipo de Subestación*. 84 pp.
- OMICRON. 2015. *CPC-100 Manual de usuario*. 73 pp.
- OMICRON. 2015. *CP-TD1 Manual de usuario*. 172 pp.
- OMICRON. 2015. *PTM para CIBANO 500 Manual de usuario*. 249 pp.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS. ANSI/NETA ATS-2015. *Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems*. Edit. Copyright© 259 pp.
- IEC 61869-1. 2007. International Electrotechnical Commission. *Instrument Transformers - Part 1: General Requirements*. Edit. Copyright©. 150 pp.
- IEC 61869-2. 2012. International Electrotechnical Commission. *Instrument Transformers - Part 2: Additional requirements for current transformers*. Edic. 2012-09. Edit. Copyright©. 140 pp.

- IEC 61869-5. 2011. International Electrotechnical Commission. *Instrument Transformers - Part 5: Additional requirements for capacitor voltage transformers*. Edic. 2011-07. Edit. Copyright©. 106 pp.
- IEC 60099-8. 2011. International Electrotechnical Commission. *Metal oxide surge arresters with external series gap (EGLA) for overhead transmission and distribution lines of a.c. systems above 1 kV- Part 8*. Edic. 2011-01. Edit. Copyright©. 123 pp.
- IEC 62271-1. 2007. International Electrotechnical Commission. *High voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications*. Edic. 2007-10. Edit. Copyright©. 252 pp.
- IEC 62271-100. 2011. International Electrotechnical Commission. *High voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating current circuit breakers*. Edic. 2008-04. Edit. Copyright©. 695 pp.
- IEC 62271-102. 2011. International Electrotechnical Commission. *High voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current Disconnectors and earthing switches*. Edic. 2011-12. Edit. Copyright©. 90 pp..

XII.ANEXOS

12.1 ANEXO 1: DIAGRAMAS UNIFILARES

12.1.1 S.E. COLCABAMBA - BAHÍAS 500KV

12.1.2 S.E. COLCABAMBA - BAHÍAS 220KV

12.1.3 S.E. COLCABAMBA - BAHÍAS CERRO DEL ÁGUILA

12.2 ANEXO 2: PLANO DE DISPOSICIÓN FÍSICA SUBESTACIÓN

COLCABAMBA 500/220kV

12.2.1 S.E. COLCABAMBA - BAHÍAS 500KV Y 220KV

12.2.2 S.E. COLCABAMBA - BAHÍAS CERRO DEL ÁGUILA

12.3 ANEXO 3: CERTIFICADO DE TRABAJO

12.4 ANEXO 4: EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO

12.5 ANEXO 5: ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

12.6 ANEXO 6: DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA

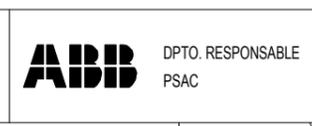
12.7 ANEXO 7: REPORTE DE ORIGINALIDAD

ANEXO 1

S.E. Colcabamba 500/220 kV

Bahías de 500 kV

Revisión	Descripción	Fecha	Nombre	Aprobado
G	Ref: Comentarios 19.03.16	02.05.16	D. C.	Fecha
F	Ref: Comentarios 10.01.16	22.02.16	D. C.	Proyectado
E	Ref: reunión 16.12.15	23.12.15	D. C.	Revisado
				Aprobado



DPTO. RESPONSABLE
PSAC

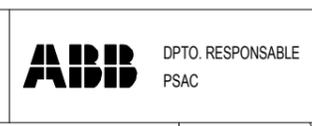
S.E. Colcabamba 500/220 kV
Diagrama Unifilar General S.E. Colcabamba 500/220 kV
Bahías de 500 kV

PE-MAMO-21Z01-S-02-K2001	=DU
PEABB-PSAC15-AS5004-DU-COL-01	Hj.No. 3
	14 Hojas

S.E. Colcabamba 500/220 kV

Bahías de 220 kV

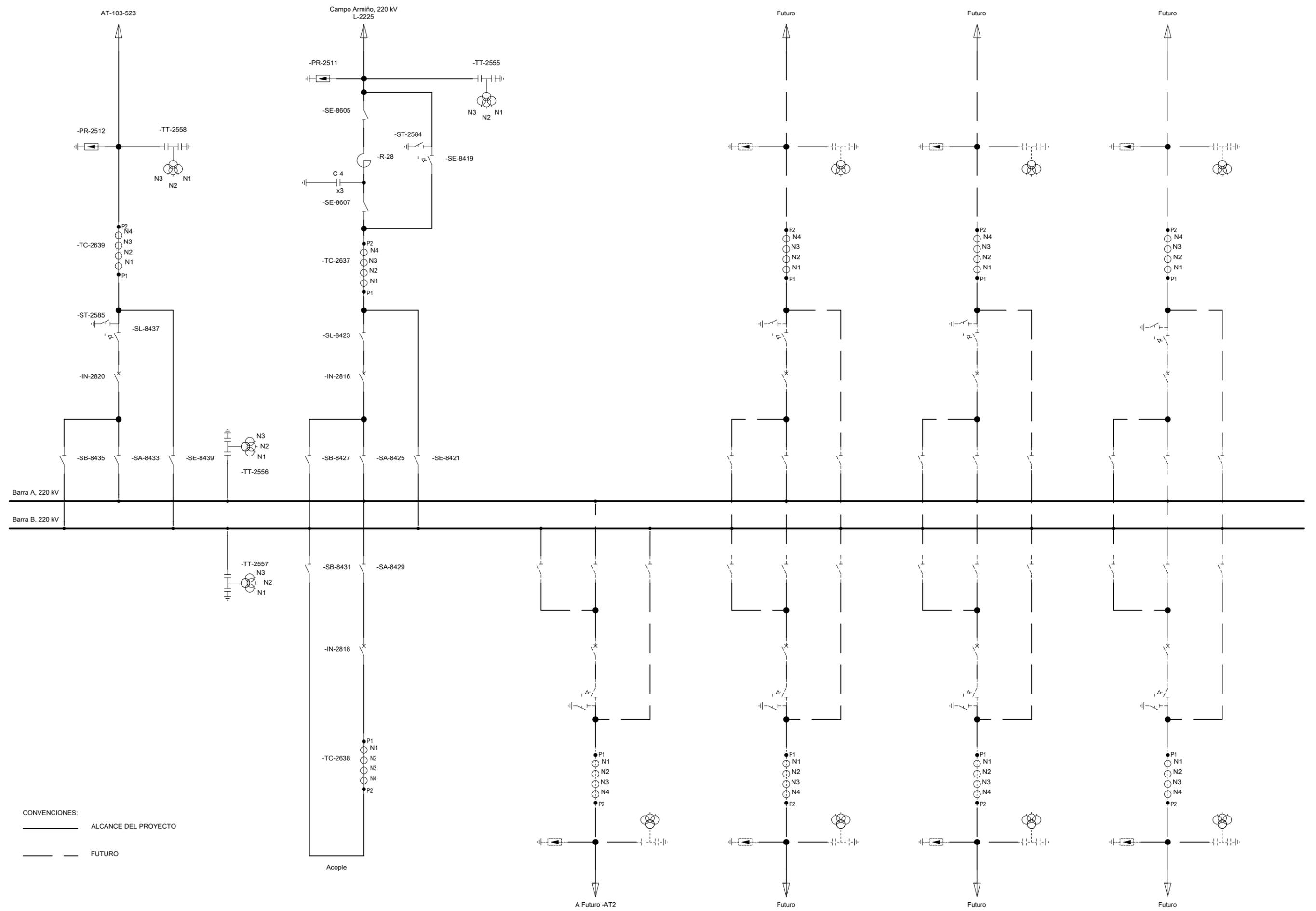
Revisión	Descripción	Fecha	Nombre	Aprobado
G	Ref: Comentarios 19.03.16	02.05.16	D. C.	Fecha
F	Ref: Comentarios 10.01.16	22.02.16	D. C.	Proyectado
E	Ref: reunión 16.12.15	23.12.15	D. C.	Revisado
				Aprobado



DPTO. RESPONSABLE
PSAC

S.E. Colcabamba 500/220 kV
Diagrama Unifilar General S.E. Colcabamba 500/220 kV
Bahías de 220 kV

PE-MAMO-21Z01-S-02-K2001	=DU
PEABB-PSAC15-AS5004-DU-COL-01	Hj.No. 6
	14 Hojas



CONVENCIONES:
 ——— ALCANCE DEL PROYECTO
 - - - - - FUTURO

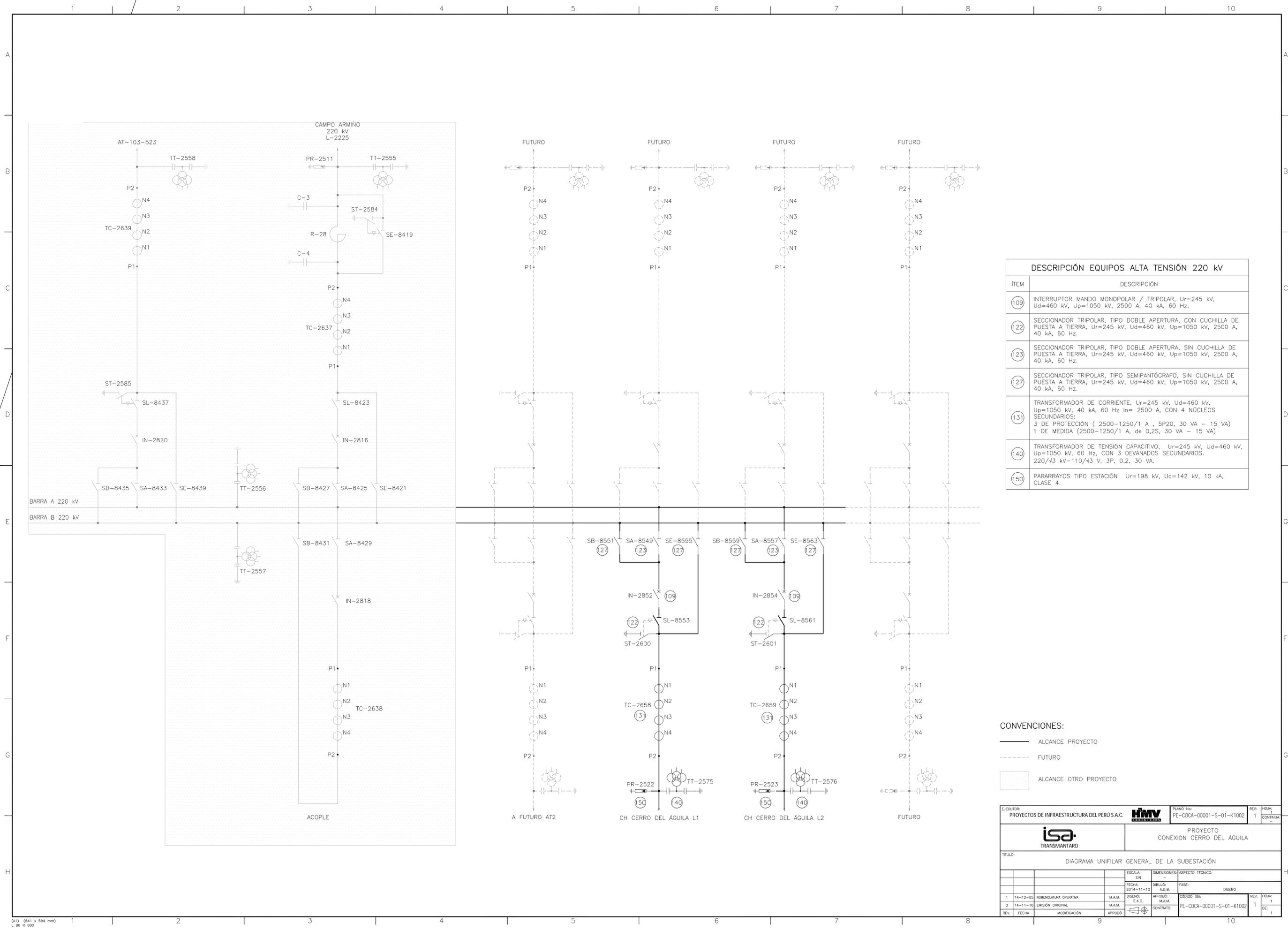
G	Ref: Comentarios 19.03.16	02.05.16	D. C.	Fecha	23.12.15
F	Ref: Comentarios 10.01.16	22.02.16	D. C.	Proyectado	I. Turpo
E	Ref: reunión 16.12.15	23.12.15	D. C.	Revisado	P. Laurente
Revisión	Descripción	Fecha	Nombre	Aprobado	R. Tafur



S.E. Colcabamba 500/220 kV
 Diagrama Unifilar General S.E. Colcabamba 500/220 kV
 Diagrama Unifilar General 220 kV

PE-MAMO-21Z01-S-02-K2001
 PEABB-PSAC15-AS5004-DU-COL-01

=DU	Hj.No. 7
14 Hojas	



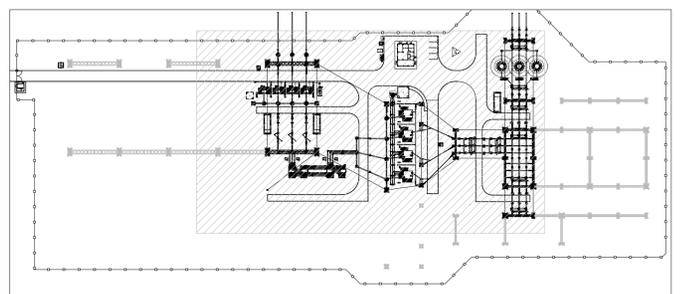
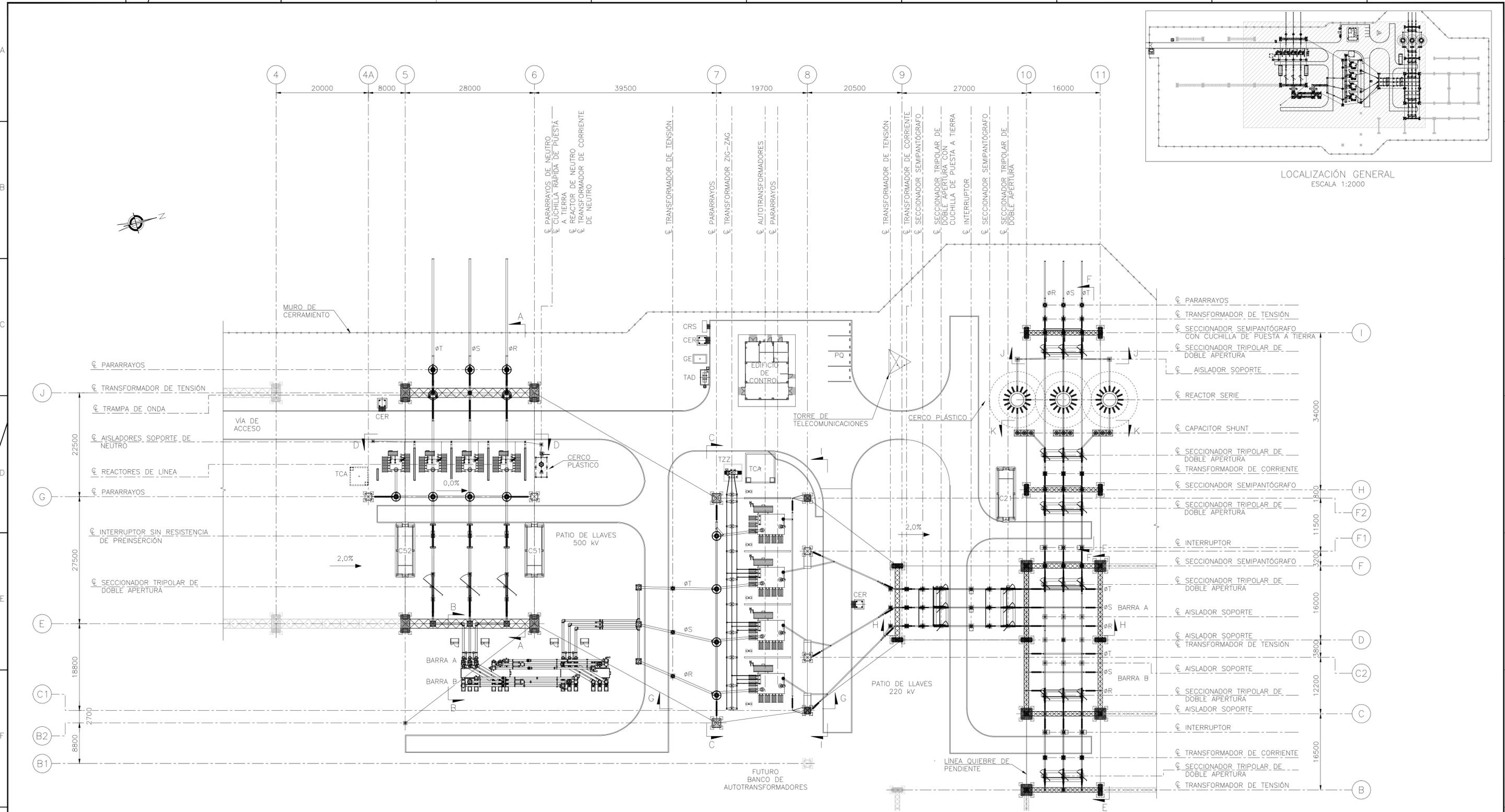
DESCRIPCIÓN EQUIPOS ALTA TENSION 220 kV	
ITEM	DESCRIPCIÓN
(109)	INTERRUPTOR MANDO MONOPOLAR / TRIPOLAR, Ur=245 kV, Ud=460 kV, Up=1050 kV, 2500 A, 40 kA, 60 Hz.
(122)	SECCIONADOR TRIPOLAR, TIPO DOBLE APERTURA, CON CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA, Ur=245 kV, Ud=460 kV, Up=1050 kV, 2500 A, 40 kA, 60 Hz.
(123)	SECCIONADOR TRIPOLAR, TIPO DOBLE APERTURA, SIN CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA, Ur=245 kV, Ud=460 kV, Up=1050 kV, 2500 A, 40 kA, 60 Hz.
(127)	SECCIONADOR TRIPOLAR, TIPO SEMIPANTÓGRAFO, SIN CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA, Ur=245 kV, Ud=460 kV, Up=1050 kV, 2500 A, 40 kA, 60 Hz.
(131)	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE, Ur=245 kV, Ud=460 kV, Up=1050 kV, 40 kA, 60 Hz In= 2500 A, CON 4 NÚCLEOS SECUNDARIOS: 3 DE PROTECCIÓN (2500-1250/1 A , 5P20, 30 VA - 15 VA) 1 DE MEDIDA (2500-1250/1 A, de 0,2S, 30 VA - 15 VA)
(140)	TRANSFORMADOR DE TENSION CAPACITIVO, Ur=245 kV, Ud=460 kV, Up=1050 kV, 60 Hz, CON 3 DEVANADOS SECUNDARIOS. 220/√3 kV-110/√3 V, 3P, 0,2, 30 VA.
(150)	PARARRAYOS TIPO ESTACIÓN Ur=198 kV, Uc=142 kV, 10 kA, CLASE 4.

CONVENCIONES:

- ALCANCE PROYECTO
- - - - - FUTURO
- ▨ ALCANCE OTRO PROYECTO

EJECUTOR: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL PERÚ S.A.C.		PLANO No: PE-COCA-00001-S-01-K1002		REV: 1	HOM: 1
		PROYECTO CONEXIÓN CERRO DEL ÁGUILA			
TÍTULO: DIAGRAMA UNIFILAR GENERAL DE LA SUBESTACIÓN					
ESCALA: SIN		DIMENSIONES: SIN		ASPECTO TÉCNICO: SIN	
FECHA: 2014-11-10		DIBUJÓ: A.D.B.		FASE: DISEÑO	
1	14-12-05	NOMENCLATURA OPERATIVA	M.A.M.	APROBÓ: M.A.M.	CODIGO ISA: PE-COCA-00001-S-01-K1002
0	14-11-10	EMISIÓN ORIGINAL	M.A.M.	APROBÓ: M.A.M.	CONTRATO: PE-COCA-00001-S-01-K1002
REV.	FECHA	MODIFICACIÓN	APROBÓ	DE: 1	DE: 1

ANEXO 2



LOCALIZACIÓN GENERAL
ESCALA 1:2000

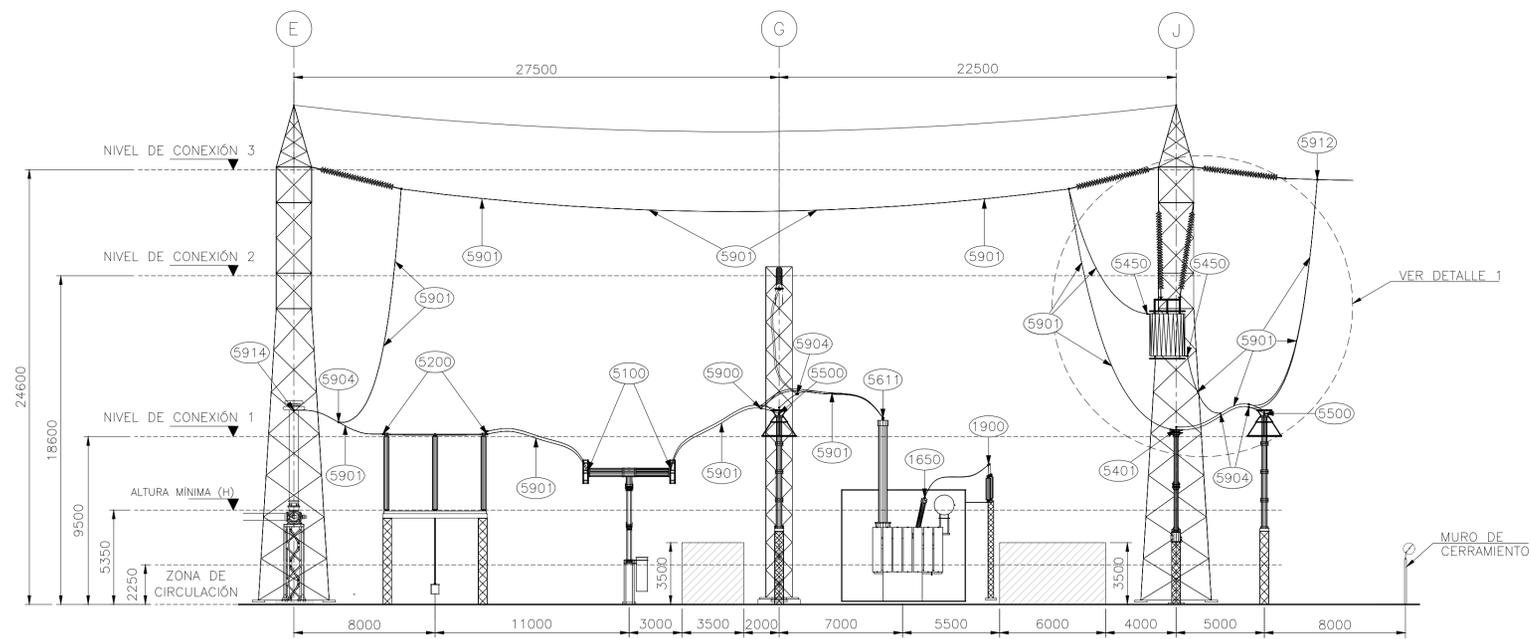
PLANTA DETALLADA
ESCALA 1:400

NOTA:
- VER NOTAS GENERALES Y CONVENCIONES EN HOJA 1 DE ESTE PLANO

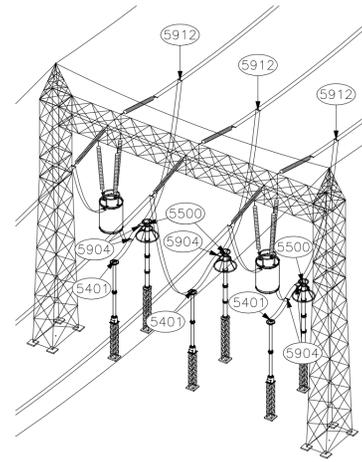
HMV
APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
Fecha: 2015-12-14

La aprobación o revisión no exime al proveedor/contratista de su responsabilidad de cumplir todos los requerimientos de la orden de compra

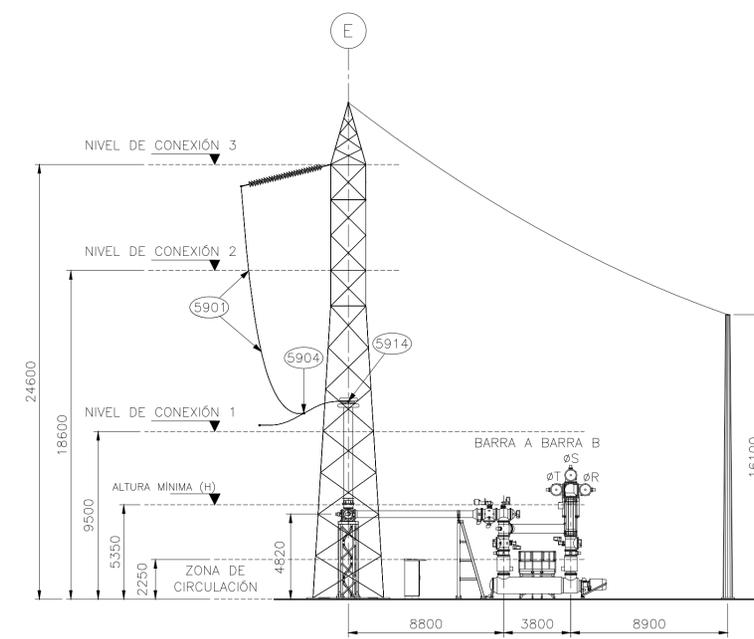
EJECUTOR: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL PERÚ S.A.C.		HMV		PLANO No: PE-MAMO-00005-S-02-K2054	REV: 4	HOJA: 2
ISA TRANSANTARO		PROYECTO LÍNEA DE TRANSMISIÓN 500 kV MANTARO-MARCONA-SOCABAYA-MONTALVO				
TÍTULO: SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220 kV DISPOSICIÓN FÍSICA - PLANTA DETALLADA						
4	15-09-23	ACTUALIZACIÓN EQUIPOS	MAM	ESCALA: INDICADA	DIMENSIONES: mm	ASPECTO TÉCNICO:
3	15-02-20	PARARRAYOS UNIDAD DE RESERVA	MAM	FECHA: 2014-03-20	DIBUJO: FSL	FASE: DISEÑO
2	14-08-25	ADICIÓN TRAMPA DE ONDA	MAM	DISEÑO: AFMR	APROBADO: MAM	CÓDIGO ISA: PE-MAMO-00005-S-02-K2054
1	14-07-14	VAG INTERNOS	MAM	EMISIÓN ORIGINAL	CONTRATO: 00005	REV: 4
0	14-03-20	EMISIÓN ORIGINAL	MAM			HOJA: 2
						DE: 5



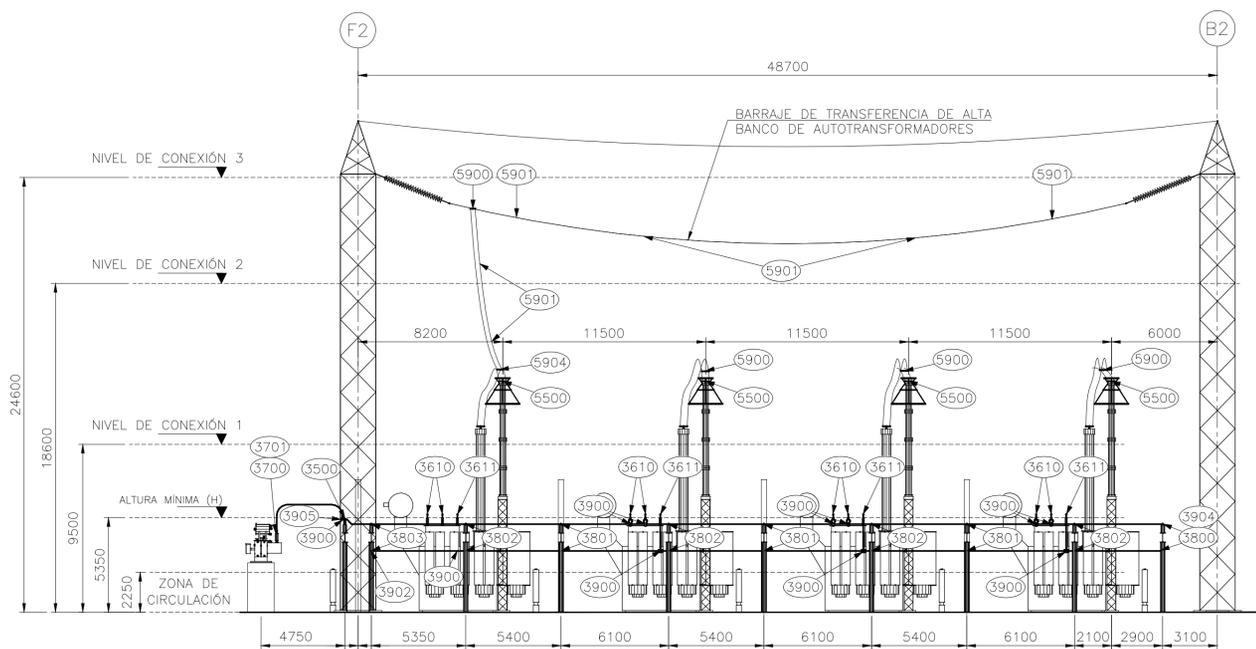
SECCIÓN A-A
ESCALA 1:200



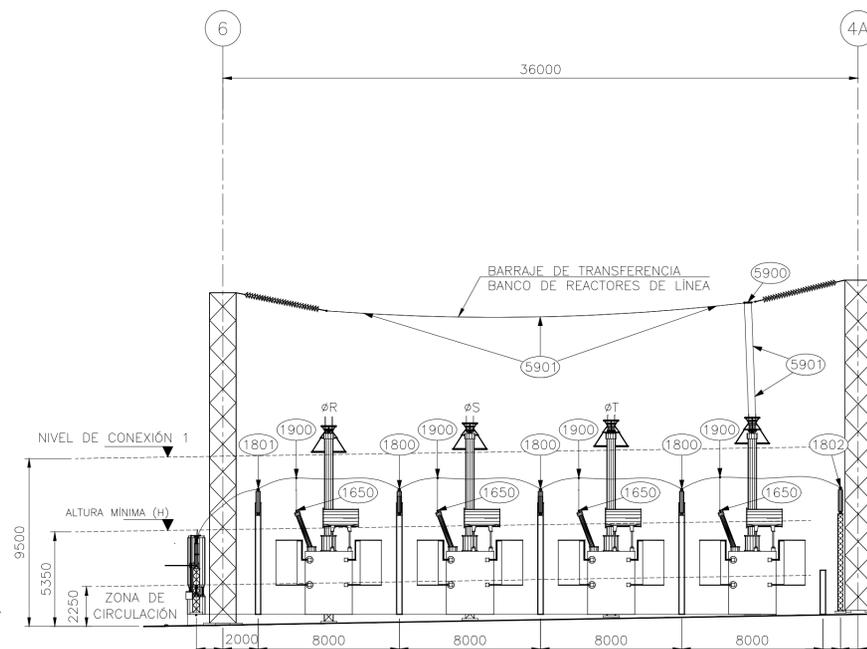
DETALLE 1
SIN ESCALA



SECCIÓN B-B
ESCALA 1:200



SECCIÓN C-C
ESCALA 1:200



SECCIÓN D-D
ESCALA 1:200

CONVENCIONES:

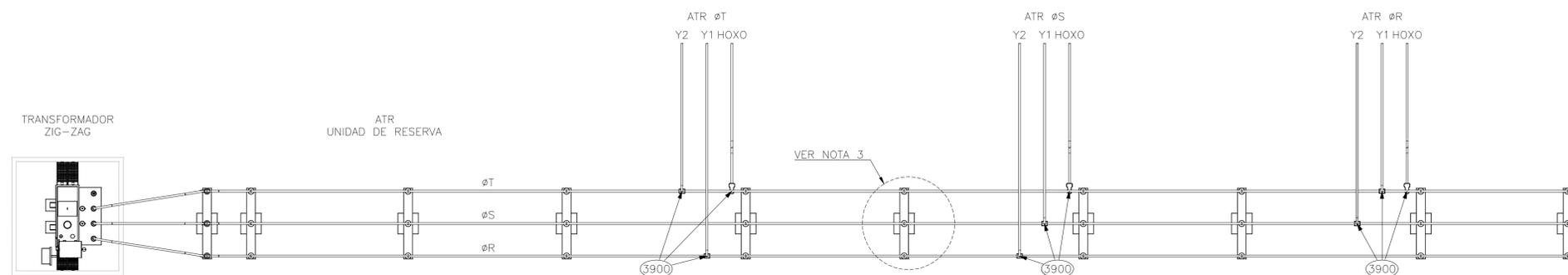


NOTA:

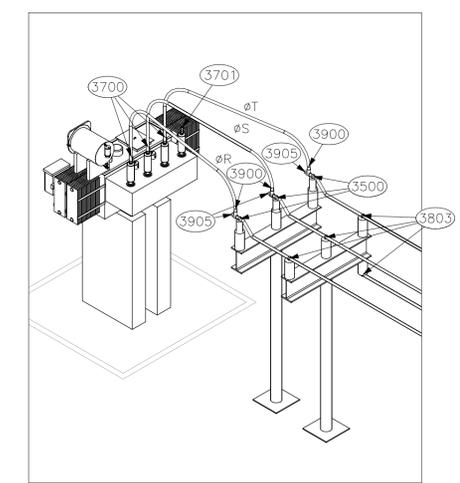
- VER NOTAS GENERALES Y CONVENCIONES EN HOJA 1 DE ESTE PLANO

HMV
APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN
Fecha: 2015-12-14
La aprobación o revisión no exime al proveedor/contratista de su responsabilidad de cumplir todos los requerimientos de la orden de compra

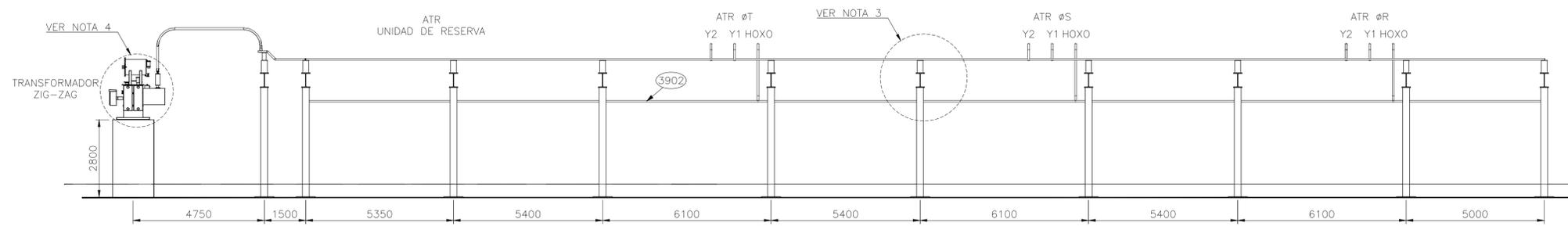
EJECUTOR: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL PERÚ S.A.C.		HMV		PLANO No: PE-MAMO-00005-S-02-K2054	REV: 4	HOJA: 3
ISA TRANSANTARO		PROYECTO LÍNEA DE TRANSMISIÓN 500 kV MANTARO-MARCONA-SOCABAYA-MONTALVO				
TÍTULO: SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220 kV DISPOSICIÓN FÍSICA - CORTES 500 kV						
4	15-09-23	ACTUALIZACIÓN EQUIPOS	MAM	ESCALA: 1:200	DIMENSIONES: ASPECTO TÉCNICO:	
3	15-02-20	PARARRAYOS UNIDAD DE RESERVA	MAM	FECHA: 2014-03-20	DIBUJO: FSL	FASE: DISEÑO
2	14-08-25	ADICIÓN TRAMPA DE ONDA	MAM	DISEÑO: AFMR	APROBADO: MAM	CÓDIGO ISA: 00005
1	14-07-14	VAG INTERNOS	MAM	CONTRATO: 00005	PE-MAMO-00005-S-02-K2054	REV: 4
0	14-03-20	EMISIÓN ORIGINAL	MAM			HOJA: 3
REV:	FECHA	MODIFICACIÓN	APROBADO			DE: 5



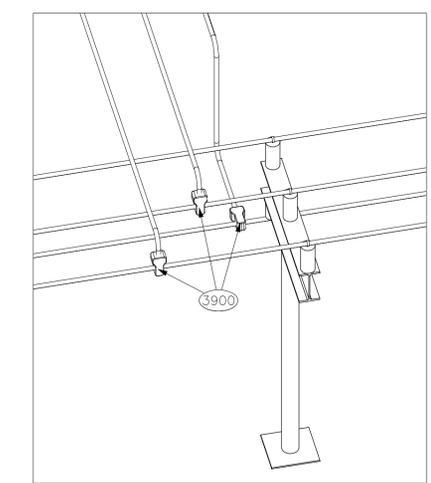
PLANTA
BANCO DE AUTOTRANSFORMADORES
CONFORMACIÓN DE DELTA TRANSFORMADOR
ZIG-ZAG
ESCALA 1:100



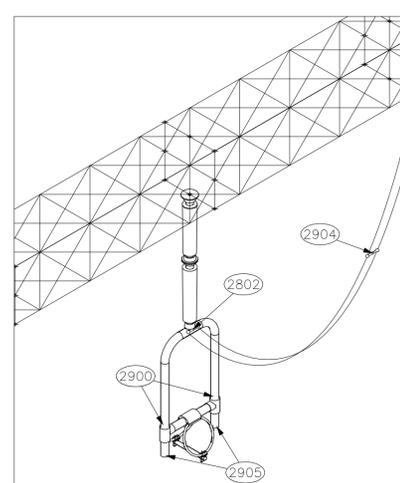
DETALLE 2
ISOMÉTRICO CONEXIÓN TRANSFORMADOR
ZIG-ZAG
BANCO DE AUTOTRANSFORMADORES
SIN ESCALA



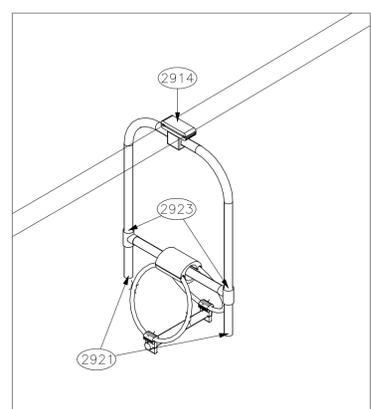
VISTA FRONTAL
BANCO DE AUTOTRANSFORMADORES
CONFORMACIÓN DE DELTA TRANSFORMADOR
ZIG-ZAG
ESCALA 1:100



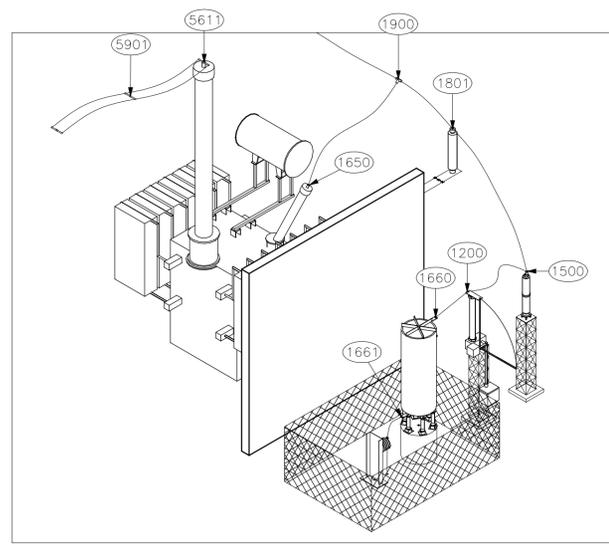
DETALLE 3
ISOMÉTRICO CONEXIÓN DE TERCIARIO
DE AUTOTRANSFORMADORES EN DELTA
SIN ESCALA



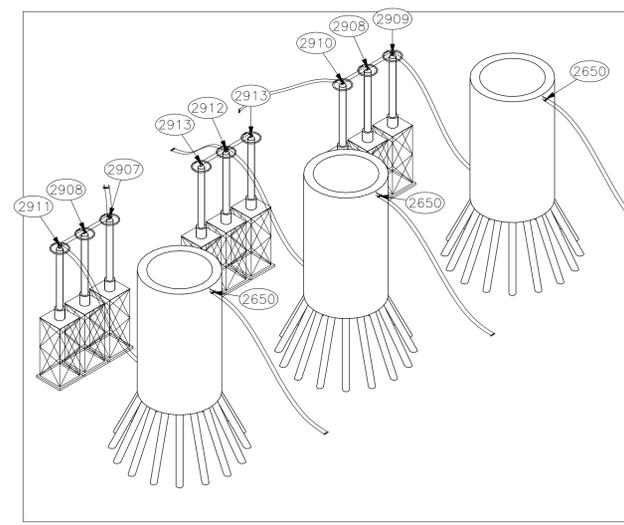
DETALLE 4
CONTRACONTACTO SECCIONADOR
SEMIPANTÓGRAFO
AISLADOR INVERTIDO EN VIGA
220 kV
SIN ESCALA



DETALLE 5
CONTRACONTACTO SECCIONADOR
SEMIPANTÓGRAFO EN TEMPLA DE CELDA
DE AUTOTRANSFORMACIÓN
220 kV
SIN ESCALA



DETALLE 6
CONEXIÓN REACTOR DE NEUTRO
SIN ESCALA



DETALLE 7
CONEXIÓN CAPACITORES SHUNT
SIN ESCALA

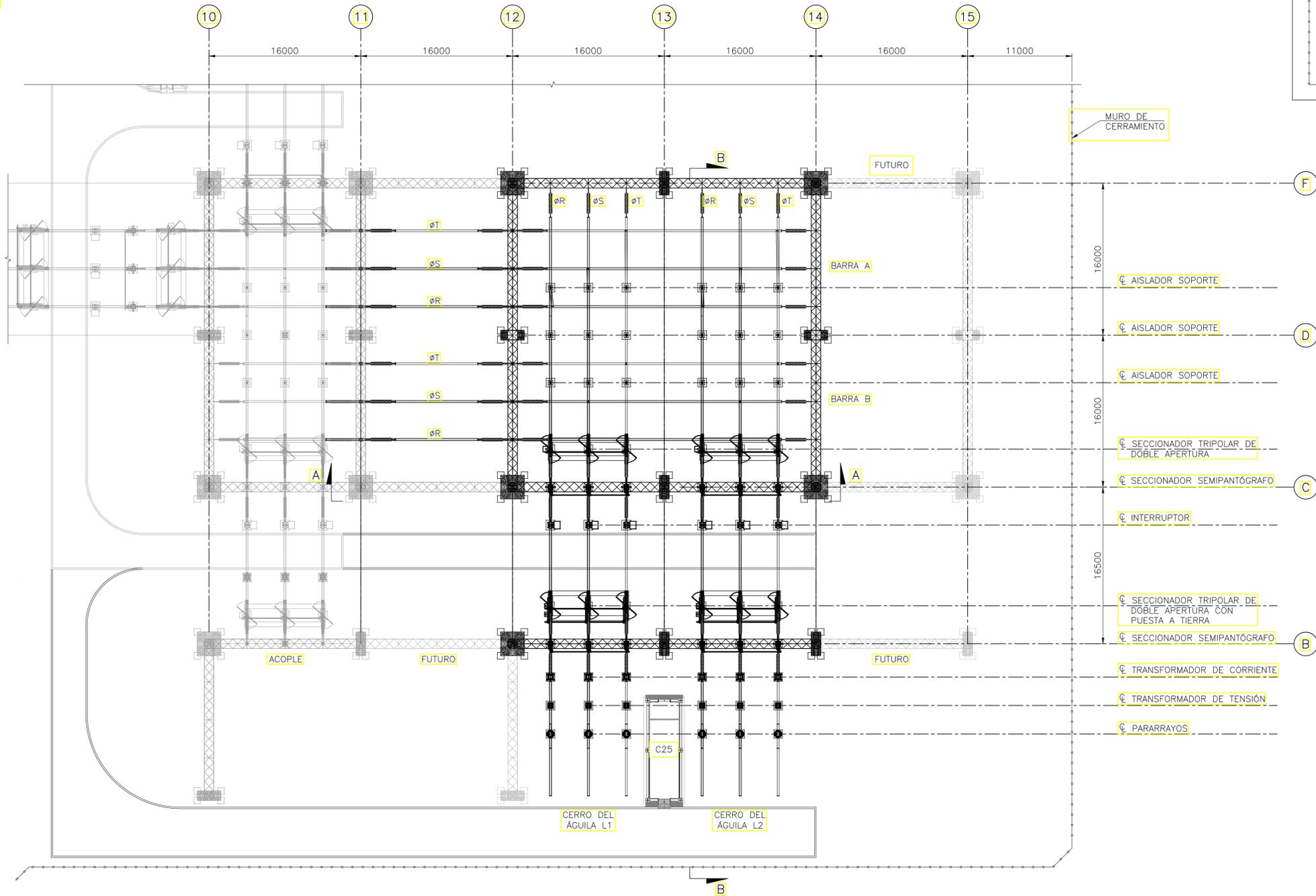
- NOTAS:
1. VER NOTAS GENERALES Y CONVENCIONES EN HOJA 1 DE ESTE PLANO
 2. EN CONDICIONES NORMALES (UNIDAD DE RESERVA FUERA DE SERVICIO), LA SECCIÓN DE BARRAJE TERCIARIO Y DE NEUTRO ASOCIADAS A LA UNIDAD DE RESERVA, ESTAN DESCONECTADAS DE LAS CORRESPONDIENTES A LOS DOS BANCOS, LA LONGITUD DE LA CONEXIÓN EN BARRA TUBULAR SERÁ DETERMINADA EN EL MONTAJE, DE ACUERDO CON LOS SUMINISTRADOS. SE MUESTRA LA UNIDAD DE RESERVA CONECTADA AL BARRAJE TERCIARIO (EJEMPLO PARA FALLA EN ϕR).
 3. TODAS LAS SECCIONES DE BARRA TUBULAR QUE FORMAN LA FASE CENTRAL DEL BARRAJE TERCIARIO, INCLUSIVE AQUELLAS SECCIONES DE CONEXIÓN ENTRE LOS BUJES DE LOS EQUIPOS Y ESTA FASE, SERÁN AISLADAS MEDIANTE TUBOS TERMOCONTRAIBLES. LOS PUNTOS DE UNIÓN ENTRE: AISLADORES-TUBO, TUBO-TUBO, EQUIPO-TUBO, SERÁN AISLADAS POR MEDIO DE MANTAS TERMOCONTRAIBLES.
 4. EN CADA EXTREMO DE SECCIÓN DE BARRA SE INSTALARÁ EL TAPÓN CORRESPONDIENTE.

EJECUTOR: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL PERÚ S.A.C.		PLANO No: PE-MAMO-00005-S-02-K2054		REV: 4	HOJA: 5	
		PROYECTO LÍNEA DE TRANSMISIÓN 500 kV MANTARO-MARCONA-SOCABAYA-MONTALVO				
TÍTULO: SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220 kV DISPOSICIÓN FÍSICA - DETALLES DE CONEXIÓN						
4	15-09-23	ACTUALIZACIÓN EQUIPOS	MAM	ESCALA: 1:200	DIMENSIONES: mm	ASPECTO TÉCNICO:
3	15-02-20	PARARRAYOS UNIDAD DE RESERVA	MAM	FECHA: 2014-03-20	DIBUJO: FDL	FASE: DISEÑO
2	14-08-25	ADICIÓN TRAMPA DE ONDA	MAM			
1	14-07-14	VIG INTERNAS	MAM	DISEÑO: AFMR	APPROBADO: MAM	CÓDIGO ISA: 00005
0	14-03-20	EMISIÓN ORIGINAL	MAM			
REV:	FECHA	MODIFICACIÓN	APPROBADO	CONTRATO: 00005		

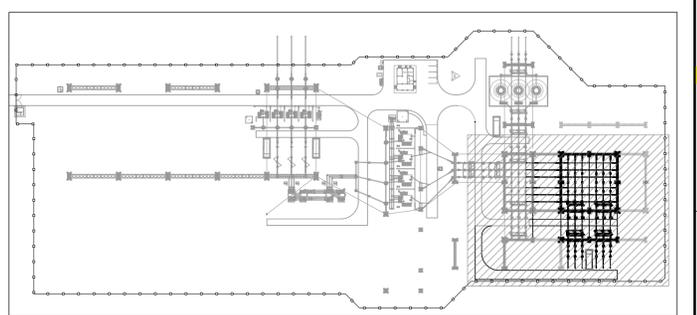
APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN

Fecha: 2015-12-14

La aprobación o revisión no exime al proveedor/contratista de su responsabilidad de cumplir todos los requerimientos de la orden de compra



PLANTA DETALLADA
ESCALA 1:250



LOCALIZACIÓN GENERAL
SIN ESCALA

isa

07 abr 2016

VÁLIDO PARA FABRICACIÓN O CONSTRUCCIÓN

VÁLIDO PARA FABRICACIÓN O CONSTRUCCIÓN CON COMENTARIOS

INFORMATIVO

HMV
INGENIEROS

APROBADO PARA CONSTRUCCIÓN

Fecha: 2016-03-01

La aprobación o revisión no exime al proveedor/contratista de su responsabilidad de cumplir todos los requerimientos de la orden de compra

NOTA:
- VER NOTAS GENERALES Y CONVENCIONES EN HOJA 1 DE ESTE PLANO

EJECUTOR: PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DEL PERÚ S.A.C.		PLANO No: PE-COCA-00001-S-01-K1054		REV: 0	HOJA: 2
isa TRANSANTARO		PROYECTO CONEXIÓN CERRO DEL ÁGUILA			
TÍTULO: SUBSTACIÓN COLCABAMBA 220 kV DISPOSICIÓN FÍSICA - PLANTA GENERAL					
ESCALA: 1:250	DIMENSIONES: (mm)	ASPECTO TÉCNICO: ELECTROMECÁNICA			
FECHA: 2016-10-28	DIBUJÓ: J.J.E.	FASE:	DISERO		
DISEÑO: J.J.E.	APROBÓ: M.A.M.	CÓDIGO ISIA:		REV: 0	HOJA: 2
REV: 0	FECHA: 15-10-28	EMISIÓN ORIGINAL	M.A.M.	CONTRATO: 00001	DE: 3
MODIFICACIÓN:		APROBÓ:		PE-COCA-00001-S-01-K1054	

ANEXO 3

CERTIFICADO DE TRABAJO

El Sr. VICENTE ZENON PEREZ HERRERA. GERENTE GENERAL de la empresa SIENERG S.A.C. con RUC N°20551270778.

CERTIFICA

Que el Sr. **CRISTIAN SANTOS SABANA MONTERO**, identificado con DNI N° **47308357**, se encuentra laborando en nuestra representada, desempeñando sus funciones con el cargo de **COORDINADOR DE PROYECTOS Y SERVICIOS** desde el 01 de noviembre del 2016 hasta la actualidad.

Se deja constancia que durante su permanencia ha mostrado eficiencia, puntualidad, honradez y responsabilidad en las funciones que desempeñaba

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Lima. 04 de marzo del 2019



Vicente Z. Pérez Herrera
GERENTE GENERAL
SIENERG S.A.C.

ANEXO 4

ANEXO 1

FORMATO PARA EVALUACIÓN DEL BACHILLER POR EL REPRESENTANTE ENCARGADO DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN

1. DATOS GENERALES DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN		
1.1.	Razón social de la empresa o institución	: SIENERG SAC
1.2.	Área en el que realizó la actividad de suficiencia profesional el bachiller	: DESARROLLO DE PROYECTOS Y SERVICIOS
1.3.	Nombre y cargo del profesional responsable del área de trabajo	: JUAN CARLOS SÁNCHEZ PAULINO
1.4.	Periodo que laboró el bachiller (horas laboradas)	: NOVIEMBRE 2016 A MARZO 2019
1.5.	Nombre del bachiller	: CRISTIAN SANTOS SABANA MONTERO
1.6.	Escuela profesional	: INGENIERÍA EN ENERGÍA
1.7.	Facultad	: INGENIERÍA

2. EVALUACIÓN

N°	Aspectos ¹	Escala de Valoración			
		Muy bueno (3 ptos)	Bueno (2 ptos)	Regular (1 pto)	Deficiente (0 ptos)
1.	Conocimiento	3			
2.	Iniciativa de mejora	3			
3.	Capacidad de trabajo en equipo	3			
4.	Capacidad organizativa	3			
5.	Eficiencia en el trabajo	3			
6.	Cumplimiento de metas de trabajo	3			
7.	Asistencia	3			
8.	Puntualidad	3			
Sub total		24			
Puntaje total		24			

VALORACIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Puntaje	Calificación vigesimal Equivalente	Valoración del TSP
21 a 24 puntos	18 a 20	Muy satisfactorio
18 a 20 puntos	15 a 17	Satisfactorio
13 a 16 puntos	11 a 13	Poco satisfactorio
menos de 12 puntos	10 a 00	No satisfactorio



Juan Carlos Sánchez Paulino
 Gerente General
 SIENERG S A C

ANEXO 5



ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Julio Hipolito Nestor Escate Ravello
asesor / presidente de la Unidad de Investigación de la

Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Departamento Académico		Energía, física y mecánica				
Escuela de Posgrado		Maestría		Doctorado		

Programa: Ingeniería en Energía

De la Universidad Nacional del Santa. Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de Investigación intitulado:

“PRUEBAS SAT A EQUIPOS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSIÓN DE LA SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220 kV”

Del estudiante / docente: Cristian Santos Sabana Montero

De la escuela / departamento académico: Ingeniería en Energía

Constato que la investigación presentada tiene un porcentaje de similitud del 26 % el cual se verifica con el reporte de originalidad de la aplicación Turnitin adjunto.

Quién suscribe la presente, declaro el haber analizado dicho reporte y concluyo que las coincidencias detectadas no se conforman como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, 05 de julio de 2020

Firma:

Nombres y Apellidos del Asesor/Presidente UIF: Julio Hipolito Nestor Escate Ravello

DNI: 32850228

ANEXO 6



DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, Cristian Santos Sabana Montero
estudiante de la

Facultad	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional	Ingeniería en Energía					
Departamento Académico	Energía, física y mecánica					
Escuela de Posgrado	Maestría			Doctorado		

Programa: Ingeniería en Energía

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

“PRUEBAS SAT A EQUIPOS DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSION DE LA
SUBESTACIÓN COLCABAMBA 500/220 kV”

presentado en 212 folios, para la obtención del Grado académico	()		
Título profesional	(X)	Investigación anual	()

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 05 de julio de 2020

Firma:

Nombres y Apellidos: Cristian Santos Sabana Montero

DNI: 47308357

ANEXO 7

INFORME DE EXPERIENCIA PROFESIONAL- CRISTIAN SABANA MONTERO

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	10%
2	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.artecing.com.uy Fuente de Internet	1%
6	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	1%
8	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%

9	edpproyectos.com Fuente de Internet	1%
10	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
11	edoc.pub Fuente de Internet	<1%
12	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1%
13	www.electrohuila.com.co Fuente de Internet	<1%
14	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
15	documents.mx Fuente de Internet	<1%
16	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%
17	creativecommons.org Fuente de Internet	<1%
18	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%
19	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%

20	www.flukenetworks.com Fuente de Internet	<1%
21	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%
22	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1%
23	biblioteca.unitecnologica.edu.co Fuente de Internet	<1%
24	www.bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
25	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	<1%
26	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
27	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
28	cmapspublic2.ihmc.us Fuente de Internet	<1%
29	id.scribd.com Fuente de Internet	<1%
30	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%

31	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1%
32	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
33	docslide.us Fuente de Internet	<1%
34	www.viesgodistribucion.com Fuente de Internet	<1%
35	www.browntechnical.org Fuente de Internet	<1%
36	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
37	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
38	comunidad.udistrital.edu.co Fuente de Internet	<1%
39	www.electrificaribe.com Fuente de Internet	<1%
40	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%
41	www.standard.no Fuente de Internet	<1%

42	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1%
43	bdigital.uao.edu.co Fuente de Internet	<1%
44	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	<1%
45	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
46	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	<1%
47	www.cienciaperu.org Fuente de Internet	<1%
48	sidar.org Fuente de Internet	<1%
49	www.isotest.es Fuente de Internet	<1%
50	repositorio.uts.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1%
51	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1%
52	webdien.com Fuente de Internet	<1%

53	isatis-co.ir Fuente de Internet	<1%
54	www.arteche.com Fuente de Internet	<1%
55	www.segob.gob.mx Fuente de Internet	<1%
56	www.ance.org.mx Fuente de Internet	<1%
57	www.aof.edu.tr Fuente de Internet	<1%
58	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
59	www.wenmixz.com Fuente de Internet	<1%
60	www.es.catholic.net Fuente de Internet	<1%
61	www.lito.com.co Fuente de Internet	<1%
62	Sanchez, A. M., and A. A. Romero. "Consideraciones para la gestión de interruptores de alta tensión, en el marco de la ISO 55000", 2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), 2014. Publicación	<1%

63 Submitted to Infile <1 %
Trabajo del estudiante

64 Juliana Zuluaga, José Fernando Giraldo, Herney Garzón. "Comparación de la resistencia de unión al cizallamiento entre la cerámica de recubrimiento y la superficie de zirconio con y sin modificaciones", Revista Facultad de Odontología, 2016 <1 %
Publicación

65 repositorio.uis.edu.co <1 %
Fuente de Internet

66 Submitted to 84752 <1 %
Trabajo del estudiante

67 www.geindustrial.com.br <1 %
Fuente de Internet

68 fr.scribd.com <1 %
Fuente de Internet

69 mafiadoc.com <1 %
Fuente de Internet

70 Submitted to Universidad Internacional de la Rioja <1 %
Trabajo del estudiante

71 Submitted to Universidad de San Buenaventura <1 %
Trabajo del estudiante

72

www.sabs.co.za

Fuente de Internet

<1%

73

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado