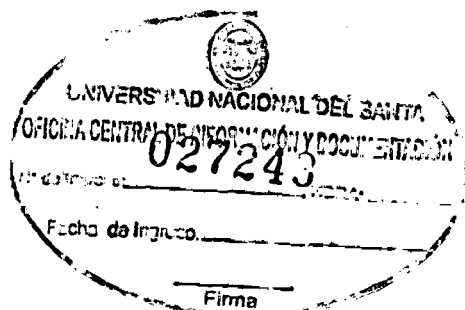




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**LINEAMIENTOS EN PRUEBAS INDIVIDUALES DE EQUIPOS
DE PATIO, PARA LA PUESTA EN SERVICIO DE UNA
SUBESTACIÓN DE ENERGÍA EN ALTA Y EXTRA-ALTA
TENSIÓN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

AUTOR :

BACH. OSCAR JONATHAN RIVERA CORZO

ASESOR :

Mg. ROJAS FLORES AMANCIO RAMIRO

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2014**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**LINEAMIENTOS EN PRUEBAS INDIVIDUALES DE EQUIPOS
DE PATIO, PARA LA PUESTA EN SERVICIO DE UNA
SUBESTACIÓN DE ENERGÍA EN ALTA Y EXTRA-ALTA
TENSIÓN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
EN ENERGÍA**

AUTOR :

BACH. OSCAR JONATHAN RIVERA CORZO

Revisado y Aprobado por el Asesor.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Amancio Ramiro', is written over a horizontal line.

Mg. ROJAS FLORES AMANCIO RAMIRO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



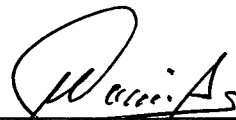
**LINEAMIENTOS EN PRUEBAS INDIVIDUALES DE EQUIPOS
DE PATIO, PARA LA PUESTA EN SERVICIO DE UNA
SUBESTACIÓN DE ENERGÍA EN ALTA Y EXTRA-ALTA
TENSIÓN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
EN ENERGÍA**

AUTOR :

BACH. OSCAR JONATHAN RIVERA CORZO

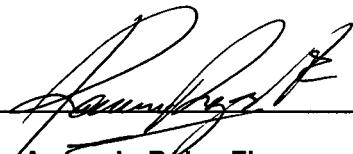
**APROBADO POR EL JURADO CALIFICADOR INTEGRADO POR LOS
SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO**



Mg. Antenor Mariños Castillo
Presidente



Ing. Julio Escate Ravello
Secretario



Mg. Amancio Rojas Flores
Integrante

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Pruebas en Equipos Eléctricos	4
2.1.1 Tipos de pruebas	4
2.2 Equipos de patio de alta tensión	6
2.2.1 Interruptores de potencia	6
2.2.1.1 Tipos principales	6
2.2.1.2 Accesorios	10
2.2.1.3 Especificaciones técnicas	14
2.2.2 Seccionadores	24
2.2.2.1 Tipos principales	24
2.2.2.2 Especificaciones técnicas	27
2.2.3 Transformadores de Tensión	34
2.2.3.1 Tipos principales	35
2.2.3.2 Selección del tipo de transformador de tensión	36
2.2.3.3 Especificaciones técnicas	37
2.2.3.4 Ferroresonancia en transformadores de tensión capacitivos	

48

2.2.4	Transformadores de Corriente	49
2.2.4.1	Tipos principales	49
2.2.4.2	Especificaciones técnicas	52
2.2.5	Pararrayos	58
2.2.5.1	Tipos principales	58
2.2.5.2	Especificaciones técnicas	60
2.3	Pruebas Individuales de Equipos de Alta Tensión	63
2.3.1	Equipos de Alta Tensión	63
2.3.1.1	Verificaciones Generales	63
2.3.2	Pruebas Individuales	65
2.3.2.1	Factor de Potencia de Aislamiento	65
2.3.2.2	Resistencia de Aislamiento	73
2.3.2.3	Resistencia de Contactos	76
2.3.2.4	Resistencia de Devanados	79
2.3.2.5	Polaridad	81
2.3.2.6	Relación de transformación	83
2.3.2.7	Curva de Magnetización	85
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	88
3.1	Localización del experimento	88
3.2	Material experimental	88
3.3	Método de la investigación	88
3.4	Diseño y variables	88
3.5	Análisis estadístico de los datos	89
IV.	RESULTADOS	90
4.1	Interruptores de Potencia	90
4.1.1	Partes Físicas	90
4.1.2	Descripción Técnica	92

4.1.3	Inspección General	92
4.1.4	Pruebas Individuales	93
4.1.4.1	Resistencia de Aislamiento	93
4.1.4.2	Resistencia de Contactos	100
4.1.4.3	Factor de Potencia de Aislamiento	104
4.1.4.4	Tiempo de Operación y Características Bobinas de Cierre y Apertura	108
4.1.4.5	Corriente de consumo y tensión en bobinas y motor	111
4.1.4.6	Verificaciones Finales	114
4.2	Seccionadores	115
4.2.1	Partes Físicas	115
4.2.2	Descripción Técnica	119
4.2.3	Inspección General	120
4.2.4	Pruebas Individuales	121
4.2.4.1	Resistencia de Aislamiento	121
4.2.4.2	Resistencia de Contactos	127
4.2.4.3	Tiempos de Operación y Simultaneidad	135
4.2.4.4	Características del Motor para Tiempos de Cierre y Apertura	138
4.3	Transformadores de Tensión	142
4.3.1	Partes Físicas	142
4.3.2	Descripción Técnica	144
4.3.3	Inspección General	144
4.3.4	Pruebas Individuales	145
4.3.4.1	Resistencia de Aislamiento	145
4.3.4.2	Factor de Potencia de Aislamiento	150
4.3.4.3	Relación de Transformación y Polaridad	154

4.4	Transformadores de Corriente	159
4.4.1	Partes Físicas	159
4.4.2	Descripción técnica	161
4.4.3	Inspección general	161
4.4.4	Pruebas Individuales	162
4.4.4.1	Resistencia de Aislamiento	162
4.4.4.2	Factor de Potencia de Aislamiento	167
4.4.4.3	Resistencia de Devanados Secundarios	171
4.4.4.4	Relación de Transformación y Polaridad	175
4.4.4.5	Curva de Saturación	180
4.5	Pararrayos	185
4.5.1	Partes Físicas	185
4.5.2	Descripción Técnica	187
4.5.3	Inspección General	187
4.5.4	Pruebas Individuales	188
4.5.4.1	Resistencia de Aislamiento	188
4.5.4.2	Capacitancia	192
4.5.4.3	Corriente de Fuga	195
V.	DISCUSIÓN	198
VI.	CONCLUSIÓN	202
VII.	RECOMENDACIONES	207
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	208
IX.	ANEXOS	209

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme, protegerme con su manto celestial y hacer posible todo lo que anhelo.

A mi padre, Oscar Rivera Sausa, por iluminarme desde el cielo, haberme formado en principios y valores, y enseñarme que la vida está llena de obstáculos pero también de sueños e ilusiones por cuáles tenemos que luchar y superarnos día a día.

A mi mamá, Lourdes Corzo Pantoja, por fortalecerme y enseñarme que en la vida no importa quién eres sino quién quieres ser, lo cual siempre lo puse en práctica a lo largo de mi vida.

A mi esposa Wendy Fiorella Mazza Callirgos de Rivera, por su sencillez, humildad y apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi hija Antonella Nicole Rivera Mazza quién es mi razón de ser y mi fortaleza para salir adelante cada día de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A los Ingenieros de Proyectos de Infraestructura del Perú S.A.C (ISA-PDI), Hernán Méndez Bonilla, Marco Tulio Sánchez, César Moreno Cueva, Dayron Urrego Moreno, Jorge Mahecha Rincón, Henry Pineda Porras y Juan Carlos Taborda, quienes son para mí una clara muestra de humildad, sencillez, conocimiento, decisión y profesionalismo.

Al Ing. Ronald Pérez Salcedo, residente de supervisión HVM - S.E. Chimbote Nueva 500/220 kV, con quien compartí experiencias, conocimientos y lecciones aprendidas en ejecución, supervisión y gestión de proyectos de esta gran magnitud.

A mis compañeros de trabajo; Rommel, Arturo, César y Luis; con quienes intercambié conocimientos y apoyo constante durante la supervisión del proyecto Zapallal-Trujillo (S.E. Chimbote Nueva 500/220 kV).

Al Ing. Edwin Oria, especialista de pruebas - SIEMENS, a quién debo la mayor parte de conocimiento acerca de realización de pruebas individuales en equipos de patio en Subestaciones de Energía en Alta y Extra-Alta Tensión.

Al Mg. Amancio Rojas Flores, mi asesor de tesis, por su gran interés y asesoramiento en el proyecto, a pesar de sus muchas ocupaciones, me brindo parte de su tiempo y gracias a su apoyo fue posible la culminación del informe de tesis.

A mis profesores, por su enseñanza y dedicación a lo largo de mi formación profesional.

A todos ellos y demás personas que colaboraron de alguna forma en la realización de este trabajo, sinceramente, muchas gracias.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de aislamiento asignados para las tensiones asignadas de la gama I – Serie I	24
Tabla 2: Niveles de aislamiento asignados para las tensiones asignadas de la gama I – Serie II (utilizados en América del Norte) ⁽¹⁾	25
Tabla 3: Niveles de aislamiento asignados para las tensiones asignadas de la gama II	26
Tabla 4: Niveles de aislamiento suplementarios utilizados en Norte América para las tensiones asignadas de la gama II	26
Tabla 5: Límites de incremento de temperatura en transformadores de tensión	35
Tabla 6: Valores normalizados de factores de tensión asignados	36
Tabla 7: Nivel de aislamiento asignado para devanados primarios de transformadores con tensión máxima $U_m < 300$ kV	38
Tabla 8: Nivel de aislamiento asignado para devanados primarios de transformadores con tensión máxima $U_m \geq 300$ kV	39
Tabla 9: Tensión soportada a frecuencia industrial para los devanados primarios de transformadores con tensión máxima $U_m > 300$ kV	39
Tabla 10: Tensión de prueba de descargas parciales y niveles admisibles	40
Tabla 11: Límites de error para transformadores de tensión para medición	43
Tabla 12: Límites de error para transformadores de tensión para protección	43
Tabla 13: Corriente asignada para transformadores de corriente con una o dos relaciones	47
Tabla 14: Corriente asignada para transformadores de corriente Multirrelación	48
Tabla 15: Tensión de prueba de descargas parciales y niveles admisibles	52
Tabla 16: Tensiones asignadas de pararrayos	55

Tabla 17: Clasificación de los pararrayos según la norma IEEE Std C62.11	57
Tabla 18: Descripción Técnica del Interruptor de Potencia	86
Tabla 19: Inspección General de un Interruptor de Potencia	87
Tabla 20: Resistencia de Aislamiento – Interruptor de Potencia	88
Tabla 21: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6	91
Tabla 22: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6	91
Tabla 23: Resistencia de Contactos – Interruptor de Potencia	93
Tabla 24: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos en interruptores de potencia en SF6	95
Tabla 25: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en interruptores de potencia en SF6	95
Tabla 26: Factor de potencia de aislamiento – Interruptor de Potencia	96
Tabla 27: Aislamientos a medir en la prueba de factor de potencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6	99
Tabla 28: Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6	100
Tabla 29: Tiempo de operación - Interruptor de potencia	101
Tabla 30: Maniobras realizadas en tiempo de operación del interruptor de potencia	101
Tabla 31: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C, O1 y O2) en interruptores de potencia en SF6	102
Tabla 32: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C-O, C-O-C) en interruptores de potencia en SF6	103
Tabla 33: Corriente de consumo y tensión en bobinas y motor del interruptor de potencia en SF6	104
Tabla 34: Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas (Cierre y Apertura) del interruptor de potencia en SF6	104
Tabla 35: Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en motor (Corriente de arranque y corriente constante) del interruptor	105

Tabla 36: Verificaciones finales del interruptor de potencia	106
Tabla 37: Descripción Técnica del Seccionador Semipantógrafo	111
Tabla 38: Descripción Técnica del Seccionador Doble Apertura	111
Tabla 39: Inspección General del Seccionador Semipantógrafo	112
Tabla 40: Inspección General de la Cuchilla de Puesta a Tierra	112
Tabla 41: Inspección General del Seccionador Doble Apertura	112
Tabla 42: Resistencia de aislamiento – Seccionadores Semipantógrafo	113
Tabla 43: Resistencia de aislamiento – Seccionadores Doble Apertura	113
Tabla 44: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en Seccionadores Semipantógrafo	116
Tabla 45: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores doble apertura	117
Tabla 46: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores Semipantógrafo	117
Tabla 47: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores doble apertura	118
Tabla 48: Resistencia de contactos – seccionadores Semipantógrafo	119
Tabla 49: Resistencia de contactos – seccionadores doble apertura	120
Tabla 50: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Semipantógrafo	123
Tabla 51: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Doble Apertura	123
Tabla 52: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Semipantógrafo	124
Tabla 53: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Doble Apertura	125
Tabla 54: Maniobras a realizar en Tiempos de Operación y Simultaneidad en Seccionadores Semipantógrafo	126
Tabla 55: Maniobras a realizar en Tiempos de Operación y Simultaneidad en Seccionadores Doble Apertura	127

Tabla 56: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores Semipantógrafo	127
Tabla 57: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores doble apertura	128
Tabla 58: Características del motor para tiempos de cierre y apertura - Seccionadores Semipantógrafo	129
Tabla 59: Características del motor para tiempos de cierre y apertura – Seccionadores Doble Apertura	129
Tabla 60: Maniobras realizadas para tiempos de cierre y apertura en Seccionadores Semipantógrafo	130
Tabla 61: Maniobras realizadas para tiempos de cierre y apertura en Seccionadores Doble Apertura	130
Tabla 62: Resultado obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores Semipantógrafo	131
Tabla 63: Resultado obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores doble apertura	132
Tabla 64: Descripción Técnica del Transformador de Tensión	135
Tabla 65: Inspección General del Transformador de Tensión	136
Tabla 66: Resistencia de aislamiento – Transformador de tensión	136
Tabla 67: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en transformador de tensión	139
Tabla 68: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento para transformador de tensión	139
Tabla 69: Factor de potencia de aislamiento – Transformador de tensión	140
Tabla 70: Medidas a considerar en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformador de tensión	142
Tabla 71: Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformador de tensión	142
Tabla 72: Relación de Transformación y Polaridad - Transformador de Tensión	143
Tabla 73: Medidas a Considerar en la Prueba de Relación de Transformación y Polaridad en Transformador de Tensión	145

Tabla 74: Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformador de tensión	146
Tabla 75: Descripción Técnica del Transformador de Corriente	149
Tabla 76: Inspección General del Transformador de Corriente	150
Tabla 77: Resistencia de aislamiento – Transformador de corriente	150
Tabla 78: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en transformador de corriente	152
Tabla 79: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente	153
Tabla 80: Factor de potencia de aislamiento – Transformador de corriente	154
Tabla 81: Medidas a considerar en la prueba de Factor de Potencia de Aislamiento en Transformadores de Corriente	156
Tabla 82: Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia en transformadores de corriente	156
Tabla 83: Resistencia de devanados secundarios – transformador de corriente	157
Tabla 84: Medidas a considerar en la prueba de Resistencia de Devanados Secundarios del Transformador de Corriente	159
Tabla 85: Resultados obtenidos en la prueba de resistencia de devanados en transformadores de corriente	160
Tabla 86: Relación de transformación y polaridad – Transformador de corriente	161
Tabla 87: Medidas a considerar en la prueba de relación de transformación y polaridad en transformadores de corriente	162
Tabla 88: Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformadores de corriente	163
Tabla 89: Curva de saturación – Transformador de corriente	164
Tabla 90: Medidas a considerar en la prueba de curva de saturación del transformador de corriente	165
Tabla 91: Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de medición	166

Tabla 92: Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de protección	167
Tabla 93: Descripción Técnica del Pararrayos	170
Tabla 94: Inspección General del Pararrayos	170
Tabla 95: Resistencia de aislamiento – Pararrayos	171
Tabla 96: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento del Pararrayos	173
Tabla 97: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en pararrayos	173
Tabla 98: Capacitancia – Pararrayos	174
Tabla 99: Aislamientos a medir en la prueba de capacitancia en pararrayos	176
Tabla 100: Medidas en la prueba de capacitancia (pF) en pararrayos	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Interruptor de Tanque Muerto	5
Fig. 2 Interruptor de Tanque Vivo	6
Fig. 3 Resistencias de pre inserción	11
Fig. 4 Corrientes de Cierre y Apertura de un Interruptor	12
Fig. 5 Porcentaje de la Componente Aperiódica en Función del Tiempo	13
Fig. 6 Fenómeno de la Tensión Transitoria de Restablecimiento	14
Fig. 7 Representación de la Tensión Transitoria de Restablecimiento	15
Fig. 8 Nivel de aislamiento especificado para seccionadores	28
Fig. 9 Transformador de Tensión Inductivo	32
Fig. 10 Transformador de Tensión Capacitivo	32
Fig. 11 Esquema de un Pararrayo Convencional	54
Fig. 12 Esquema Típico Interno de un Pararrayos de Óxido Metálico (ZnO)	54
Fig. 13 Circuito equivalente serie	62
Fig. 14 Diagrama fasorial circuito serie	62
Fig. 15 Circuito equivalente paralelo	64
Fig. 16 Diagrama fasorial circuito paralelo	64
Fig. 17 Prueba de factor de potencia Modo UST	67
Fig. 18 Prueba de factor de potencia Modo GST – Tierra	67
Fig. 19 Prueba de factor de potencia Modo GST - Guarda	68
Fig. 20 Corriente de fuga	69
Fig. 21 Medida de resistencia de contactos	72
Fig. 22 Medida resistencia de devanados	74
Fig. 23 Verificación de polaridad	76
Fig. 24 Polaridad sustractiva	77

Fig. 25 Polaridad aditiva	77
Fig. 26 Medida de relación de transformación	78
Fig. 27 Medida directa de tensión	79
Fig. 28 Curvas de magnetización	80
Fig. 29 Circuito de prueba	81
Fig. 30 Interruptor de Potencia en SF ₆ - 220 KV	84
Fig. 31 Interruptor de Potencia en SF ₆ – 500 KV	85
Fig. 32 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Interruptor de Potencia en SF ₆ – 500 KV	89
Fig. 33 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF ₆	92
Fig. 34 Conexión para Resistencia de Contactos - Interruptor de Potencia en SF ₆ – 500 KV	94
Fig.35 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en interruptores de potencia en SF ₆	96
Fig. 36 Conexión para Factor de Potencia de Aislamiento - Interruptor de Potencia en SF ₆ – 500 KV	98
Fig.37 Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF ₆	100
Fig. 38 Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C, O1 y O2) en interruptores de potencia en SF ₆	102
Fig. 39 Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C-O, C-O-C) en interruptores de potencia en SF ₆	103
Fig. 40 Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas (Cierre y Apertura) del interruptor de potencia en SF ₆	105
Fig. 41 Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en motor (Corriente de arranque y corriente constante) del interruptor de potencia	106
Fig. 42 Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra (SPVT – 220 KV)	107

Fig. 43 Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación Central (S3C – 220 KV)	108
Fig. 44 Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra (SPVT – 500 KV)	109
Fig. 45 Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación Central (S3C – 500 KV)	110
Fig. 46 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra – 500 KV	114
Fig. 47 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación – 500 KV	115
Fig. 48 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores Semipantógrafo	118
Fig. 49 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores doble apertura	119
Fig. 50 Conexión para Resistencia de Contactos - Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra – 500 kV	121
Fig. 51 Conexión para Resistencia de Contactos - Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación – 500 kV	122
Fig. 52 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Semipantógrafo	124
Fig. 53 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Doble Apertura	125
Fig. 54 Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores Semipantógrafo	128
Fig. 55 Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores doble apertura	129
Fig. 56 Resultado obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores Semipantógrafo	131
Fig. 57 Resultado obtenido en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores doble apertura	132
Fig. 58 Transformador de Tensión Capacitivo en 220 kV	133
Fig. 59 Transformador de Tensión Capacitivo en 500 kV	134
Fig. 60 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Transformador de	137

Tensión Capacitivo

Fig. 61: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento para transformador de tensión	139
Fig. 62 Conexión para Factor de Potencia de Aislamiento - Transformador de Tensión Capacitivo	141
Fig. 63 Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformador de tensión	143
Fig. 64 Conexión para Relación de Transformación y Polaridad- Transformador de Tensión Capacitivo	144
Fig. 65 Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformador de tensión	146
Fig. 66 Transformador de Corriente en 220 kV	147
Fig. 67 Transformador de Corriente en 500 kV	148
Fig. 68 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Transformador de Corriente en 500 kV	151
Fig. 69 Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente	153
Fig. 70 Conexión para Factor de Potencia de Aislamiento - Transformador de Corriente	155
Fig. 71 Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia en transformadores de corriente	157
Fig. 72 Conexión para Resistencia de Devanados Secundarios - Transformador de Corriente	158
Fig. 73 Resultados obtenidos en la prueba de resistencia de devanados en transformadores de corriente	160
Fig. 74 Conexión para Relación de Transformación y Polaridad- Transformador de Corriente en 500 Kv	161
Fig. 75 Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformadores de corriente	163
Fig. 76 Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de medición	166
Fig. 77 Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de protección	167

Fig. 78 Pararrayos en 220 kV	168
Fig. 79 Pararrayos en 500 kV	169
Fig. 80 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Pararrayos en 500 kV	172
Fig. 81 Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en pararrayos	174
Fig. 82 Conexión para Capacitancia - Pararrayos en 500 kV	175
Fig. 83 Medidas en la prueba de capacitancia (pF) en pararrayos	177
Fig. 84 Conexión para Corriente de Fuga - Pararrayos en 500 kV	178

RESUMEN

El presente informe tiene por finalidad brindar lineamientos sobre las clases de equipos, especificaciones técnicas, conexiones eléctricas y pruebas individuales (SAT) aplicadas a cada uno de los equipos de patio que conforman una Subestación de Energía en Alta y Extra-Alta Tensión, equipos tales como: Interruptores de Potencia, Seccionadores, Transformador de Tensión, Transformador de Corriente y Pararrayos. Con esto se facilitará el acceso de información de las normas internacionales (ANSI, IEC, IEEE), ya que el acceso a estas normas es limitado debido al elevado precio y carácter confidencial de las empresas del sector eléctrico. Se tomaron como muestra los equipos instalados en la Subestación Chimbote Nueva 500/220 kV, los cuales fueron sometidos a pruebas en sitio bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, de esta manera se analizaron el comportamiento de los valores obtenidos respecto a estas variables. La prueba en común que tienen todos los equipos indicados es la medición de resistencia de aislamiento, en la cual se obtuvieron los siguientes valores mínimos: interruptor (161.7 G Ω), seccionador semipantógrafo (137.3 G Ω), seccionador de doble apertura (281.7 G Ω), transformador de corriente (20.3 G Ω), transformador de tensión (14.4 G Ω) y pararrayo (182.3 G Ω), esta prueba al igual que las demás pruebas que forman parte del presente informe, cumplen con las normas internacionales antes mencionadas, garantizando que los equipos se encuentran aptos para la puesta en servicio de una Subestación de Energía de Alta y Extra-Alta Tensión.

ABSTRACT

The formless present has for purpose offer limits on the classes of equipment, technical specifications, electrical connections and individual tests (SAT) applied to each of the equipment of court who shape a Substation of Energy in High and Extra-high Tension, such equipment as: Switches of Power, Disconnectors, Voltage Transformer, Current Transformer and Arrester. With this information access of international standards (ANSI, IEC, IEEE), since the access to these procedure is limited due to the high price and confidential character of the companies of the electrical sector. They took as it shows the installed teams in the Chimbote Nueva 500/220 kV substation, which were subjected to proofs in different low place conditions of temperature and relative humidity, of this way analyzed the behavior of the values obtained with regard to these variables. The test in common with all the teams indicated is the measurement of insulation resistance, in which the following minimum values were obtained: switch (161.7 G Ω) , semi pantograph disconnect (137.3 G Ω), double-break disconnect (281.7 G Ω), current transformer (20.3 G Ω), voltage transformer (14.4 G Ω) and arrester (182.3 G Ω), this test like the other tests that are part of this report, comply with the international standards mentioned above, ensuring that the equipment is are suitable for the commissioning of Substation Energy High and Extra – High Voltage.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la demanda energética va en aumento y el acceso a la información a detalle es limitado en lo que concierna a lineamientos para pruebas individuales de equipos de patio, para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta tensión. Es por ello que se pretende presentar lineamientos y analizar los parámetros que influyen de manera determinante en los resultados de éstas pruebas; esta información es necesaria para cumplir con los procedimientos técnicos del COES (PR-20), garantizando la confiabilidad del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), en la eficiencia de los diversos procesos de transformación de la energía eléctrica: generación, transmisión y distribución; así como también de sus servicios secundarios tales como: controles, protecciones, telecomunicaciones y Teleprotecciones.

1.1 NOMBRE Y UBICACIÓN DEL PROYECTO

El trabajo experimental se realizó en la S.E. Chimbote Nueva (proyecto denominado: Zapallal – Trujillo 220/500 KV) en el Distrito de Cambio Puente, carretera Chimbote – Huallanca Km 925, Provincia del Santa, Perú, en el año 2012.

1.2 ANTECEDENTES

Para poner en servicio cualquier Subestación de Potencia, tener un correcto funcionamiento y garantizar el buen estado en cualquier condición de operación de los equipos involucrados en ella, es indispensable testificar que se cumplan de manera exitosa las pruebas de aceptación en sitio "SAT" (García C. Gheidy P., 1997).

Luego de ejecutar el montaje de los equipos de 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. Además para la ejecución de pruebas individuales se debe contar con equipos que permitan un control adecuado de las variables eléctricas, equipos que poseen buena precisión y que su calibración sea emitida por un

laboratorio certificado de acuerdo con normas internacionales (Mejía Villegas S.A., 1989).

Las pruebas de los equipos eléctricos tienen como fin verificar las condiciones en que estos se encuentran. Sirven para mantener la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico (Megger, 2006).

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo garantizamos que los equipos de patio se encuentren aptos, para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta tensión?

1.4 HIPÓTESIS

Siguiendo los lineamientos en las pruebas individuales de equipos de patio, garantizamos que los resultados obtenidos serán satisfactorios; cumpliendo con lo requerido en las normas internacionales (ANSI, IEEE, IEC), por lo tanto los equipos estarán aptos para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta tensión.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

- Presentar los lineamientos en pruebas individuales de equipos de patio, para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta tensión.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Presentar a detalle las características y pruebas individuales (SAT) realizadas a cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión (interruptor, seccionador, transformador de corriente, transformador de tensión y pararrayos).
- Presentar instructivo de puntos de conexión para la realizar las pruebas individuales (SAT) en cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión.

- Determinar y cuantificar los valores de las variables que influyen en los resultados de las pruebas individuales de equipos de patio realizados en campo.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos y citar recomendaciones a tener en cuenta, durante la realización de estas pruebas.
- Mediante el método inductivo y gráfico generalizar el comportamiento de los parámetros en cada equipo de patio de una Subestación Eléctrica en Alta y Extra-alta tensión, respecto a la temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Esta investigación es importante porque busca presentar los lineamientos en pruebas individuales en equipos de patio, determinar y cuantificar las variables que influyen en el resultado de dichas pruebas. A su vez, se obtendrá información muy importante, la cual tiene acceso limitado por su alto precio y porque es reservado por las empresas del sector eléctrico. Dicha información es relevante para futuras investigaciones y aplicaciones en pruebas individuales y funcionales de equipos primarios y secundarios, garantizando la confiabilidad en la puesta en servicio en subestaciones de energía de alta y extra-alta tensión.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 PRUEBAS EN EQUIPOS ELÉCTRICOS

Tienen como fin verificar las condiciones en que éstos se encuentran y sirven para mantener la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico. Las pruebas eléctricas se denominan según el equipo y lugar donde éstas se realicen.

2.1.1 TIPOS DE PRUEBAS

2.1.1.1 Pruebas de Aceptación en Fábrica (FAT): tienen como objeto verificar las características, condiciones de operación y la calidad de fabricación del equipo antes de ser entregados al cliente. Pueden ser supervisadas por el cliente.

2.1.1.2 Pruebas de Aceptación en Sitio (SAT): conocidas como las pruebas de las pruebas. Se realizan sobre equipos nuevos después de ser instalados y antes de ser energizados, también se debe efectuar en todo equipo que ha sido intervenido para realizar reparaciones mayores. Tienen como objeto lo siguiente: Verificar que el equipo cumple con lo especificado, establecer referencias para pruebas futuras y determinar si la instalación del equipo es la correcta.

2.1.1.3 Pruebas de Mantenimiento Predictivo: se ejecuta en intervalos regulares durante la vida útil del equipo. Su objetivo consiste en verificar si un equipo se encuentra en condiciones de operación adecuadas y detectar a tiempo fallas que pudieran afectar esta situación.

2.1.1.4 Pruebas Especiales de Mantenimiento: se realizan cuando existen sospechas o certeza de que el equipo se encuentra en problemas. También se ejecutan sobre equipos sometidos a condiciones extremas.

2.1.1.5 Pruebas de Corriente Continua: como su nombre lo indica, son pruebas que se realizan aplicando voltaje o corriente continua (DC). Entre estas pruebas se pueden mencionar: Pruebas de alto potencial, pruebas de resistencia de aislamiento y pruebas de medición de resistencias.

2.1.1.6 Pruebas de Corriente Alterna: son pruebas que con excepción a la de alto potencial AC, producen esfuerzos eléctricos similares a los existentes bajo condiciones de operación del equipo. Entre este tipo de pruebas podemos mencionar: Pruebas de Alto Potencial, pruebas de factor de potencia, pruebas de relación de transformación y pruebas de análisis de respuesta en frecuencia: FRA

2.1.1.7 Pruebas Destructivas: son del tipo en el cual se aplica voltaje o corriente hasta que el sujeto bajo prueba falle. Conducidas con el propósito de establecer la robustez de cierto diseño; se toma nota del nivel de energía bajo el cual el equipo llegó a fallar.

2.1.1.8 Pruebas No Destructivas: generalmente se efectúan a niveles de voltaje bajos donde el equipo bajo prueba rara vez resulta dañado.

2.2 EQUIPOS DE PATIO DE ALTA TENSIÓN

2.2.1 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.

2.2.1.1 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.

2.2.1.1.1 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.

2.2.1.1.2 Según el Diseño Externo

2.2.1.1.2.1 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.

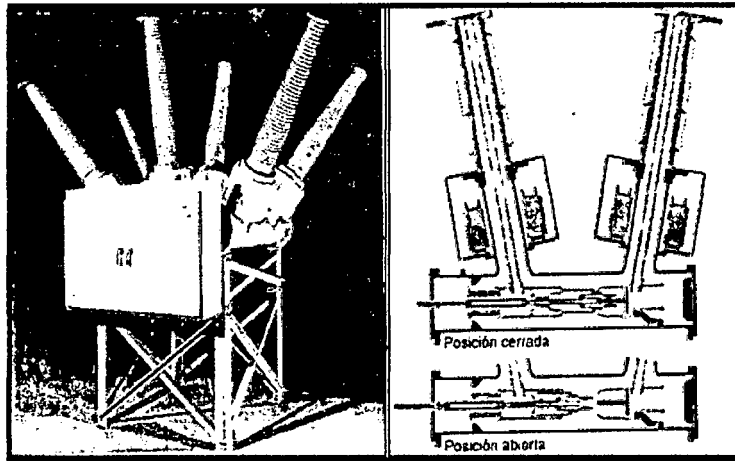


Fig. 1 Interruptor de Tanque Muerto

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.1.1.2.2 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).

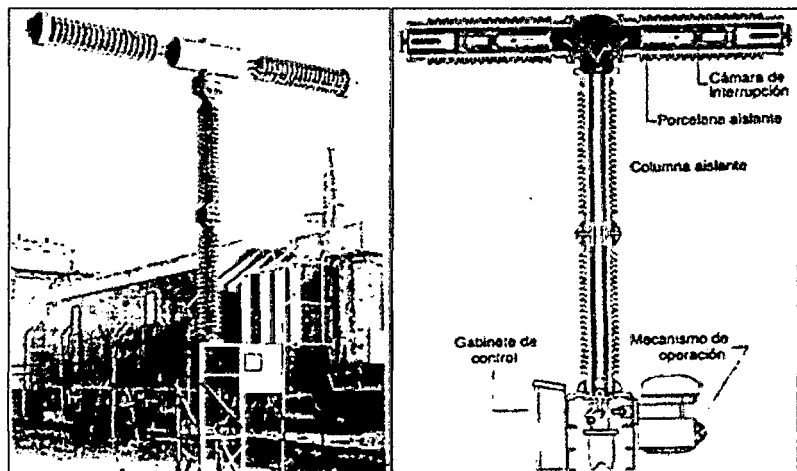


Fig. 2 Interruptor de Tanque Vivo

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.1.1.3 Según el Medio de Interrupción

2.2.1.1.3.1 Interruptores de Aceite

Se utilizan aceites nafténicos derivados del petróleo que han sido cuidadosamente refinados para evitar sedimento o corrosión que pueda producir sulfuro u otros contaminantes. El aceite resultante se identifica como aceite de transformador tipo 10-C, el cual presenta una excelente resistencia dieléctrica, una buena conductividad térmica y una alta capacidad térmica. Estos interruptores ya no se utilizan debido a la aparición de los interruptores de SF₆.

2.2.1.1.3.2 Interruptores de Aire Comprimido

El interruptor de aire hasta la aparición del interruptor de SF₆ fue el que operó más satisfactoriamente a altas tensiones. Con el desarrollo de este interruptor se eliminó el riesgo de explosión de los interruptores de aceite. Las desventajas 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. También dejaron de ser utilizados con la aparición de los interruptores en SF₆.

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

2.2.1.1.4 Según 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 debe ser suficiente para efectuar las secuencias de operación requeridas por el sistema.

2.2.1.1.4.1 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.

Se utiliza para interruptores hasta 245 kV debido a que es mucho más económico y requiere un menor mantenimiento.

2.2.1.1.4.2 Neumático

La energía se almacena en forma de aire comprimido. Se usa 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.

2.2.1.1.4.3 Hidráulico

Este tipo de mecanismo opera con base en la presión de aceite y se utiliza cuando se requieren tiempos de operación muy cortos debido a su rápida reacción.

2.2.1.1.4.4 Hexafluoruro de Azufre (SF₆)

El interruptor utiliza su propio gas aislante SF₆ bajo presión como acumulador de energía para la maniobra.

2.2.1.2 ACCESORIOS

2.2.1.2.1 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.

2.2.1.2.2 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.

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. Uno de los requisitos más severos especificados por ciertas empresas es la exigencia de que los interruptores abran bancos de capacitores o líneas en vacío sin reencendido, durante la ocurrencia de una sobretensión sostenida del orden de 1,5 p.u. si el interruptor tiene dificultad en atender esta exigencia, el fabricante dispone de alternativas de aumentar el número de cámaras o utilizar resistencias de apertura. La práctica común consiste en dejar a criterio del fabricante la decisión de utilizar o no resistencias de apertura en los interruptores destinados a este tipo de maniobra, lo mismo que la eventual selección de sus valores y tiempos de inserción.
- Resistencias de cierre para maniobra de bancos de capacitores: la práctica usual es especificar un rango de valores óhmicos y el tiempo de inserción mínimo de las resistencias.

- Resistencias de cierra 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. La práctica usual es especificar un rango de valor óhmicos y el tiempo de inserción mínimo de las resistencias.
- 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. Pueden requerirse resistencias de apertura en la reducción de sobretensiones de maniobra que se producen por apertura de una falla, también en situaciones 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 Fig. 3 se muestra la ubicación de las resistencias de pre inserción en la cámara del interruptor.

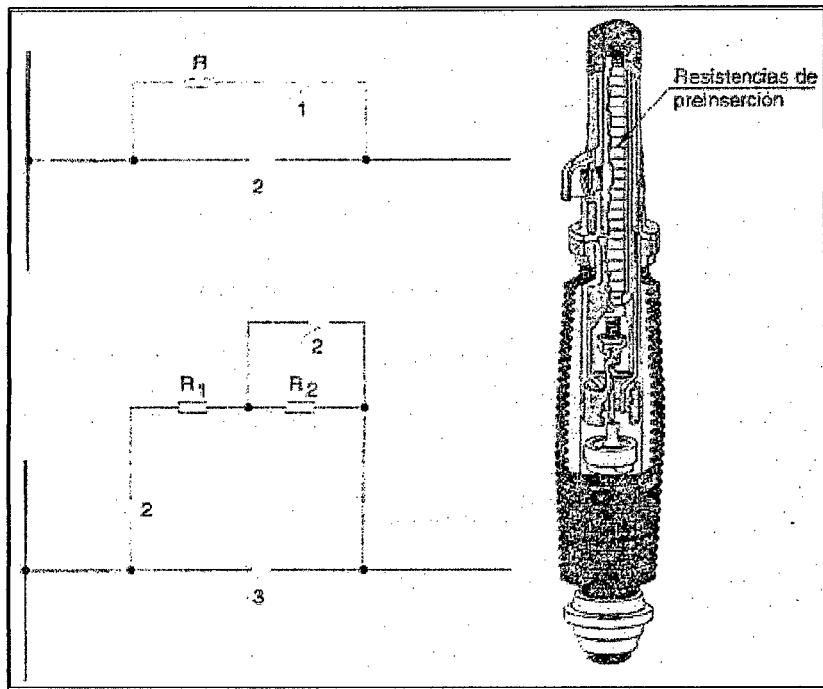


Fig. 3 Resistencias de pre inserción

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

En la mayoría de los casos en los cuales las resistencias se utilizan para atenuar las condiciones de esfuerzo del sistema y no propiamente del interruptor, se especifica normalmente un rango de valores óhmicos lo mismo que el tiempo de inserción mínimo. Estos parámetros se obtienen por medio de estudios de transitorios y comparación de los resultados obtenidos con diferentes valores de resistencia y tiempo de inserción.

2.2.1.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

2.2.1.3.1 Poder de Corte Asignado en Cortocircuito

Es la corriente de cortocircuito más alta que el interruptor es capaz de interrumpir. Se caracteriza por dos valores, los cuales se ilustran en la Fig. 4 y se describen a continuación:

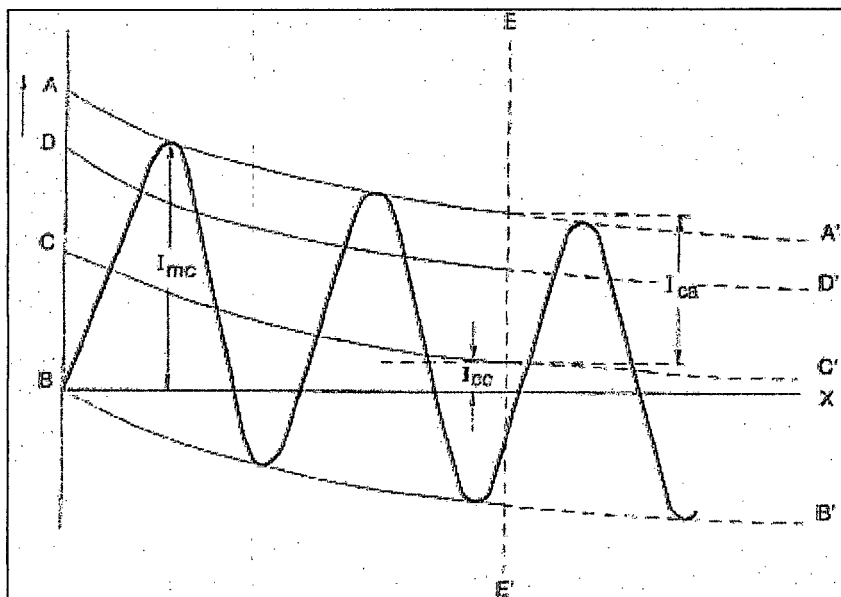


Fig. 4 Corrientes de Cierre y Apertura de un Interruptor

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

- Componente de c.a: es el valor eficaz de su componente periódica o de corriente alterna en el momento de separación de los contactos del interruptor. Este valor se selecciona de los siguientes valores indicados en la publicación IEC 62271-100: 1 – 1.25 – 1.6 – 2 – 2.5 – 3.15 – 4 – 5 – 6.3 – 8 kA y sus productos por 10^n .

- Componente de c.c: es el porcentaje de la componente aperiódica o de corriente directa en el momento de separación de los contactos del interruptor. Los valores normalizados se presentan en la Fig. 5.

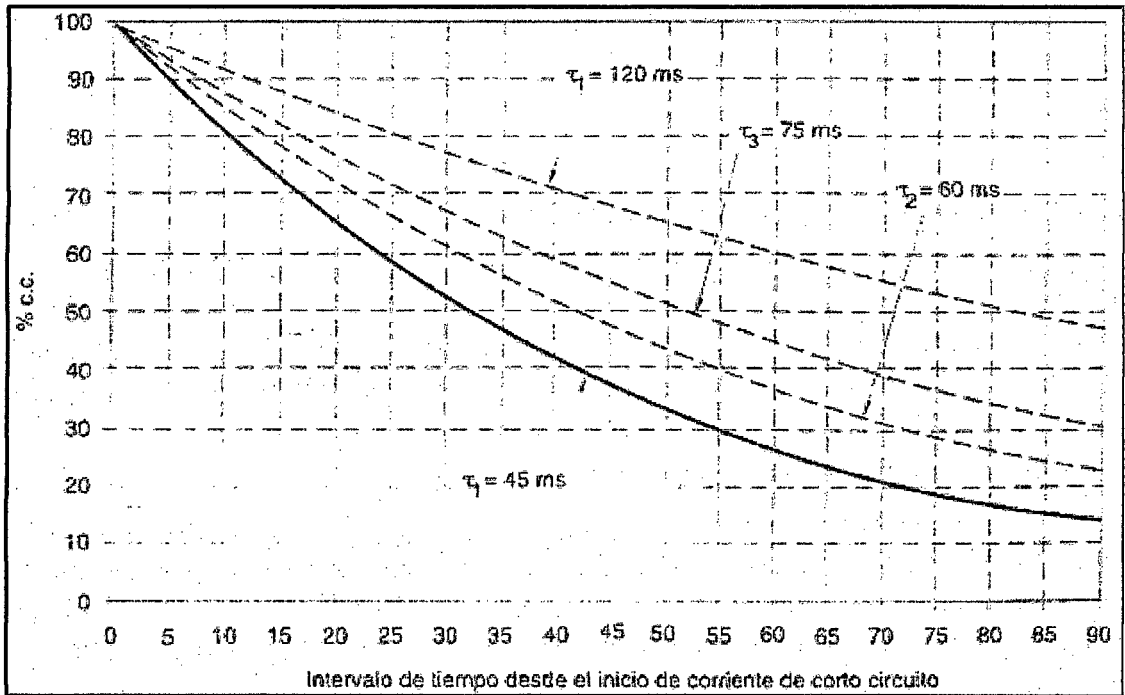


Fig. 5 Porcentaje de la Componente Aperiódica en Función del Tiempo

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Si la componente de c.c. no sobrepasa el 20%, el poder de corte asignado de cortocircuito se caracteriza sólo por el valor eficaz de su componente de c.a., el cual se calcula como un porcentaje del valor pico de la componente de c.a. este porcentaje depende del tiempo que existe entre el momento de inicio de la falla hasta el momento de inicio de separación de los contactos y se calcula con la fórmula:

Donde:

$$\%c.c. = 100 e^{-\frac{t_{op} + t_r}{\tau}} \dots\dots\dots (1)$$

t_{op} : tiempo mínimo de apertura del primer polo en abrir

t_r : medio ciclo de la frecuencia asignada

T : constante de tiempo del sistema, dada por:

$$\tau = \frac{X}{2\pi f R} \dots\dots\dots (2)$$

f : frecuencia de oscilación

X : reactancia equivalente del sistema

R : resistencia equivalente del sistema

2.2.1.3.2 Poder de Cierre Asignado en Cortocircuito

Capacidad de cierre de un interruptor al circular la corriente de falla a la tensión y frecuencia asignadas. Según la publicación IEC 62271-100 para una frecuencia asignada de 60 Hz, equivale a 2.6 veces el valor eficaz de la componente periódica o de corriente alterna del poder de corte asignado en cortocircuito, para una constante de tiempo t normal (45 ms).

2.2.1.3.3 Tensión Transitoria de Restablecimiento TTR

Es la tensión que aparece entre los contactos de un interruptor después de la interrupción del arco eléctrico. Esta tensión es posible considerarla en dos intervalos de tiempo sucesivos, uno durante el cual existe un transitorio de tensión y otro en el cual se establece la tensión a frecuencia industrial o de régimen permanente.

Para ilustrar este fenómeno en la Fig. 6 se presenta un sistema simplificado de red, y en la Fig. 7 se muestra la tensión de restablecimiento. En el momento de la interrupción de la corriente de falla, se desacoplan el lado de la fuente y el lado de la carga, presentándose una redistribución de la energía atrapada en cada uno de los lados.

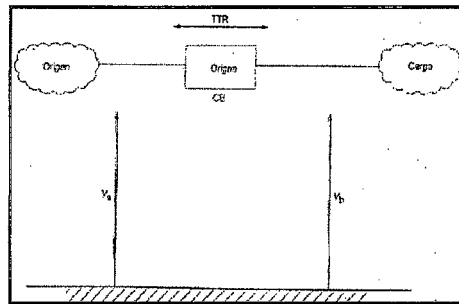


Fig. 6 Fenómeno de la Tensión Transitoria de Restablecimiento

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

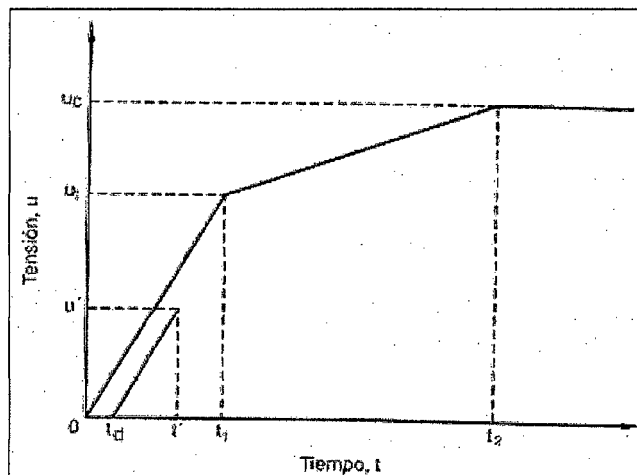


Fig. 7 Representación de la Tensión Transitoria de Restablecimiento

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.1.3.4 Tensión Transitoria de Restablecimiento para Diferentes Tipos de Fallas

2.2.1.3.4.1 Falla en Terminales o Bornes

Corresponde a fallas que se presentan en los terminales o bornes del interruptor o muy cerca de estos. La tensión de restablecimiento oscila hacia la tensión de la fuente con un valor pico inicial y una frecuencia natural determinada por la inductancia y capacitancia de la fuente.

2.2.1.3.4.2 Falla en Líneas Cortas (Falla Kilométrica)

Fallas que se presentan a una corta distancia de los terminales del interruptor, la cual puede estar entre varios cientos de metros hasta un par de kilómetros. Este tipo de falla es la que impone las condiciones de tensión de restablecimiento más severas sobre un interruptor. El interruptor queda sometido a la diferencia de tensión entre el lado de la línea, que asume una forma de onda de "diente de sierra" con una rapidez inicial de elevación de gran pendiente, y la tensión del lado de la fuente, que presenta una forma de onda similar a la de la fallar terminal.

2.2.1.3.4.3 Interrupción de (pequeñas) Corrientes Capacitivas

La desconexión de bancos de capacitores y líneas sin carga requiere la interrupción de pequeñas corrientes puramente capacitivas de valor muy inferior a las corrientes de falla. Estas corrientes son generalmente de menos de 10 A para líneas sin carga y de 1000 A para bancos de capacitores. La interrupción de corriente tiene lugar en el cruce por cero; por lo tanto, al ser el circuito capacitivo, la tensión del lado de la fuente será la tensión pico del sistema mientras que la línea permanecerá

cargada con valor pico de tensión del sistema. Luego, un semiperíodo más tarde, la tensión aplicada en el interruptor será dos veces la tensión pico del sistema.

Debido a que las bajas corrientes contribuyen con menos energía al arco que las corrientes de falla, es posible que la interrupción de la corriente ocurra en el primer paso por cero cuando la separación entre contactos es aún pequeña, de modo que con la tensión de restablecimiento dos veces la tensión pico, se puede producir el reencendido del arco. Este proceso puede suceder repetidas veces, cargando siempre el condensador con tensiones cada vez mayores.

2.2.1.3.4.4 Interrupción de (pequeñas) Corrientes Inductivas

Las corrientes inductivas se presentan en la desconexión de transformadores y reactores. Debido a que la interrupción de corriente ocurre en el paso por cero y al carácter inductivo del circuito, la tensión de restablecimiento en el momento de la desconexión se eleva súbitamente a través del interruptor al encontrarse la tensión de la fuente en su valor pico.

Al igual que ocurre con las corrientes capacitivas, la separación entre contactos al momento de la interrupción de pequeñas corrientes puede no ser suficiente para soportar esta rápida elevación de tensión a valor pico, pudiéndose presentar un re-encendido del arco.

2.2.1.3.4.5 Condiciones de Discordancia de Fases (Apertura o Cierre)

Son condiciones anormales de pérdida o falta de sincronismo entre el lado de la fuente y el lado de carga del interruptor, de modo que en el momento de operación

del equipo el ángulo de fase entre las tensiones de ambos lados exceda un valor normal y pueda ser de hasta 180°. Por lo tanto, el interruptor estará sometido a esfuerzos por la diferencia entre estas dos tensiones.

2.2.1.3.4.6 Recierre de Líneas

Con el fin de mejorar la estabilidad del sistema restaurando el servicio rápidamente después de la apertura de una línea por una falla, es práctica común realizar una operación de recierre automático del interruptor unos pocos ciclos después de la ocurrencia de la falla.

Si la falla que se presenta es una falla monofásica a tierra, es posible que una tensión o carga significativa permanezca atrapada en las fases no falladas debido a la naturaleza capacitiva de las líneas y la interrupción de corriente a valor cero, instante en el cual una máxima tensión está presente en la línea. Debido a que el cierre de los contactos puede hacerse en cualquier punto de la onda, se puede esperar que cuando el recierre se realice, los contactos del interruptor cierren con la tensión de la fuente en polaridad opuesta a la tensión de la carga atrapada de la línea, existiendo la posibilidad de que sumado el efecto de onda viajera, se presente una sobretensión de 4 p.u. a través de los contactos del interruptor.

2.2.1.3.4.7 Falla Evolutiva

Se presenta cuando después de producirse una falla a tierra en una fase, se presenta una falla en otra de las fases.

Admitiendo la mayor incidencia de este tipo de fallas en sistemas provistos de salta chispas y a pesar de la

expectativa de operación correcta de interruptores de aire comprimido y SF₆ en su interrupción, es recomendable solicitar en las especificaciones una demostración de la capacidad de los interruptores frente a las fallas de tipo evolutivo. Esta demostración puede ser suministrada por medio de reportes de pruebas de prototipo.

2.2.1.3.4.8 Apertura por Interruptores en Paralelo

Parece razonable incluir en las especificaciones la exigencia de mostrar, por medio de reportes de prueba de prototipo, la capacidad de los interruptores para operar satisfactoriamente después de una conmutación de corriente causada por apertura de línea en paralelo.

2.2.1.3.5 Sección de Secuencia Maniobra

Consiste en la serie de operaciones de apertura y cierre y tiempos asociados para el cual está especificado el interruptor. En la publicación IEC 62271-100 se normalizan las siguientes secuencias de operación:

- **Secuencia 1: O – t – CO – t' – CO**

$t = 3$ minutos para interruptores en los cuales no está prevista la reconexión rápida.

$t = 0.3$ s para interruptores en los cuales está prevista la reconexión rápida.

$t' = 3$ minutos

- **Secuencia 2: CO – t'' – CO**

$t'' = 15$ s, para interruptores en los cuales no está prevista la reconexión rápida.

Donde:

O : representa una operación de apertura

CO: representa una operación de cierre seguida inmediatamente por una operación de apertura.

Para fines de especificación puede ser conveniente exigir el desempeño de la secuencia 1 con $t = 0,3$ s, para todos

los interruptores, a pesar de que no siempre la reconexión automática sea adoptada inicialmente.

2.2.1.3.6 Tiempo de Apertura Máximo (Ciclos)

Es el mayor tiempo que transcurre entre el recibo de la señal de abrir en la bobina de apertura y la efectiva separación de los contactos en todos los polos del equipo. Se recomienda especificar un tiempo de apertura máximo de 1,5 ciclos para los interruptores de dos ciclos, y de 2,5 para los de tres. La diferencia entre los tiempos de apertura y de interrupción efectivamente verificados en un polo dado, corresponde al tiempo del arco, que se estima en 0,5 ciclos.

2.2.1.3.7 Tiempo Máximo entre el Cierre (o separación) de los Contactos del Primero y Último Polo ms)

La no simultaneidad del cierre o separación de los contactos de los polos de un interruptor debe tener un límite máximo aceptable que es definido por la especificación de las características (máximo pole spread). Durante la apertura, la dispersión de los polos (limitado a valores usualmente verificados) no tiene influencia sobre los transitorios formados, ya que la interrupción efectiva de las corrientes en los polos tiene lugar en los instantes de su paso por cero, determinados principalmente por las características del circuito. Aun así, la especificación de un límite máximo (compatible con valores verificados con la práctica) tiene sentido como criterio de control de la calidad del equipo. Durante la operación de cierre, la dispersión de los polos puede tener influencia sensible en los transitorios formados, por determinar los instantes de conexión de cada fase al sistema.

Una práctica frecuentemente adoptada, consiste en especificar un tiempo de desfase máximo de 5 ms durante la apertura o cierre de los contactos principales y de 3 ms durante el cierre o

apertura de los auxiliares (contactos de los resistores de apertura o cierre).

2.2.1.3.8 Características Relativas a la Resistencia de Cierre

Es práctica usual especificar una faja de valores óhmicos y el tiempo de inserción mínimo de resistencias de cierre destinados a la reducción de las sobretensiones de maniobra asociadas a la energización de líneas de transmisión largas. El tiempo de inserción mínimo es normalmente definido como 6ms u 8ms, siendo seleccionado de acuerdo con la faja de valores óhmicos en estudios de transitorios. En casos especiales puede ser necesario especificar valores y tiempos de inserción de resistencias de apertura, o resistencias de cierre destinados a otros tipos de maniobra.

2.2.1.3.9 Número de Operaciones Mecánicas

La norma clasifica los interruptores con los siguientes tipos:

- Normal, tipo M1, soportabilidad mecánica normal: 2000 secuencias de operación.
- Para servicio especial, tipo M2, soportabilidad mecánica extendida: 10000 secuencias de operación.

2.2.2 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.

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. Para la correcta aplicación de los seccionadores se deben seguir las recomendaciones de las normas técnicas referentes a estos equipos.

2.2.2.1 TIPOS PRINCIPALES

2.2.2.1.1 Según la Función que Desempeñan

2.2.2.1.1.1 Seccionadores de Maniobra

Hacer by-pass 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 un subestación.

2.2.2.1.1.2 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.

2.2.2.1.1.3 Seccionadores de Operación en Carga

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

2.2.2.1.1.4 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

2.2.2.1.2 Según Tipos Constructivos

2.2.2.1.2.1 Seccionadores de Apertura Central

Originan espaciamientos entre fases mayores que los demás, para mantener la separación fase a fase especificada. Este hecho se hace más crítico cuanto mayor es la tensión de la subestación. Requieren altas frecuencias de acciones de mantenimiento.

2.2.2.1.2.2 Seccionadores de Doble Apertura

O llamado de rotación central. Las cuchillas son muy largas y tienden a sufrir deformaciones, principalmente en los esquemas de maniobra en los que determinados seccionadores operan normalmente abiertos, razón por la cual no son utilizados para tensiones mayores a 345 kV.

2.2.2.1.2.3 Seccionadores de Apertura Vertical

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

2.2.2.1.2.4 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 by-pass o paso directo y como selectores de barra.

2.2.2.1.3 Según su Mecanismo de Operación

2.2.2.1.3.1 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

2.2.2.1.3.2 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 espaciamientos de fases.

2.2.2.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

2.2.2.2.1 Tensión Asignada U_r

Corresponde a la tensión máxima del sistema en la cual operará el seccionador. Son válidos los valores de tensión asignada indicados en las Tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1: Niveles de aislamiento asignados para las tensiones asignadas de la gama I – Serie I

Tensión asignada U_r [kV](valor eficaz)	Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial U_d [kV](valor eficaz)		Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo U_p [kV](valor pico)	
	Valor común	Sobre la distancia de seccionamiento	Valor común	Sobre la distancia de seccionamiento
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3,6	10	12	20 40	23 46
7,2	20	23	40 60	46 70
12	28	32	60 75	70 85
17,5	38	45	75 95	85 110
24	50	60	95 125	110 145
36	70	80	145 170	165 195
52	95	110	250	290
72,5	140	160	325	375
100	150 185	175 210	380 450	440 520
123	185 230	210 265	450 550	520 630
145	230 275	265 315	550 650	630 750
170	275 325	315 375	650 750	750 860
245	360 395 460	415 460 530	850 950 1050	950 1050 1200

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Nota: ⁽¹⁾ En las tablas 1 a 4 (tomadas de la IEC 60694) la subdivisión de las tensiones difiere de la clasificación de la IEC 60038.

Tabla 2: Niveles de aislamiento asignados para las tensiones asignadas de la gama I – Serie II (utilizados en América del Norte) ⁽¹⁾

Tensión asignada U [kV] (valor eficaz)	Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial U_d [kV](valor eficaz)				Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo U_p [kV](valor pico)	
	Valor común		Sobre la distancia de seccionamiento		Valor común	Sobre la distancia de seccionamiento
	Seco	Húmedo ⁽²⁾	Seco	Húmedo ⁽²⁾		
(1)	(2)	(2a)	(3)	(3a)	(4)	(5)
4,76	19	-	21	-	60	70
8,25	26	24	29	27	75	80
	35	30	39	33	95	105
15	35	30	39	33	95	105
	50	45	55	50	110	125
25,8	50	45	55	50	125	140
	70	60	77	66	150	165
38	70	60	77	66	150	165
	95	80	105	88	200	220
48,3	120	100	132	110	250	275
72,5	160	145	176	154	350	385

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Notas:

- (1) Para las tensiones asignadas superiores a 72,5 kV hasta 245 kV, inclusive, los valores de la Tabla 1 son aplicables.
- (2) Los valores de tensión soportada en húmedo son de una duración de 10 s para los equipos tipo exterior.

Tabla 3: Niveles de aislamiento asignados para las tensiones asignadas de la gama II

Tensión asignada U_r [kV](valor eficaz)	Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial U_d [kV](valor eficaz)		Tensión soportada asignada al impulso tipo maniobra U_s [kV](valor pico)			Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo U_p [kV](valor pico)	
	Entre fase y tierra, y entre fases ⁽³⁾	Entre contactos abiertos y/o entre la distancia de aislamiento ⁽³⁾	Entre fase y tierra, y entre contactos abiertos	Entre fases ^(3 y 4)	Sobre la distancia de seccionamiento ^(1, 2 y 3)	Entre fase y tierra, y entre fases	Entre contactos abiertos y/o entre la distancia de aislamiento ^(2 y 3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
300	380	435	750 850	1125 1275	700 (+245)	950 1050	950 (+170) 1050 (+170)
362	450	520	850 950	1275 1425	800 (+295)	1050 1175	1050 (+205) 1175 (+205)
420	520	610	950 1050	1425 1575	900 (+345)	1300 1425	1300 (+240) 1425 (+240)
550	620	800	1050 1175	1680 1760	900 (+450)	1425 1550	1425 (+315) 1550 (+315)
800	830	1150	1300 1425	2210 2420	1100 (+650)	1800 2100	1800 (+455) 2100 (+455)

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Tabla 4: Niveles de aislamiento suplementarios utilizados en Norte América para las tensiones asignadas de la gama II

Tensión asignada U_r [kV](valor eficaz)	Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial U_d [kV](valor eficaz)		Tensión soportada asignada al impulso tipo maniobra U_s [kV](valor pico)			Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo U_p [kV](valor pico)	
	Entre fase y tierra, y entre fases ⁽³⁾	Entre contactos abiertos y/o entre la distancia de aislamiento ⁽³⁾	Entre fase y tierra, y entre contactos abiertos	Entre fases ^(3 y 4)	Sobre la distancia de seccionamiento ^(1, 2 y 3)	Entre fase y tierra, y entre fases	Entre contactos abiertos y/o entre la distancia de aislamiento ^(2 y 3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
362	520	610	950	1425	800 (+295)	1300	1300 (+205)
550	710	890	1175	2210	900 (+450)	1800	1800 (+315)

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Notas Tablas 3 y 4:

- (1) La columna (6) es aplicable, también, a algunos interruptores [IEC 62271-100 (2003)]
- (2) En la columna (6) los valores entre paréntesis son los valores de cresta de la tensión a frecuencia industrial $U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ aplicada en el terminal opuesto (tensión combinada)

En la columna (8) los valores entre paréntesis son los valores de cresta de la tensión a frecuencia industrial $0,7 U_r \sqrt{2} / \sqrt{3}$ aplicada en el terminal opuesto (tensión combinada)

- (3) Los valores de la columna (2) son aplicables:
- a. Para las pruebas tipo fase-tierra
 - b. Para las pruebas de rutina, entre fase y tierra, entre fases y entre contactos abiertos

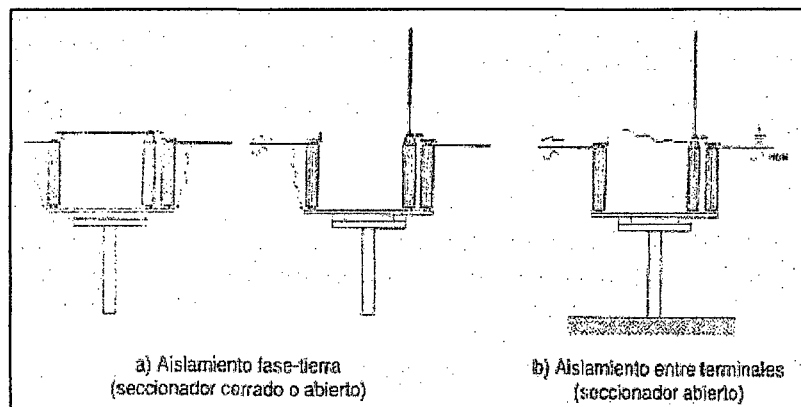
Los valores de las columnas (3), (5), (6) y (8) son aplicables únicamente para las pruebas tipo

- (4) Estos valores se derivan de los factores dados en IEC 60071-1.

2.2.2.2 Niveles de Aislamiento Asignado

Los seccionadores, desde el punto de vista del comportamiento de sus aislamientos a los ensayos dieléctricos, están constituidos por aislamientos auto-regenerativos (aire y porcelana), es decir, aislamientos capaces de recuperar sus características dieléctricas después de una descarga a tierra, entre terminales o entre polos.

En la Fig. 8 están indicados gráficamente los aislamientos que deben ser especificados en los seccionadores para los esfuerzos de frecuencia industrial, los impulsos atmosféricos y los esfuerzos de impulsos de maniobra.



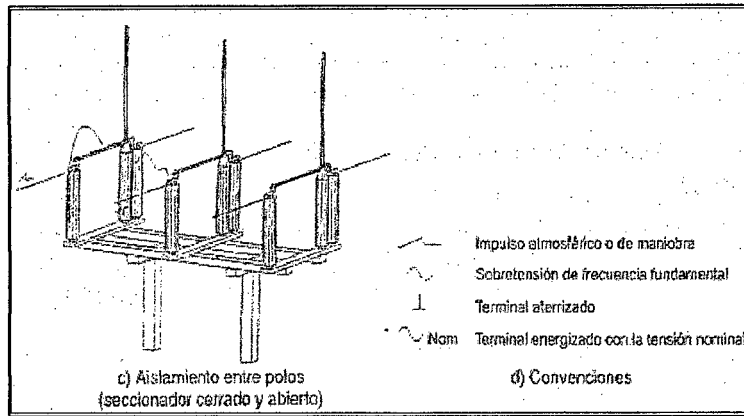


Fig. 8 Nivel de aislamiento especificado para seccionadores

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

El valor del nivel de aislamiento entre polos (fase-fase), no necesariamente debe especificarse. Una práctica usual consiste en especificar una distancia entre polos que corresponda al nivel de aislamiento deseado o que sea definida por otros factores que pueden ser determinantes en el dimensionamiento del aislamiento fase-fase, tales como: corona, radio-interferencia, requisitos de arreglo físico, etc.

El aislamiento entre terminales de un seccionador abierto con tensión 300 kV o mayor puede desempeñar dos funciones en cuanto a los impulsos de maniobra:

- Función de seguridad: cuando el seccionador puede ser sometido a impulsos de maniobra en un terminal estando el otro terminal a tierra con el personal de campo trabajando en algún equipo adyacente a este seccionador. Los seccionadores que ejecutan esta función se designan, según IEC 62271-102 (2001), como seccionadores clase A.
- Función de servicio: cuando un seccionador en servicio puede ser sometido a impulsos de maniobra en un terminal estando el otro terminal energizado con la tensión de frecuencia industrial. Los seccionadores

que ejecutan esta función son designados, según IEC 62271-102, como seccionadores clase B.

En las Tablas 1 al 4, se indica el nivel de aislamiento de acuerdo con el nivel de tensión del equipo.

2.2.2.2.3 Corriente Asignada en Servicio Continuo

La corriente asignada en servicio continuo de un equipo es el valor eficaz de la corriente que el equipo debe soportar continuamente bajo unas condiciones específicas de utilización y comportamiento.

Los valores de corriente asignada en servicio continuo pueden ser seleccionados de la publicación IEC 60059 (1999), así: 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8A y sus múltiplos por 10^n .

Estos valores son válidos únicamente para seccionadores, no para seccionadores de puesta a tierra.

2.2.2.2.4 Corriente de Corta Duración Admisible Asignada

Es el valor eficaz de corriente que el equipo de corte es capaz de soportar en la posición cerrada durante un corto tiempo especificado, bajo condiciones específicas de utilización y funcionamiento.

El valor de corriente de corta duración admisible asignada debe ser igual al valor de cortocircuito asignado especificado para el equipo y debe seleccionarse entre los siguientes valores: 1 – 1.25 – 1.6 – 2 – 2.5 – 3.15 – 4 – 5 – 6.3 – 8 A y sus productos por 10^n .

Si el seccionador de puesta a tierra está combinado con el seccionador en un mismo equipo, la corriente de corta duración admisible asignada del seccionador de puesta a tierra, debe ser, como mínimo, igual a la del seccionador, a no ser que se especifique otra cosa.

2.2.2.2.5 Valor Pico de la Corriente Admisible Asignada

Es el valor pico de corriente en el primer ciclo de la corriente de corta duración admisible, que un equipo debe soportar en posición cerrada bajo condiciones específicas de utilización y funcionamiento. Para una frecuencia asignada de 60 Hz es igual a 2.6 veces la corriente de corta duración admisible.

Si el seccionador de puesta a tierra está combinado con el seccionador en un mismo equipo, el valor pico de la corriente admisible asignada del seccionador de puesta a tierra, debe ser como mínimo igual a la del seccionador, a no ser que se especifique otra cosa.

2.2.2.2.6 Duración Asignada del Cortocircuito

Es el intervalo de tiempo durante el cual un equipo debe soportar, en posición cerrada, una corriente igual a la corriente de corta duración admisible asignada. El valor normal es 1 s. Si se requiere un valor mayor de 1s, se recomienda seleccionar 3 s. Otros valores recomendados son 0.5 s y 2 s.

2.2.2.2.7 Tensión Asignada de Alimentación de los Dispositivos de Cierre y de Apertura y de los Circuitos Auxiliares

Tensión en corriente continua: 24V, 48V, 60V, 110V ó 125V, 220V ó 250V.

Tensión en corriente alterna (50Hz ó 60 Hz):

- Sistema trifásico, 3 ó 4 hilos: (220/380 V), 230/400V (240/415V), 277/480V y aunque no es contemplado por la IEC, se puede considerar 120/208V.
- Sistema monofásico, 3 hilos: 120/240V
- Sistema monofásico, 2 hilos: 120V, (220V), 230V, (240V), 277V.

Los valores menores corresponden a la tensión fase-neutro y los valores más elevados corresponden a los valores fase-fase o valores entre líneas. El dispositivo de maniobra debe ser capaz de abrir o cerrar el equipo de conexión con cualquier valor de tensión auxiliar de alimentación entre 85% y 110% del valor asignado.

2.2.2.2.8 Poder de Cierre Asignado en Corto Circuito

Los seccionadores de puesta a tierra a los cuales se les especifica el poder de cierre asignado en cortocircuito, deben ser capaces de establecer, a valores de tensión por debajo o iguales a la tensión asignada, cualquier corriente inferior o igual a su valor de poder de cierre asignado en corto circuito.

Si a un seccionador de puesta a tierra se le especifica el poder de cierre asignado en corto circuito, este valor debe ser igual al valor pico de la corriente admisible asignada.

2.2.3 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.

2.2.3.1 TIPOS PRINCIPALES

2.2.3.1.1 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 éstos transformadores son predominantes.

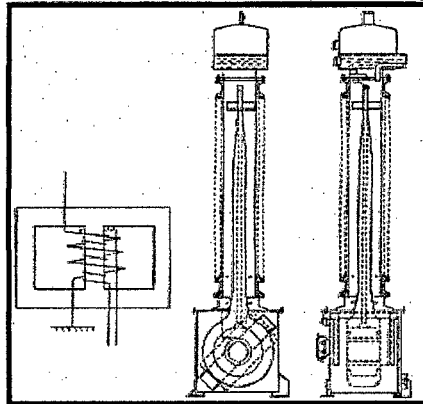


Fig. 9 Transformador de Tensión Inductivo

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.3.1.2 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 145 kV los divisores capacitivos son predominantes.

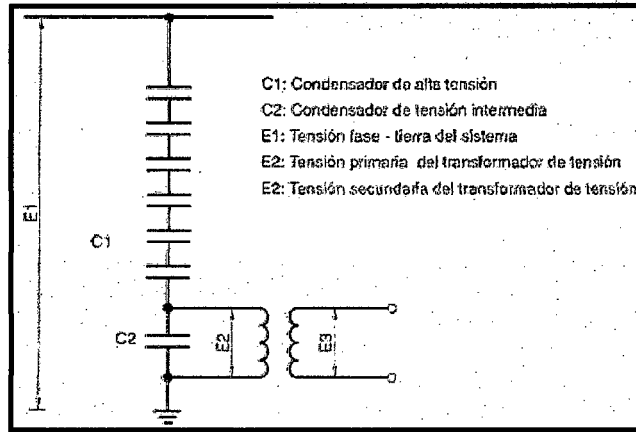


Fig. 10 Transformador de Tensión Capacitivo

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.3.1.3 Transformadores Divisores Resistivos

No se utilizan normalmente en sistemas de potencia, sino más bien en circuitos de prueba e investigación en laboratorio.

2.2.3.1.4 Transformadores Divisores Mixtos

Se utilizan en circuitos de prueba e investigación en laboratorio. No se utilizan en sistemas de potencia.

2.2.3.2 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, y 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.

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.

2.2.3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

2.2.3.3.1 Valores de las Tensiones Asignadas

2.2.3.3.1.1 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 $\sqrt{3}$

2.2.3.3.1.2 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 ($U_m > 34,5$ 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 $\sqrt{3}$.

2.2.3.3.2 Límites de Aumento de Temperatura

El aumento de temperatura de un transformador de tensión a la tensión especificada, a la frecuencia asignada, para la carga de precisión, o a la carga de precisión más elevada cuando se especifican varias, para un factor de potencia entre 0,8 (inductivo) y la unidad no debe sobrepasar los valores establecidos en la Tabla 5.

Tabla 5: Límites de incremento de temperatura en transformadores de tensión.

Clase de aislamiento (IEC 60085)	Límites de calentamiento [K]
Todas las clases de devanados sumergidos en aceite	60
Todas las clases de devanados sumergidos en aceite y sellados herméticamente	65
Todas las clases de devanados sumergidos en compuesto bituminoso	50
Clases no inmersas en aceite o compuesto bituminoso de las siguientes clases:	
Y	45
A	60
E	75
B	85
F	110
H	135

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.3.3.3 Potencia

2.2.3.3.3.1 Potencia de Precisión

Es el valor de la potencia aparente (VA) que suministra el transformador en el secundario con la tensión secundaria asignada y la carga de precisión conectada, de conformidad con los requerimientos de la clase de precisión. En un transformador de tensión con varios

devanados debe indicarse la potencia simultánea total que puede suministrar el equipo. Los valores normalizados de la potencia de precisión, para un factor de potencia de 0,8 (inductivo) son:

Según IEC:

10 – 15 – **25** – 30 – **50** – 75 – **100** – 150 – **200** – 300 – 400 – **500** VA

Los valores en negrita son los preferidos.

Según ANSI:

12,5 (W) – 25 (X) – 35 (M) – 75 (Y) – 200 (Z) – 400 (ZZ) VA

2.2.3.3.3.2 Potencia Térmica Límite

Valor de la potencia aparente, referida a la tensión asignada, que el transformador puede suministrar al circuito secundario, cuando se aplica la tensión asignada al primario, sin exceder los límites de calentamiento.

2.2.3.3.4 Factor de Tensión Asignado

Es el factor que multiplica la tensión primaria asignada para determinar la tensión máxima, a la cual el transformador deberá cumplir con los requerimientos de exactitud especificados.

El factor de tensión y la tensión máxima de funcionamiento dependen del sistema y de la condición de puesta a tierra del devanado primario del transformador.

Los valores normales del factor de tensión asignado y de la duración admisible de la aplicación de la tensión máxima de funcionamiento están dados en la Tabla 6 para diferentes condiciones de puesta a tierra del sistema.

Tabla 6: Valores normalizados de factores de tensión asignados

Factor de tensión asignado	Duración asignada	Modo de conexión del devanado primario y condiciones de puesta a tierra del sistema
1,2	Continuamente	Entre fases en cualquier sistema Entre el neutro de un transformador en Y y tierra, en cualquier sistema
1,2	Continuamente	Entre fase y tierra en un sistema con neutro sólidamente aterrizado
1,5	30 s	
1,2	Continuamente	Entre fase y tierra en un sistema con neutro no aterrizado sólidamente, con disparo automático por falla a tierra
1,9	30 s	
1,2	Continuamente	Entre fase y tierra en un sistema con neutro aislado sin disparo automático por fallas a tierra o en un sistema aterrizado resonante sin disparo automático por fallas a tierra
1,9	8h	

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.3.3.5 Niveles de Aislamiento

Deben ser seleccionados de acuerdo con lo estipulado en la norma IEC 60186.

2.2.3.3.5.1 Niveles de Aislamiento para el Devanado Primario

El nivel de aislamiento asignado del devanado primario de un transformador de tensión inductivo está basado en la tensión más elevada del material, U_m .

Para el caso de devanados con tensión más elevada del material igual a 0,72 kV o 1,2 kV, el nivel de aislamiento asignado es determinado por la tensión soportada asignada a frecuencia industrial de acuerdo con la Tabla 7.

Para el caso de devanados con tensión más elevada del material igual o superior a 3,6 kV pero inferior a 300 kV, el nivel de aislamiento asignado es determinado por la tensión soportada asignada a frecuencia industrial y al impulso tipo rayo, de acuerdo con la Tabla 8.

Para el caso de devanados con tensión más elevada del material igual o superior a 300 kV, el nivel de aislamiento asignado es determinado por la tensión soportada asignada al impulso de maniobra y al impulso tipo rayo, de acuerdo con la Tabla 8.

Existen otros requerimientos para el nivel de aislamiento del devanado primario de los transformadores de tensión, que son:

- Los devanados que tienen $U_m \geq 300$ kV deben soportar la tensión a frecuencia industrial, definida en la Tabla 9 de acuerdo con la tensión soportada al impulso tipo rayo seleccionada para ellos.
- El terminal de puesta a tierra del devanado primario, cuando se encuentre aislado de la cuba o del chasis, debe soportar una tensión asignada a frecuencia industrial de corta duración de 3 kV (valor eficaz).
- Si se especifica, el devanado primario debe soportar también una tensión de impulso tipo rayo recortada, con un valor de cresta igual al 115% de la tensión de impulso tipo rayo plena.

Tabla 7: Nivel de aislamiento asignado para devanados primarios de transformadores con tensión máxima $U_m < 300$ kV

Tensión más elevada para el material U_m [kV] (valor eficaz)	Tensión soportada asignada de corta duración a frecuencia industrial U_d [kV] (valor eficaz)	Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo U_p [kV] (valor pico)
0,72	3	-
1,2	6	-
3,6	10	20
7,2	20	40
12	28	60
17,5	38	60
24	50	75
36	70	75
52	95	95
72,5	140	125
100	185	145
123	185	170
145	230	250
170	230	325
245	275	450
	275	450
	325	550
	395	550
	460	650
		750
		950
		1050

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Nota: Para instalaciones expuestas es recomendable seleccionar el nivel de aislamiento más elevado.

Tabla 8: Nivel de aislamiento asignado para devanados primarios de transformadores con tensión máxima $U_m \geq 300$ kV

Tensión más elevada para el material U_m [kV] (valor eficaz)	Tensión soportada asignada al impulso tipo maniobra U_s [kV] (valor pico)	Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo U_p [kV] (valor pico)
300	750	950
	850	1050
362	850	1050
	950	1175
420	1050	1300
	1050	1425
525	1050	1425
	1175	1550
765	1425	1950
	1550	2100

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Notas:

(1) Para instalaciones expuestas es recomendable seleccionar el nivel de aislamiento más elevado.

(2) Como las tensiones de prueba para niveles de 765 kV no han sido aún establecidas, puede haber cambios en los niveles de aislamiento al impulso tipo rayo y al impulso tipo maniobra.

Tabla 9: Tensión soportada a frecuencia industrial para los devanados primarios de transformadores con tensión máxima $U_m > 300$ kV

Tensión soportada asignada al impulso tipo rayo [kV] (valor pico)	Tensión soportada asignada a frecuencia industrial [kV] (valor eficaz)
950	395
1050	460
1175	510
1300	570
1425	630
1550	680
1950	880
2100	975

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.3.3.5.2 Verificación de Aislamiento

Se realizan los siguientes chequeos:

Descargas parciales, cuyos requerimientos son aplicables a transformadores de tensión inductivos, con una tensión máxima igual o superior a 7,2 kV. El nivel de descargas parciales no debe exceder los valores establecidos en la Tabla 10, para la tensión de prueba definida en dicha tabla, con el procedimiento definido por la IEC 60186.

La medida de la capacitancia y factor de disipación dieléctrico aplica únicamente a transformadores con el devanado primario sumergido en líquido con la tensión más elevada del material igual o mayor que 72,5 kV. El propósito es el de controlar la uniformidad de la fabricación del equipo. Los límites de variación admisibles deben ser acordados entre el fabricante y el cliente.

El factor de disipación dieléctrico depende del diseño del aislamiento y de la tensión y temperatura. Su valor a la tensión de fase ($U_m / \sqrt{3}$) y a la temperatura ambiente no excede normalmente 0.005. Los valores de la capacitancia y del factor de disipación dieléctrico deben referirse a la frecuencias asignada y a un nivel de tensión en el rango de 10 kV a $U_m / \sqrt{3}$.

Tabla 10: Tensión de prueba de descargas parciales y niveles admisibles

Tipo de puesta a tierra del sistema	Conexión del devanado primario	Tensión de prueba de descargas parciales [kV] (valor eficaz)	Nivel de descargas parciales admisible pC	
			Tipo de aislamiento	
			Sumergido en un líquido	Sólido
Sistema con el neutro aterrizado (factor de puesta a tierra $\leq 1,5$)	Entre fase y tierra	U_m	10	50
		$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20
	Entre fases	$1,2 U_m$	5	20
Sistema con el neutro aislado o no puesto a tierra efectivamente (factor de puesta a tierra $> 1,5$)	Entre fase y tierra	$1,2 U_m$	10	50
		$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20
	Entre fases	$1,2 U_m$	5	20

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Notas:

- (1) Si el neutro del sistema no está definido, los valores indicados para neutro aislado o no puesto a tierra efectivamente, son válidos.
- (2) Los valores admisibles de descargas parciales son válidos también para frecuencias diferentes a la frecuencia asignada.
- (3) Cuando la tensión asignada de un transformador de tensión es considerablemente menor que la tensión más elevada del material U_m la tensión de pre-tensionado y las tensiones medidas pueden ser acordadas entre el fabricante y el comprador.

2.2.3.3.5.3 Nivel de Aislamiento en Devanados Secundarios

La tensión asignada soportada a frecuencia industrial de los devanados secundarios, debe ser 3 kV (valor eficaz).

2.2.3.3.5.4 Requerimiento de Aislamiento entre Secciones

En el caso de devanados secundarios divididos en dos o más secciones, la tensión asignada soportada a frecuencia industrial de aislamiento entre secciones debe ser de 3 kV (valor eficaz).

2.2.3.3.6 Precisión

2.2.3.3.6.1 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:

$$\text{Error de tensión} = \frac{K_n u_s - u_p}{u_p} \times 100, \% \quad \dots\dots\dots (3)$$

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.

2.2.3.3.6.2 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.

2.2.3.3.6.3 Clase de Precisión

Define los límites de error de tensión y desfase.

2.2.3.3.6.3.1 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 11 a cualquier tensión entre 80% y 120% de la tensión asignada y con cargas entre 25% y 100% de la carga de precisión 1, 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.

Tabla 11: Límites de error para 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: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.3.3.6.3.2 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 12.

Tabla 12: Límites de error para 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: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.3.4 FERRORESONANCIA EN TRANSFORMADORES DE TENSIÓN CAPACITIVOS

La impedancia de excitación Z_e del transformador auxiliar y la capacitancia del divisor capacitivo forman un circuito resonante, el cual oscila normalmente a una frecuencia diferente de la frecuencia asignada del sistema.

Cuando dicho circuito resonante es sometido a un impulso de tensión (el cual puede ser incluso el que ocurre cuando el transformador es energizado), se presenta cierto grado de oscilación que, debido a la naturaleza no lineal de la inductancia, puede tomar diferentes valores de frecuencia.

Si la frecuencia fundamental del circuito es ligeramente inferior a un tercio de la frecuencia del sistema, es posible que haya una absorción de energía del sistema que ocasione un incremento de la oscilación. A medida que esto ocurre, el incremento en la densidad de flujo del núcleo del transformador reduce la inductancia, llevando el valor de la frecuencia de resonancia a un

valor cercano al tercio de la frecuencia del sistema. El resultado es que la oscilación se estabiliza como una componente de tercer armónico del sistema, la cual puede mantenerse indefinidamente.

Dependiendo del valor de los componentes pueden presentarse otros armónicos pero la oscilación de tercer armónico es la más frecuente. La consecuencia principal de tal oscilación es el aumento de la tensión de salida entre un 25% y un 50% del valor normal.

Si no se contrarresta la Ferroresonancia, la corriente de magnetización en el núcleo del transformador puede llegar a ser tan alta como para destruir el equipo.

Tales oscilaciones ocurren con menor frecuencia cuando las pérdidas del circuito son altas, como en el caso de cargas resistivas.

2.2.4 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.

2.2.4.1 TIPOS PRINCIPALES

2.2.4.1.1 Según su Construcción Eléctrica

2.2.4.1.1.1 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.

2.2.4.1.1.2 Secundario de Relación Múltiple

O llamado Multirelación. 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.

2.2.4.1.2 Según su Utilización

2.2.4.1.2.1 Transformadores de Corriente para Medida

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

2.2.4.1.2.2 Transformadores de Corriente para Protección

Son utilizados para alimentar relés de protección. Dependiendo de las características de su funcionamiento pueden ser de varios tipos:

- Núcleos convencionales clase P: son aquellos en los cuales el límite de precisión está definido por el error compuesto para una corriente primaria simétrica de régimen estacionario. Sin límite para el flujo remanente.

- Núcleos convencionales clase PR: son aquellos en los cuales el límite de precisión está definido por el límite superior del error compuesto para la corriente límite de precisión asignada y la carga asignada, limitando el flujo remanente. Se utilizan cuando el esquema de protección requiere, principalmente, la ausencia de flujo remanente.

○Núcleos convencionales clase PX: son aquellos en los cuales se limita el error en la relación del número de espiras ($< \pm 25\%$) y a los cuales se les especifican la f.e.m. asignada de codo y la corriente máxima de excitación en este punto. Se utilizan en esquemas de protección en los cuales es suficiente el conocimiento de las características de excitación, resistencia y carga secundaria y relación de espiras.

○Núcleos linealizados o de respuesta transitoria: son aquellos que no se saturan debido a la componente aperiódica de la corriente de corto circuito, ni en el caso de recierres de líneas de transmisión, debido al flujo remanente en el núcleo. Estas características se logran sobredimensionando el núcleo, bien sea aumentando la sección del mismo o introduciendo entrehierros (gaps). Son utilizados para alimentar relés de protección que requieren precisión durante los primeros ciclos de la corriente de corto circuito o en instalaciones en donde la constante de tiempo de la línea es muy alta.

2.2.4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

2.2.4.2.1 Valores Normalizados de las Corrientes Primarias Asignadas

2.2.4.2.1.1 Transformadores con una sola relación de transformación

Los valores sugeridos en la norma IEC 60044-1 (2003) son: 10 – 12.5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A o sus múltiplos o sus sub-múltiplos decimales.

En la Tabla 13 se muestran los valores de corriente para transformadores con una o dos relaciones establecidos por la norma IEEE Std C57.13 (1993).

Tabla 13: Corriente asignada para transformadores de corriente con una o dos relaciones

Corriente Asignada		
Relación sencilla	Doble relación con devanados primario serie – paralelo	Doble relación con derivaciones en el devanado secundario
10 : 5	25 * 50 : 5	25 / 50 : 5
15 : 5	50 * 100 : 5	50 / 100 : 5
25 : 5	100 * 200 : 5	100 / 200 : 5
40 : 5	200 * 400 : 5	200 / 400 : 5
50 : 5	400 * 800 : 5	300 / 600 : 5
75 : 5	600 * 1200 : 5	400 / 800 : 5
100 : 5	1000 * 2000 : 5	600 / 1200 : 5
200 : 5	2000 * 4000 : 5	1000 / 2000 : 5
300 : 5		1500 / 3000 : 5
400 : 5		2000 / 4000 : 5

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.4.2.1.2 Transformadores con múltiples relaciones de transformación

En la Tabla 14 se muestran las relaciones para los transformadores de corriente multirrelación definidas por la norma IEEE Std C 57.13 (1993).

Tabla 14: Corriente asignada para transformadores de corriente multirrelación

Corriente asignada [A]	Taps secundarios	Corriente asignada [A]	Taps secundarios
600:5		3000:5	
50:5	X2 - X3	300:5	X3 - X4
100:5	X1 - X2	500:5	X4 - X5
150:5	X1 - X3	800:5	X3 - X5
200:5	X4 - X5	1000:5	X1 - X2
250:5	X3 - X4	1200:5	X2 - X3
300:5	X2 - X4	1500:5	X2 - X4
400:5	X1 - X4	2000:5	X2 - X5
450:5	X3 - X5	2200:5	X1 - X3
500:5	X2 - X5	2500:5	X1 - X4
600:5	X1 - X5	3000:5	X1 - X5
1200:5		4000:5	
100:5	X2 - X3	500:5	X1 - X2
200:5	X1 - X2	1000:5	X3 - X4
300:5	X1 - X3	1500:5	X2 - X3
400:5	X4 - X5	2000:5	X1 - X3
500:5	X3 - X4	2500:5	X2 - X4
600:5	X2 - X4	3000:5	X1 - X4
800:5	X1 - X4	3500:5	X2 - X5
900:5	X3 - X5	4000:5	X1 - X5
1000:5	X2 - X5		
1200:5	X1 - X5		
2000:5			
300:5	X3 - X4	1200:5	X1 - X3
400:5	X1 - X2	1500:5	X1 - X4
500:5	X4 - X5	1600:5	X2 - X5
800:5	X2 - X3	2000:5	X1 - X5
1100:5	X2 - X4		

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.4.2.2 Valores Normales de las Corrientes Secundarias Asignadas

Los valores normales de corrientes secundarias asignadas son 1 A, 2 A y 5 A.

2.2.4.2.3 Corrientes de Cortocircuito Asignadas

2.2.4.2.3.1 Corriente de Cortocircuito Térmica Asignada I_{th}

Es el valor eficaz de la corriente primaria que el transformador puede soportar durante 1 s, con el secundario cortocircuitado, sin que sufra daños. Los valores considerados por la norma para esta corriente corresponden con los definidos para la corriente primaria asignada.

2.2.4.2.3.2 Valor Normal de la Corriente Dinámica Asignada I_{dyn}

Es el valor de cresta de la corriente primaria que el transformador puede soportar sin sufrir daños eléctricos o mecánicos debidos a los esfuerzos electromecánicos resultantes, estando el secundario cortocircuitado. El valor normal de la corriente dinámica asignada debe ser $2,5 I_{th}$.

2.2.4.2.4 Cargas de Precisión

La carga en un transformador de corriente es la impedancia del circuito secundario, expresada en ohm, indicando el factor de potencia FP.

La carga de precisión es la potencia aparente, en volt amperes, a un factor de potencia especificado, que el transformador puede suministrar al circuito secundario, a la corriente secundaria asignada, para la cual se especifican las condiciones de precisión.

2.2.4.2.5 Límites de Calentamiento

Los transformadores de corriente no deben exceder los límites de calentamiento definidos en la Tabla 5, para las condiciones de servicio y las características especificadas.

2.2.4.2.6 Tensión más Elevada del Material y Niveles de Aislamiento

2.2.4.2.6.1 Tensión más Elevada del Material U_m

Es la tensión eficaz fase-fase más elevada, para la cual el transformador está diseñado, en relación con su aislamiento.

2.2.4.2.6.2 Nivel de Aislamiento Asignado para los Arrollamientos Primarios

Está basado en la tensión más elevada del material (U_m).

Para el caso de devanados con tensión más elevada del material igual a 0,72 kV o 1,2 kV, el nivel de aislamiento asignado es determinado por la tensión soportada asignada a frecuencia industrial, de acuerdo con la Tabla 7.

Para el caso de devanados con tensión más elevada del material igual o superior a 3,6 kV pero inferior a 300 kV, el nivel de aislamiento asignado es determinado por la tensión soportada asignada a frecuencia industrial y al impulso tipo rayo, de acuerdo con la Tabla 7.

Para el caso de devanados con tensión más elevada del material igual o superior a 300 kV, el nivel de aislamiento asignado es determinado por la tensión soportada asignada al impulso de maniobra y al impulso tipo rayo, de acuerdo con la Tabla 8.

Existen otros requerimientos para el nivel de aislamiento del devanado primario de los transformadores de corriente, que son:

- Los devanados que tienen $U_m \geq 300$ kV deben soportar la tensión a frecuencia industrial, definida en la Tabla 9, de acuerdo con la tensión soportada al impulso tipo rayo seleccionada para ellos.
- Si se especifica, el devanado primario debe soportar, también, una tensión de impulso tipo rayo recortada, con un valor de cresta igual al 115% de la tensión de impulso tipo rayo plena.

2.2.4.2.6.3 Verificación de Aislamiento

Se efectúan los siguientes chequeos:

- Descargas parciales cuyos requerimientos son aplicables a transformadores de corriente con una tensión máxima igual o superior a 7,2 kV. El nivel de descargas parciales no debe exceder los valores definidos en la Tabla 15, para la tensión de prueba definida en esta tabla, con el procedimiento definido por la IEC 60044-1 (2003).

Tabla 15: Tensión de prueba de descargas parciales y niveles admisibles

Tipo de puesta a tierra del sistema	Tensión de prueba de descargas parciales [kV] (valor eficaz)	Nivel de descargas parciales admisible Pc	
		Tipo de aislamiento	
		Sumergido en un líquido	Sólido
Sistema con el neutro aterrizado (factor de puesta a tierra $\leq 1,5$)	U_m	10	50
	$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20
Sistema con el neutro aislado o no puesto a tierra efectivamente (factor de puesta a tierra $> 1,5$)	$1,2 U_m$	10	50
	$1,2 U_m / \sqrt{3}$	5	20

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

- (1) Si el neutro del sistema no está definido, los valores indicados para neutro aislado o no puesto a tierra efectivamente, son válidos.
- (2) Los valores admisibles de descargas parciales son válidos también para frecuencias diferentes a la frecuencia asignada.
- (3) La medida de la capacitancia y factor de disipación dieléctrico aplica únicamente a transformadores con el devanado primario sumergidos en líquido con la tensión más elevada del material igual o mayor que 72,5 kV. El propósito es el de controlar la uniformidad de la fabricación y establecer el estado del material del aislamiento utilizado en la fabricación del equipo. Los límites de variación admisibles deben ser acordados entre el fabricante y el cliente.
- (4) El factor de disipación dieléctrico depende del diseño del aislamiento y de la tensión y temperatura. Su valor a tensión de fase ($U_m / \sqrt{3}$) y a la temperatura ambiente no excede normalmente 0,005. Los valores de la capacitancia y del factor de disipación dieléctrico deben referirse a la frecuencia asignada y a un nivel de tensión en el rango de 10 kV a tensión de fase ($U_m / \sqrt{3}$).

2.2.4.2.6.4 Nivel de Aislamiento en Devanados Secundarios

La tensión asignada, soportada a frecuencia industrial de los devanados secundarios debe ser 3 kV (valor eficaz).

2.2.4.2.6.5 Requerimiento de Aislamiento entre Secciones

En el caso de devanados secundarios divididos en dos o más secciones, la tensión asignada soportada a frecuencia industrial de aislamiento entre secciones debe ser 3 kV (valor eficaz).

2.2.5 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.

2.2.5.1 TIPOS PRINCIPALES

2.2.5.1.1 Pararrayos Convencionales

O llamado Carburo de Silicio. 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". Con la llegada de los pararrayos en óxido de zinc, éstos desaparecieron del mercado.

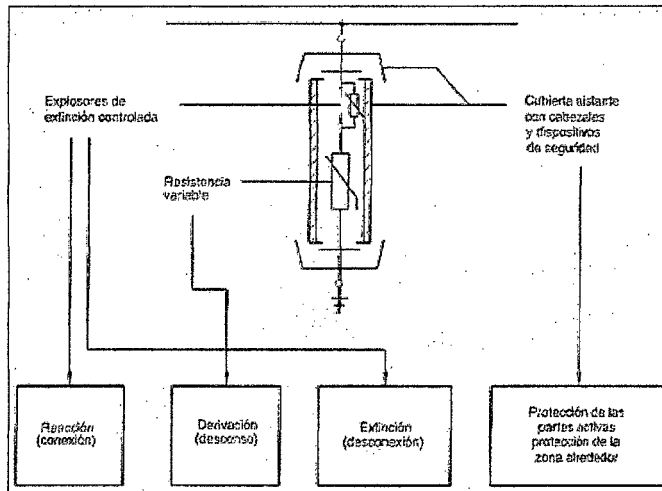


Fig. 11 Esquema de un Pararrayo Convencional

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.5.1.2 Pararrayos de Óxido de Zinc

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.

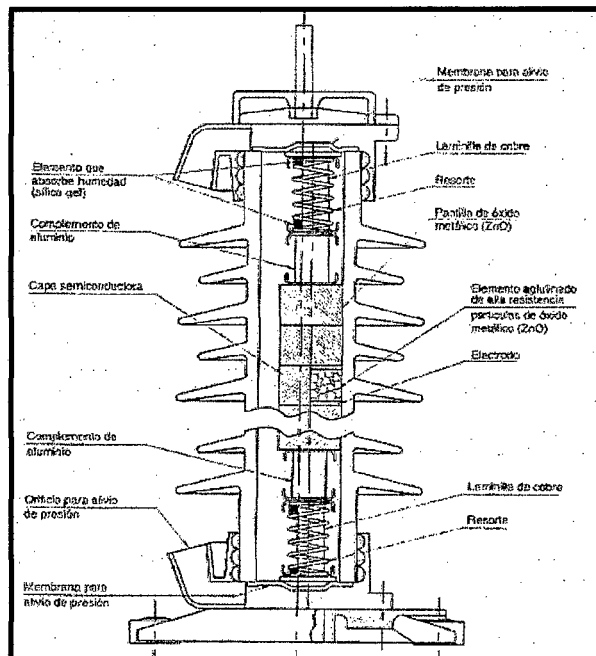


Fig. 12 Esquema Típico Interno de un Pararrayos de Óxido Metálico (ZnO)

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.5.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

2.2.5.2.1 Tensión Asignada U_r

Es el valor eficaz máximo permisible de la tensión a frecuencia industrial aplicado entre los terminales del pararrayos para el cual debe operar correctamente, bajo condiciones de sobretensiones temporales. En la Tabla 16 se presentan las tensiones asignada para pararrayos de óxido de zinc.

Tabla 16: Tensiones asignadas de pararrayos

Rango de la tensión asignada [kV]	Pasos de incremento de la tensión asignada [kV]
3 - 30	1
30 - 54	3
54 - 96	6
96 - 288	12
288 - 324	18
324 - 756	24

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.5.2.2 Tensión de Operación Continua U_c

Es el mayor valor de tensión eficaz a frecuencia industrial que soporta el pararrayos continuamente.

2.2.5.2.3 Frecuencia Asignada

Es la frecuencia del sistema de potencia para la cual está prevista la instalación del pararrayos.

2.2.5.2.4 Impulso

Es una onda unidireccional de tensión o corriente que sin oscilación apreciable crece rápidamente a un valor máximo y cae, usualmente menos rápido, a cero.

2.2.5.2.4.1 Impulso Escarpado de Corriente

Es un impulso de corriente con un tiempo virtual de frente de $1\mu\text{s}$. El tiempo virtual para el valor medio de la cola no es mayor de $20\mu\text{s}$.

2.2.5.2.4.2 Impulso de Corriente Tipo Rayo

Es un impulso de corriente con un tiempo virtual de frente de $8\mu\text{s}$. El tiempo virtual para el valor medio de la cola de $20\mu\text{s}$.

2.2.5.2.4.3 Corriente de Descarga Nominal de un Pararrayos I_n

Es el valor pico del impulso de corriente de descarga que tiene un impulso de $8 * 20\mu\text{s}$. Los valores de corrientes nominales de descarga son: 20000 A, 10000 A, 5000 A, 2500 A y 1500 A.

2.2.5.2.4.4 Clasificación de los Pararrayos

La norma IEC 60099-4 (2001) clasifica los pararrayos según las corrientes nominales de descarga en los siguientes tipos:

Estación: pararrayos de 10000 A y 20000 A

Intermedio o distribución: pararrayos de 5000 A

Secundarios: pararrayos desde 1500 A hasta corriente menores que 5000 A.

La norma IEEE Std C62.11 (1993) clasifica los pararrayos de acuerdo con la corriente de descarga al impulso tipo rayo de la manera indicada en la Tabla 17. (En paréntesis se indica la tensión máxima del sistema).

Tabla 17: Clasificación de los pararrayos según la norma IEEE Std C62.11

Clasificación del pararrayos	Valor del impulso [A] (valor pico)
Estación (800 kV)	20 000
Estación (550 kV)	15 000
Estación (menor a 550 kV)	20 000
Intermedio	5 000
Distribución	
Trabajo pesado	10 000
Trabajo normal	5 000
Secundario	1 500

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.2.5.2.4.5 Impulso de Corriente de Maniobra

Es el valor pico de una corriente de descarga que tiene un tiempo virtual de frente mayor de 30 μ s pero menor de 100 μ s y un tiempo virtual para el valor medio de la cola de aproximadamente el doble del tiempo virtual de frente.

2.2.5.2.5 Corriente Continua de un Pararrayos

Es la corriente que circula a través del pararrayos cuando se energiza con la tensión de operación.

2.2.5.2.6 Corriente de Referencia del Pararrayos

Es el valor pico de la componente resistiva de la corriente a la frecuencia industrial utilizada para determinar la tensión de referencia de un pararrayos.

2.2.5.2.7 Tensión de Referencia de un Pararrayos U_{ref}

Es el valor pico más alto, independiente de la polaridad de tensión a frecuencia industrial, dividido por 2, medido a la corriente de referencia del pararrayos.

2.2.5.2.8 Tensión Residual de un Pararrayos U_{res}

Es el valor pico de tensión que aparece entre los terminales de un pararrayos durante el paso de la corriente de descarga.

2.2.5.2.9 Capacidad de Absorción de Energía

Es de gran importancia especialmente en los sistemas de extra alta tensión, donde la energía es muy elevada debido a la poca posibilidad de repartición de energía entre los pararrayos de una subestación. Los catálogos de los fabricantes normalmente indican la capacidad máxima de energía en kilojoules (kJ), siendo esta capacidad una función de la tensión asignada y de la corriente de descarga del pararrayos.

2.3 PRUEBAS INDIVIDUALES DE EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN

Luego de ejecutar el montaje de los equipos de 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.

Para la ejecución de las pruebas individuales se debe contar con equipos que permitan un control adecuado de las variables eléctricas, equipos que posean buena precisión y que posean su certificado de calibración emitido por un laboratorio certificado de acuerdo con normas internacionales.

2.3.1 EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN

Las pruebas que se deben realizar a los equipos de una subestación dependen básicamente de los requerimientos del proyecto.

2.3.1.1 VERIFICACIONES GENERALES

Se realizan para cada uno de los equipos de alta tensión

- Limpieza General
- Datos de Placa

- Colocación y revisión de nomenclatura asignada al equipo
- Inspección visual de boquilla, porcelana y gabinetes de control o conexión
- Conexiones primarias y a tierra
- Tornillería
- Retiro de bloqueos mecánicos de transporte
- Verificación del sistema de calefacción e iluminación

De forma general se enuncian las pruebas en sitio que se realizan comúnmente.

INTERRUPTORES DE POTENCIA	SECCIONADORES	TRANSFORMADORES DE TENSIÓN	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	PARARRAYOS
Presión de gas SF ₆	Verificación del mecanismo de operación manual y motorizado en su caso	Nivel de aceite	Nivel de aceite	Resistencia de aislamiento
Operación de motores y compresores	Alimentación de c.a y c.c.	Verificación de dispositivos de protección secundarios	Núcleos no utilizados cortocircuitados y a tierra	Factor de potencia
Operación manual de emergencia	Resistencia de aislamiento	Resistencia de aislamiento	Resistencia de aislamiento	Medida de la corriente de fuga en servicio
Operación de señalización de cerrado/abierto	Resistencia de contactos	Factor de potencia	Factor de potencia	
Contador de operaciones	Tiempos de cierre y apertura	Prueba de relación de transformación	Prueba de relación de transformación	
Alimentación de c.a y c.c	Corrientes de operación de cierre y apertura	Prueba de polaridad	Obtención de curvas de magnetización en cada núcleo para la relación utilizada	
Sellado de gabinetes			Prueba de polaridad	
Resistencia de Aislamiento			Prueba de resistencia de devanados	
Factor de potencia				
Resistencia de contactos				
Tiempos de operación al cierre y apertura				
Tensiones y corrientes de operación de las bobinas de cierre y apertura				
Bloqueos y alarmas por pérdidas de presión del sistema de interrupción y mecanismos				

Fuente: Elaboración Propia

2.3.2 PRUEBAS INDIVIDUALES

Para realizar las pruebas mencionadas anteriormente, es necesario comprender los fenómenos físicos que involucran el funcionamiento de cada uno de los equipos de alta tensión. A continuación se describen la teoría general y algunos métodos de prueba que pueden ser utilizados durante los procedimientos de pruebas en sitio de estos equipos.

2.3.2.1 Factor de Potencia de Aislamiento

El factor de potencia de un aislante eléctrico o de un sistema de aislamiento, $\tan \delta$, se expresa en forma porcentual, como la cantidad de potencia activa (pérdidas) absorbida por el dieléctrico, referida a la cantidad de potencia aparente cuando el mismo es sometido a un esfuerzo eléctrico.

Cuando se realiza la prueba del factor de potencia de un equipo, se considera todo el sistema de aislamiento del mismo: bujes, líquido dieléctrico, cartón, papel, etc. Un dieléctrico ideal no consume potencia activa y un parámetro indicativo de la calidad o estado del mismo es la cantidad de potencia activa absorbida.

Se considera la prueba de factor de potencia como un buen criterio para determinar el estado aislante de un material dieléctrico. En términos de mantenimiento predictivo de los equipos eléctricos, la prueba de factor de potencia puede ser realizada periódicamente con el fin de determinar la degradación del material aislante y de esta forma establecer las acciones correctivas pertinentes que puedan evitar la destrucción del equipo.

Mediante la prueba de factor de potencia también se determina la capacitancia que posee el aislante de un equipo con respecto a alguna referencia. Uno de los factores que influyen en la capacitancia es la geometría de las superficies involucradas en el efecto capacitivo; si la prueba de factor de potencia arroja valores muy distanciados de los especificados por el fabricante del equipo se puede concluir una deformación de la superficie debida a maltratos

ocasionados durante el transporte del equipo o a esfuerzos mecánicos provocados por cortocircuitos.

El factor de potencia de un material dieléctrico es una indicación de las pérdidas del material por unidad de volumen cuando su capacitancia permanece constante. Entonces el factor de potencia es una propiedad inherente del material dieléctrico y es independiente de su volumen.

Al igual que en cualquier circuito alimentado por una fuente de corriente alterna, el factor de potencia se define:

$$FP = \frac{P}{EI} = \cos \phi \quad (4)$$

Donde:

P : potencia activa, W

E : magnitud de la tensión, V

I : magnitud de corriente, A

Φ : ángulo de fase entre el voltaje E y la corriente I

Las propiedades dieléctricas de un material pueden ser simuladas por medio de un circuito equivalente serie, como se ilustra en la Fig. 13; donde:

R : resistencia serie equivalente del dieléctrico, Ω

C : capacitancia, F

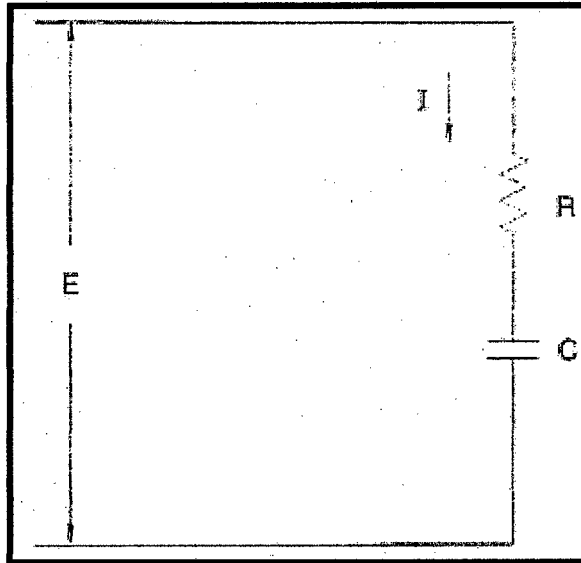


Fig. 13 Circuito equivalente serie

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

El diagrama fasorial se ilustra en la Fig. 14.

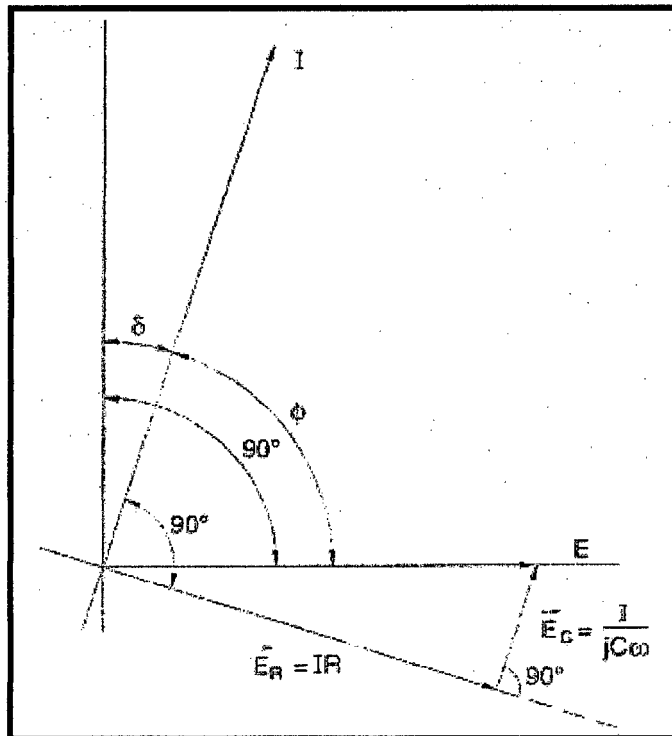


Fig. 14 Diagrama fasorial circuito serie

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

La potencia de pérdidas en el dieléctrico es representada por la expresión:

$$P = I^2 R \dots\dots\dots (5)$$

La corriente I adelanta la tensión E , Φ grados. El factor de potencia está dado por el coseno del ángulo Φ .

$$\phi + \delta = 90^\circ \dots\dots\dots (6)$$

En los materiales dieléctricos usuales, el ángulo Φ es muy cercano a 90° ; por esta razón, es más conveniente expresar el factor de potencia en términos del ángulo δ (Fig. 14), el cual es muy pequeño y es el complemento del ángulo Φ .

Debido a que el circuito equivalente es la conexión serie de una resistencia y un capacitor, la tensión E puede ser analizada como la suma fasorial de dos componentes.

$$\vec{E} = \vec{E}_R + \vec{E}_C \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

$\vec{E}_R = I R$: tensión asociada a la resistencia, está en fase con la corriente I

$\vec{E}_C = \frac{I}{jC\omega}$: tensión asociada a la capacitancia, está atrasada 90° a la corriente I

ω : frecuencia angular $\omega = 2\pi f$, rad/s

El factor de potencia está dado por:

$$FP = \cos \phi = \text{sen } \delta = \frac{I R}{\sqrt{(I R)^2 + \left(\frac{I}{jC\omega}\right)^2}} = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}} \dots\dots\dots (8)$$

Un material dieléctrico puede ser también simulado por medio de un circuito equivalente paralelo (Fig. 15); la capacitancia es simulada por medio del capacitor C y la fuga por la conductancia equivalente paralela G , la cual es muy pequeña en los materiales dieléctricos usuales.

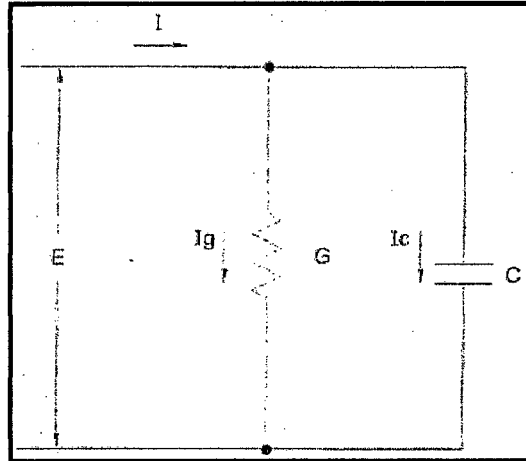


Fig. 15 Circuito equivalente paralelo

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

El diagrama fasorial se ilustra en la Fig. 16.

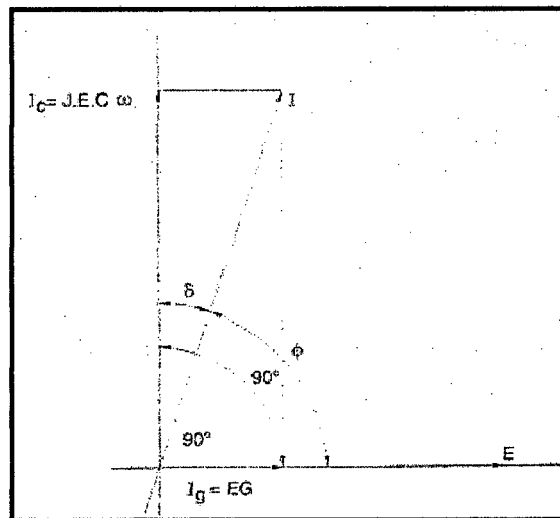


Fig. 16 Diagrama fasorial circuito paralelo

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

La potencia de pérdidas en el dieléctrico es representada por la expresión:

$$P = E^2 G \dots\dots\dots (9)$$

Dado que la impedancia equivalente del circuito paralelo es de naturaleza capacitiva, la corriente I adelanta la tensión E , Φ grados. El factor de potencia está dado por el coseno del ángulo Φ .

Debido a que el circuito equivalente es la conexión paralela de una resistencia y un capacitor, la corriente I puede ser analizada como la suma fasorial de dos componentes.

$$\vec{I} = \vec{I}_g + \vec{I}_c \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

$\vec{I}_g = EG$: corriente de fuga o corriente de conducción del dieléctrico, está en fase con la tensión E .

$\vec{I}_c = jEC\omega$: corriente capacitiva, está adelantada 90° a la tensión E .

El factor de potencia está dado por:

$$FP = \cos \theta = \text{sen } \delta = \frac{EG}{\sqrt{(EG)^2 + (EC\omega)^2}} = \frac{G}{\sqrt{G^2 + (C\omega)^2}} \dots\dots\dots (11)$$

Cuando el factor de potencia es bajo, como sucede en la mayoría de los materiales dieléctricos, el valor G es muy pequeño comparado con $C \omega$, entonces el factor de potencia está dado por:

$$FP \approx \frac{G}{C\omega} = \tan \delta \dots\dots\dots (12)$$

Tan δ es llamado factor de disipación D . Hasta 10° el factor de disipación y el factor de potencia son aproximadamente iguales:

$$\text{Sen}(10^\circ) = 0.173648$$

$$\text{Tan}(10^\circ) = 0.176327$$

Para valores más grandes del factor de potencia, pueden resultar errores considerables en el análisis dieléctrico de un material si el factor de disipación se toma igual al factor de potencia.

El factor de potencia de algunos dieléctricos cambia apreciablemente con la frecuencia y la temperatura. Entonces, cuando el criterio de factor de potencia es usado para comparar materiales dieléctricos, estos factores deben ser considerados.

El factor de potencia puede ser usado como un criterio de comparación para evaluar las pérdidas en elementos fabricados del mismo material dieléctrico o elementos fabricados con diferente material dieléctrico pero con el mismo valor de capacitancia.

2.3.2.1.1 Modos de Prueba

Existen tres modos de prueba asociados a la medición del factor de potencia, éstos son:

2.3.2.1.1.1 MODO UST

En inglés (Ungrounded Specimen Test), significa prueba de un equipo no puesto a tierra. Como su nombre lo indica la prueba mide la corriente del equipo que no circula hacia tierra.

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. 17 muestra la forma de conexión del equipo.

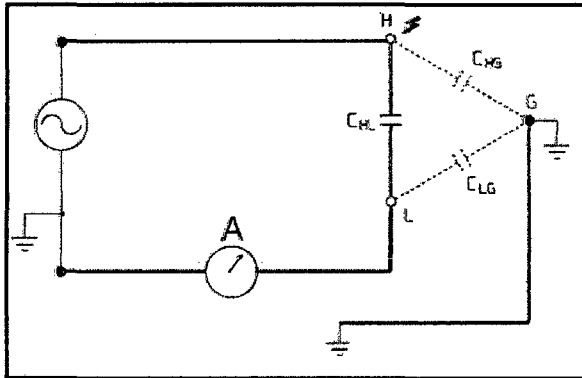


Fig. 17 Prueba de factor de potencia Modo UST

Fuente: Megger (2012). Pruebas de Factor de Potencia / Disipación

2.3.2.1.1.2 MODO GST – TIERRA

En inglés (Grounded Specimen Test), tiene como significado prueba de un equipo puesto a tierra. La prueba tiene como objeto medir toda la corriente de fuga que circula hacia tierra y que circula hacia el cable de bajo voltaje, que en este caso también está puesto a tierra.

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. 18 muestra la forma de conexión del equipo.

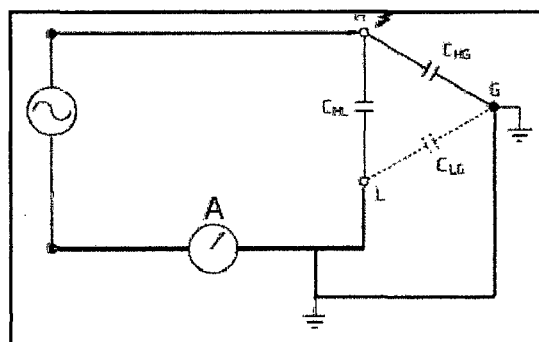


Fig. 18 Prueba de factor de potencia Modo GST – Tierra

Fuente: Megger (2012). Pruebas de Factor de Potencia / Disipación

2.3.2.1.1.3 MODO GST – GUARDA

En este modo solo se mide la corriente de fuga hacia tierra obviando la corriente que circula por el cable de bajo voltaje.

Esta prueba se utiliza para separar los valores totales de la prueba GST en partes separadas para un mejor análisis, la fig. 19 muestra la conexión del equipo bajo prueba.

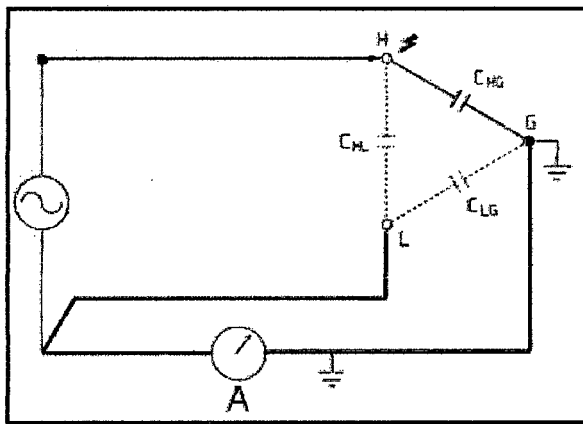


Fig. 19 Prueba de factor de potencia Modo GST – Guarda

Fuente: Megger (2012). Pruebas de Factor de Potencia / Disipación

2.3.2.2 Resistencia de Aislamiento

Es la resistencia entre dos cuerpos conductores separados por un material aislante. Se puede determinar hallando la relación entre la tensión y la corriente aplicada en un tiempo específico.

La prueba de resistencia de aislamiento se usa a menudo como una medida de la condición del material aislante. Para determinar la resistencia de aislamiento se prefiere aplicar tensión de corriente directa.

Existen diferentes factores que afectan la resistencia de aislamiento de un material aislante, la naturaleza de la corriente que fluye sobre

y a través del material aislante y el tiempo de prueba son algunos de ellos.

La corriente que fluye (a través y a lo largo) forma parte de una corriente relativamente estable en las trayectorias de fuga sobre la superficie del material. Además, una componente de corriente fluye a través del volumen del material aislante. Experimentalmente se ha demostrado que la corriente está compuesta por tres componentes de corriente, las cuales son:

- Corriente de carga capacitiva: esta corriente empieza en valores altos y decae a medida que el aislamiento se carga a tensión plena (tensión de prueba).
- Corriente de absorción: esta corriente también empieza alta y luego decae debido al tiempo de prueba. Esta corriente cae con una rata más baja que la corriente de carga capacitiva.
- Corriente de conducción o fuga: esta es una corriente de pequeña magnitud cuyo comportamiento es esencialmente estable a través y sobre el material aislante.

La corriente de conducción o fuga es esencialmente estable con el tiempo, la corriente de absorción decae en forma aproximadamente exponencial desde un valor inicial alto y la corriente de carga capacitiva decae relativamente rápido en la medida en que el equipo de prueba se carga.

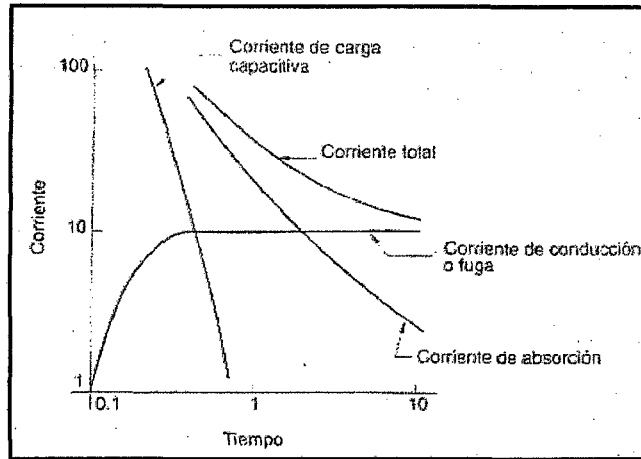


Fig. 20 Corriente de fuga

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Las medidas de resistencia de aislamiento son afectadas por la condición de la superficie (suciedad, humedad y temperatura, entre otras). La magnitud de la tensión de prueba también puede afectar el resultado de la prueba, especialmente si el aislamiento no se encuentra en buena condición; por lo tanto, es deseable tomar las lecturas de resistencia de aislamiento bajo condiciones similares cada vez que se realice la prueba en un período de tiempo especificado.

La prueba de resistencia de aislamiento se considera una prueba no destructiva, pero en algunos casos puede causar daño al aislamiento del equipo. Se debe determinar la tensión de prueba antes de realizar cualquier tipo de verificación; si no se poseen datos de placa del equipo, es aconsejable establecer la tensión de prueba en términos de la tensión asignada de corriente alterna del equipo.

La prueba de resistencia de aislamiento no asegura que un sistema resistirá una prueba de alta tensión; sin embargo, establece la condición de un aislamiento.

2.3.2.3 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 al os 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.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (13)$$

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 (microohmímetro) 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.

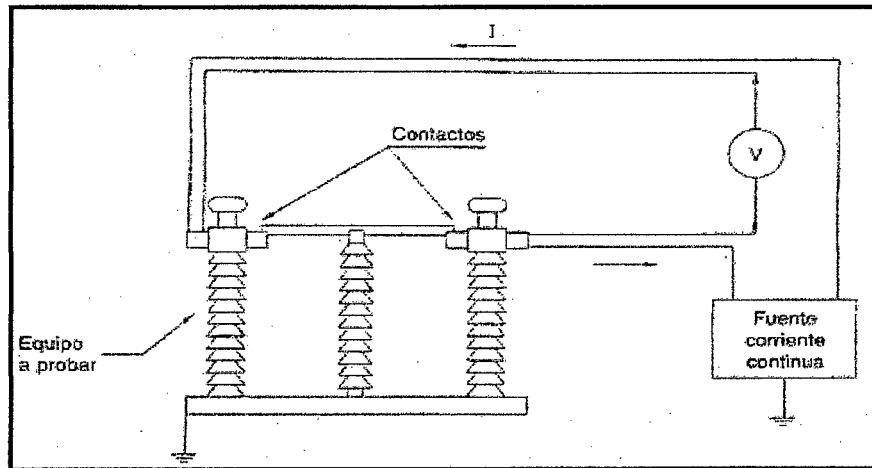


Fig. 21 Medida de resistencia de contactos

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

El valor de la resistencia de contactos está dado por:

$$R_{\text{contactos}} = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (14)$$

Los valores de tensión y de corriente deben ser leídos simultáneamente. El protocolo de pruebas debe ser diligenciado con los valores de tensión y corriente medidos para cada polo y la temperatura a la cual fue realizada la prueba.

Es importante realizar la prueba con valores de corriente tales que los resultados de la prueba sean confiables. Cuando se posee equipos con corriente asignadas superiores a 100 A, un buen criterio para el valor de la corriente de prueba es:

$$I_{\text{nom}} \geq I_{\text{prueba}} \geq 100 \text{ A} \dots\dots\dots (15)$$

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

$$R_2 = R_1 \frac{T_2 + K_0}{T_1 + K_0} \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

- R_1 : resistencia medida a la temperatura T_1 , Ω
- R_2 : resistencia a la temperatura de referencia T_2 , Ω
- T_1 : temperatura del devanado durante la ejecución de las pruebas, tomada como temperatura ambiente, $^{\circ}\text{C}$
- T_2 : temperatura de referencia, $^{\circ}\text{C}$
- K_0 : constante del material; para el cobre 234,5 y para el aluminio 228.

2.3.2.4 Resistencia de Devanados

Para medir la resistencia de un devanado es necesario eliminar el efecto reactivo de la bobina. La impedancia del devanado está dada por la siguiente expresión:

$$Z = R_{Cu} + j\omega L \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

- R_{Cu} : resistencia del devanado debida al cobre, Ω
- L : inductancia del devanado, H
- ω : frecuencia del sistema, rad/s.

Si se quiere eliminar el efecto reactivo del devanado, la prueba debe realizarse con una fuente de corriente o tensión con $\omega=0$, o sea una fuente de corriente directa.

Si se trata de un transformador, la resistencia del devanado debe ser medida en la relación en que va a ser utilizado el equipo y en las demás relaciones que el equipo posea.

Los valores medidos deben ser corregidos a la temperatura de referencia, puesto que existe una relación directa entre la resistividad de cualquier material y la temperatura.

El método recomendado para determinar la resistencia del devanado es el método de la caída de tensión V en los terminales del devanado, cuando por él circula una corriente de un valor determinado I (Fig. 22).

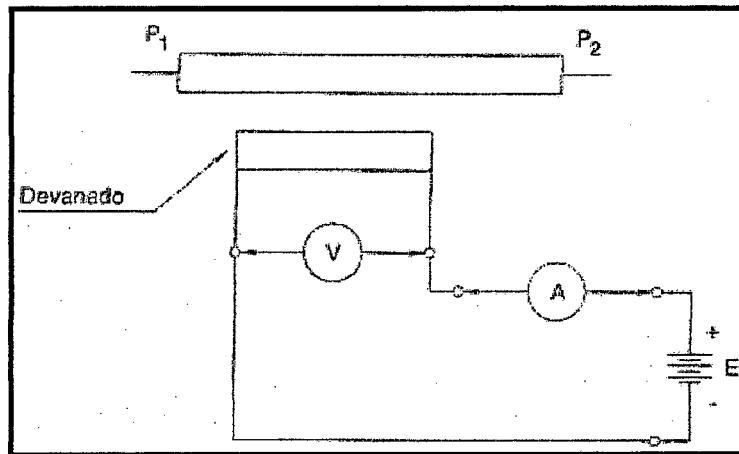


Fig. 22 Medida resistencia de devanados

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

El valor de la resistencia está dado por la expresión de abajo. Los valores de tensión y de corriente deben ser leídos simultáneamente.

$$R_{Cu} = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (18)$$

El protocolo de pruebas debe ser diligenciado con los valores de tensión y corriente medidos para cada terminal y la temperatura a la cual fue realizada la prueba.

Es importante realizar la prueba con valores de corriente tales que no produzcan variación de los valores de resistencia del devanado en función de la temperatura. Para evitar este fenómeno, se recomienda realizar la prueba rápidamente y el valor de corriente a ser inyectado no debe sobrepasar el 15 % de la corriente asignada del devanado.

La corrección del valor de resistencia medido a la temperatura de referencia (especificada por el fabricante) se realiza de acuerdo con el procedimiento mostrado en el procedimiento de resistencia de contactos.

2.3.2.5 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, con el fin de lograr flujos de las bobinas aditivos o sustractivos, tal como se muestra en la Fig. 23, donde:

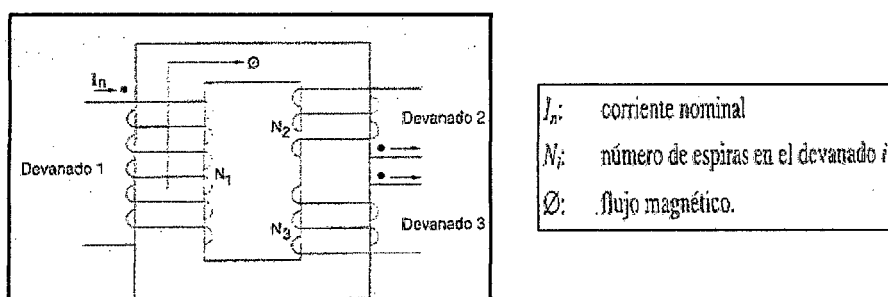


Fig. 23 Verificación de polaridad

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

La forma en la que debe interpretarse la circulación de corriente por el elemento y la correspondiente inducción de tensión es la siguiente:

- Una corriente I_1 entrando por el punto induce una tensión V_2 con polaridad positiva en el punto de la otra bobina.

- Una corriente I_1 saliendo por el punto induce una tensión V_2 con polaridad positiva en el punto de la otra bobina.

De acuerdo con esto se tienen dos posibilidades:

- Polaridad sustractiva: si se realiza un puente entre los terminales H_2 (P_2) y X_2 (S_2) y se realiza la sumatoria de las tensiones de la malla resultante, se observa que la tensión resultante entre los terminales H_1 (P_1) y X_1 (S_1), es la sustracción de la tensión del devanado primario y del devanado secundario (Fig. 24).

La verificación también puede hacerse realizando el puente entre los terminales H_1 (P_1) y X_1 (S_1) y verificando la tensión entre los terminales H_2 (P_2) y X_2 (S_2).

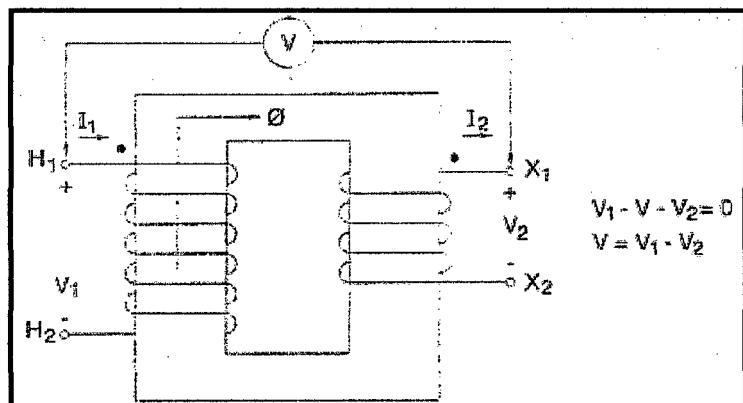


Fig. 24 Polaridad sustractiva

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

- Polaridad aditiva: si se realiza un puente entre los terminales H_2 (P_2) y X_2 (S_2) y se realiza la sumatoria de la tensión de la malla resultante, se observa que la tensión resultante entre los terminales H_1 (P_1) y X_1 (S_1), es la adición de la tensión del devanado primario y del devanado secundario (Fig. 25).

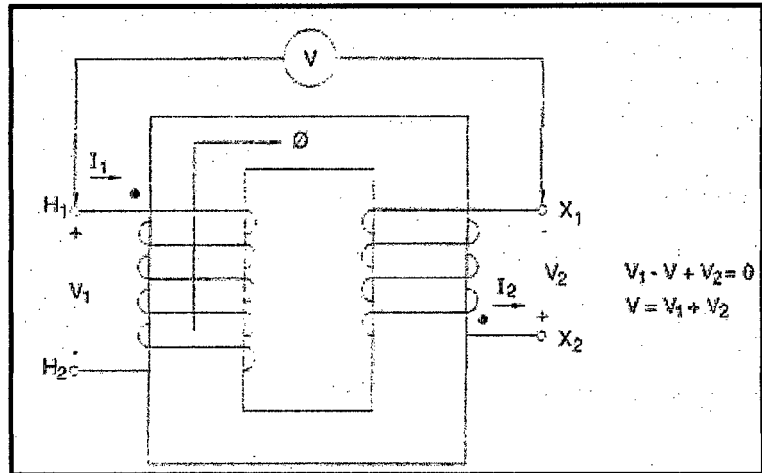


Fig. 25 Polaridad aditiva

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

2.3.2.6 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. Y 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.

2.3.2.6.1 Método de prueba con transformador auxiliar de relación variable

Este método de prueba se realiza con una fuente regulable de corriente alterna y un transformador auxiliar de relación de transformación variable, al cual se le conoce el valor exacto de su relación de transformación para cada posición.

La metodología consiste en aplicar la fuente de corriente alterna a un devanado del transformador auxiliar de relación

variable y a un devanado del transformador bajo prueba, como se muestra en la Fig. 26.

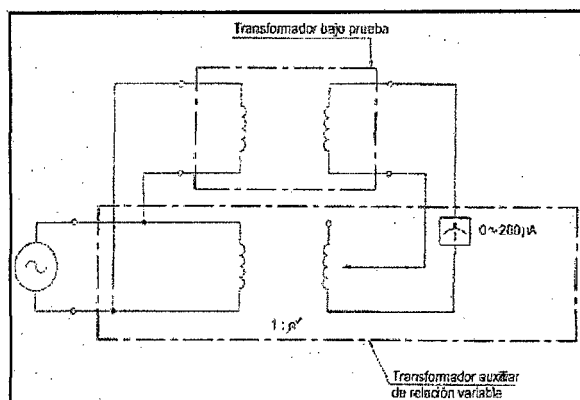


Fig. 26 Medida de relación de transformación

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Una vez se tiene implementada la conexión mostrada en la Fig. 26, se energiza el circuito y se varía la relación de transformación del transformador auxiliar hasta que el medidor conectado entre los terminales del transformador auxiliar y el transformador bajo prueba marque cero.

Esta prueba se basa en la ley de tensiones de Kirchoff; es decir, cuando la tensión de los dos transformadores es la misma, la suma de la tensión de la malla es cero.

2.3.2.6.2 Método de prueba de medida directa de tensión

En este método no se utiliza un transformador auxiliar que sirva como patrón de medida; por el contrario, se mide la relación de transformación directamente en los terminales de ambos devanados del transformador bajo prueba.

Para este método se utiliza una fuente regulable de corriente alterna conectada al devanado de alta tensión. Se mide simultáneamente la tensión de los dos devanados y se calcula la relación de transformación real del equipo bajo prueba. (Fig. 27).

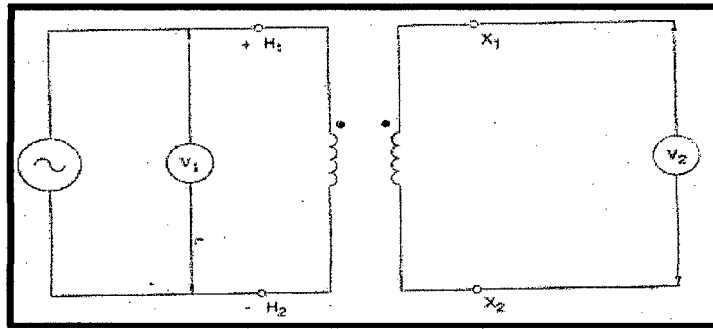


Fig. 27 Medida directa de tensión

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Este método es muy utilizado por los equipos de prueba portátiles modernos, dado que éstos utilizan tecnología digital (procesamiento digital de señales), con lo cual, mediante la ayuda de una conversión análogo-digital, se puede determinar con buena precisión la relación de transformación del equipo bajo prueba.

2.3.2.7 Curva de Magnetización

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.

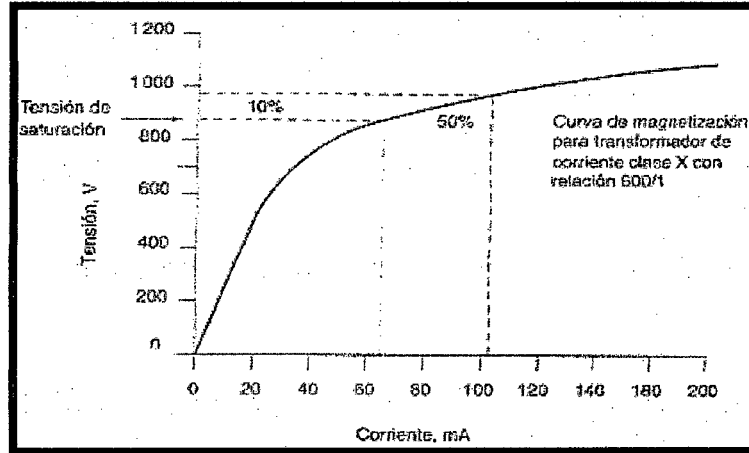


Fig. 28 Curvas de magnetización

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Para realizar la prueba de curvas de magnetización es necesario contar con una fuente regulada de tensión. El montaje a ser realizado se ilustra en la Fig. 29.

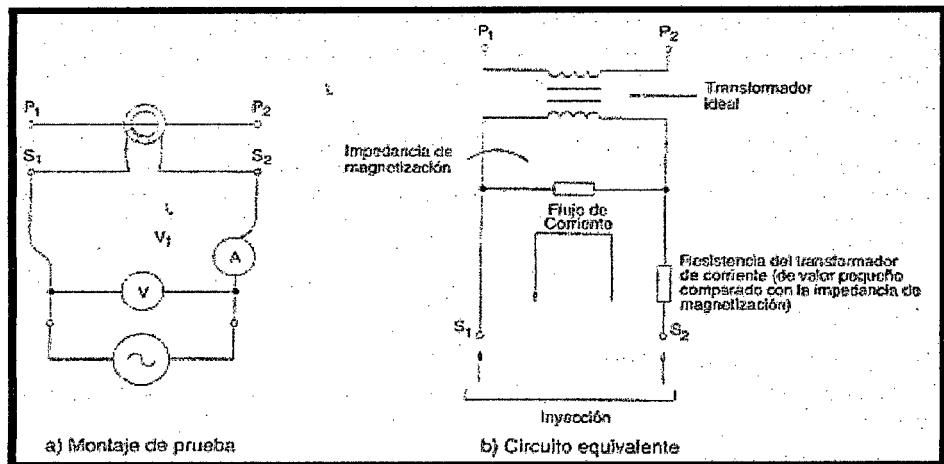


Fig. 29 Circuito de prueba

Fuente: Mejía, V. (2003). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión

Se debe asegurar que los terminales primarios del transformador de corriente deben estar aislados de tierra; si no es así, la prueba puede arrojar resultados erróneos. 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.

El flujo remanente causa que la prueba de curvas de saturación no comience desde cero. Es necesario eliminar el flujo remanente de un transformador de corriente para comenzar la prueba de curvas de magnetización. 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.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

El trabajo experimental se realizó en la S.E. Chimbote Nueva (proyecto denominado: Zapallal – Trujillo 220/500 KV) en el Distrito de Cambio Puente, carretera Chimbote – Huallanca Km 925, Provincia del Santa, Perú, en el año 2012.

3.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

3.2.1 Población y Muestra

La población y la muestra son únicas.

3.2.2 Equipos e Instrumentos

Se usó como instrumentos el Equipo de Pruebas Omicron CPC 100, CPTD1 y el Megger S1-1054/2. Para la manipulación y realización de pruebas en equipos de Subestaciones de Energía en Alta y Extra-Alta Tensión, se contó con la presencia de un especialista.

3.3 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Se utilizó el método inductivo, los mismos que estuvieron basados en las Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y de las lecciones aprendidas en pruebas de subestaciones de Alta y Extra-Alta Tensión de HVM Ingenieros.

3.4 DISEÑO Y VARIABLES

Se utilizó el Diseño Experimental

3.4.1 Variables de Entrada

- Tensión Suministrada en Corriente Continua (V_{DC})
- Tensión Suministrada en Corriente Alterna (V_{AC})
- Corriente Suministrada en Corriente Continua (I_{DC})
- Corriente Suministrada en Corriente Alterna (I_{AC})

3.4.2 Variables Intermitentes

- Temperatura Ambiente (°C)
- Humedad Relativa del Aire (%)
- Contaminación de la Porcelana (Polvo)
- Velocidad de viento (m/seg)

3.4.3 Variables de Salida

- Resistencia de Aislamiento
- Resistencia de Contactos
- Factor de Potencia
- Tiempo de Operación y Simultaneidad
- Factor Disipación o Tangente Delta
- Relación de Transformación
- Curva de Saturación
- Corriente de Fuga

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Los datos obtenidos mediante la aplicación de instrumentos antes mencionado, fueron procesados utilizando el programa Microsoft Office Excel 2010. En cuanto al análisis de la información en lo posible y factible, se hizo mediante el análisis estadístico.

IV. RESULTADOS

4.1 INTERRUPTORES DE POTENCIA

4.1.1 PARTES FÍSICAS

Se presentan lineamientos para las pruebas individuales en Interruptores de Potencia en SF₆, empleados en el Proyecto Zapallal-Trujillo 220/500KV.

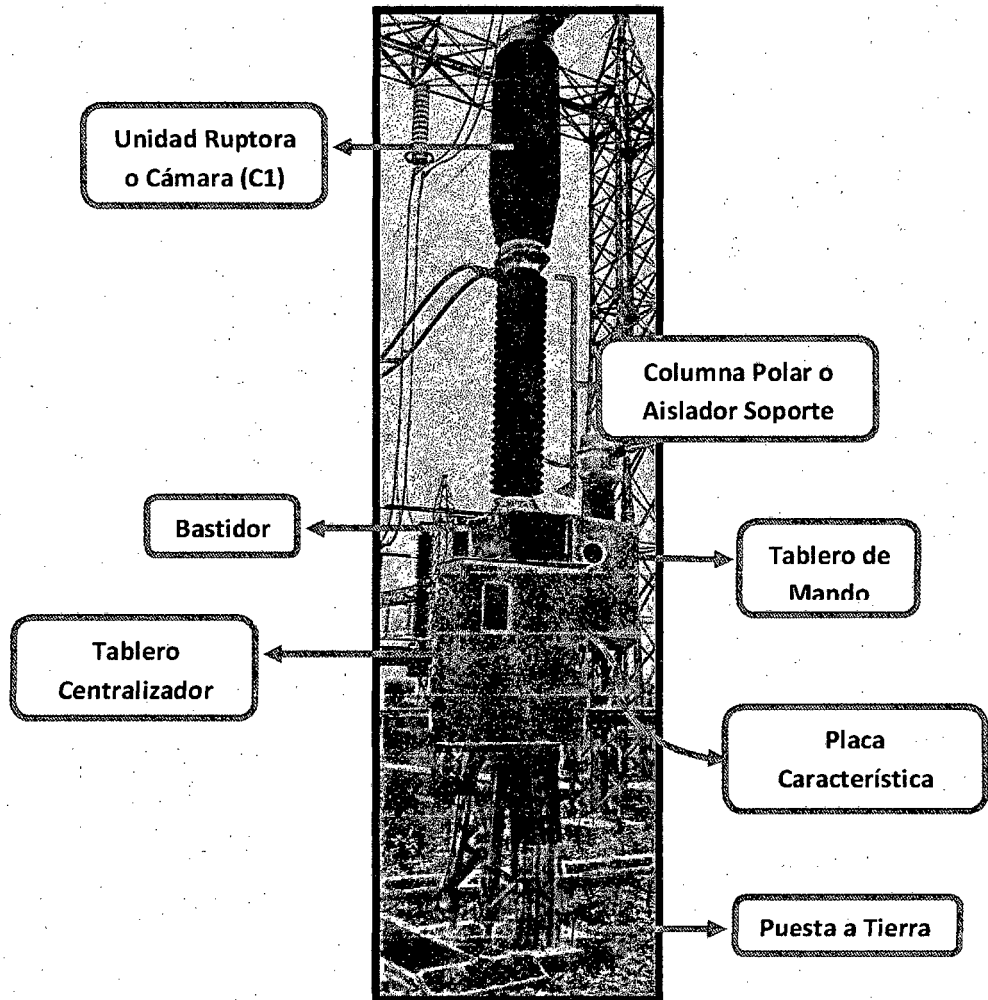


Fig. 30 Interruptor de Potencia en SF₆ - 220 KV

Fuente: Elaboración Propia

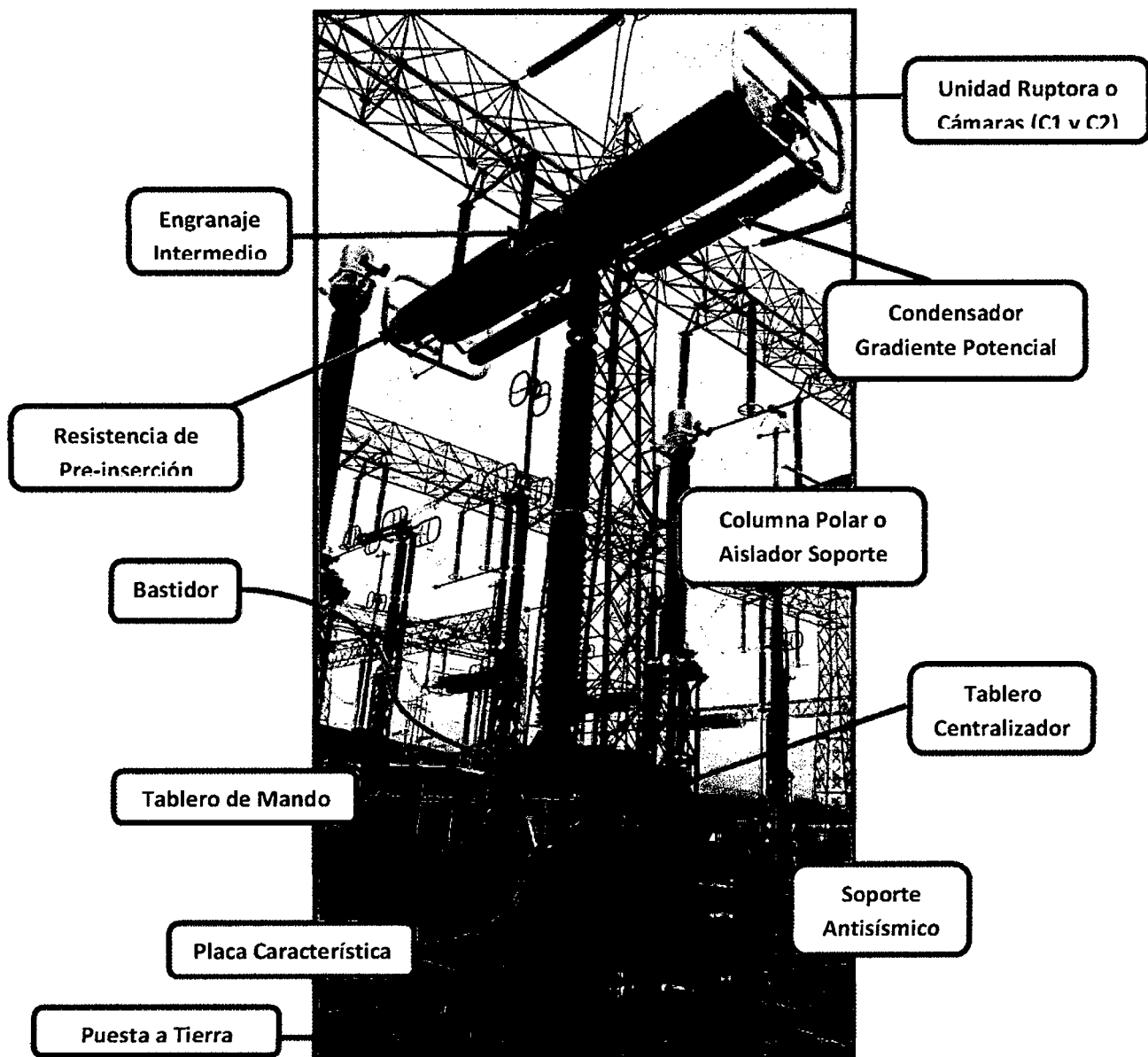


Fig. 31 Interruptor de Potencia en SF₆ – 500 KV

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Para efectos prácticos, se tomará como modelo de desarrollo y explicación los interruptores de potencia en 500 kV (más complejos). Cabe indicar que los criterios a considerar son similares para equipos de diferentes niveles de tensión (ejemplo: 60 kV, 138 kV y 220 kV).

Previo a la realización de las pruebas individuales se debe anotar las características técnicas del equipo (visualizada en la placa característica), se muestra la información técnica a considerar:

Tabla 18: Descripción Técnica del Interruptor de Potencia

Fabricante: SIEMENS		Tipo: 3AP2 FI
Norma: IEC 62271 - 100	Año: 2011	Frecuencia nominal f_r (Hz): 60
Tensión nominal U_r (kV): 550		Corriente nominal de servicio I_r (A): 3150
Tensión soportada al impulso tipo rayo U_p (kV): 1550		Tensión soportada al impulso tipo maniobra U_s (kV): 1175
Corriente nominal de ruptura en cortocircuito I_{sc} (kA): 40		Duración de corto circuito asignado t_k (t): 3 seg.
Corriente nominal de ruptura de cable I_C (A): 500		Corriente nominal de ruptura de línea I_l (A): 650
Número de polos: 3		Número de cámaras por polo: 2
Medio de extinción: SF₆		Clase mecanismo de operación: FI
Tensión circuito auxiliar (control): 220 V_{AC}		Tensión de motor: 220 V_{OC}
Tensión de bobina de apertura y cierre: 220 V_{AC}		Calefacción: 220 V_{AC}
Secuencia nominal de maniobra:		
CONDENSADOR		
Fabricante: TRENCH	Año: 2008	Tipo: FSKm
Capacidad (pF): 100A : 5%		Tensión nominal U_r (kV): 250
RESISTENCIA DE PRE-INSERCIÓN		
Fabricante:	Año:	Tipo:
Capacidad (pF):		Tensión nominal U_r (kV):

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.1.3 INSPECCIÓN GENERAL

Adicionalmente a lo anterior, es de gran importancia realizar una inspección general sobre el estado físico (mecánico) del equipo, la información a considerar es la siguiente:

Tabla 19: Inspección General de un Interruptor de Potencia

Verificación	Datos		
Nº de serie del equipo	11 / 35117241		
Nº de serie de condensador, si aplica			
Nº de serie de resistencia pre-inserción, si aplica			
Fases	R	S	T
Estado de las conexiones a tierra, caja de mando y de maniobras	OK	OK	OK
Estado de la porcelana aislante, limpia y libre de material extraño	OK	OK	OK
Estado del galvanizado y pintura de la estructura soporte	OK	OK	OK
Montaje conforme a las instrucciones del catálogo de fabricante	OK	OK	OK
Estado de las conexiones secundarias, según ingeniería	OK	OK	OK
Esquema de conexiones, última versión, de fabricante	OK	OK	OK
Verificar el funcionamiento de los manómetros de presión del gas SF ₆	OK	OK	OK
Verificar presión de carga del SF ₆ según recomendación del fabricante del equipo	OK	OK	OK
Verificar tensión de alimentación 220Vcc, control, motor, bobina	OK	OK	OK
Equipo totalmente torqueado, con par de apriete recomendado	OK	OK	OK
Correcto ensamblaje de sistema antisísmico, si aplica	OK	OK	OK
Numero de operaciones inicial	000065	000065	000065

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.1.4 PRUEBAS INDIVIDUALES

4.1.4.1 Resistencia de Aislamiento

4.1.4.1.1 Datos Generales

La teoría y la práctica han demostrado que las condiciones de temperatura, humedad y polución son variables que influyen sobre los resultados de las pruebas de resistencia de aislamiento, es por ello que se debe anotar la siguiente información:

Tabla 20: Resistencia de Aislamiento – Interruptor de Potencia

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megóhmetro	FLUKE / 1555	174 2004	13-07-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 49 HR final (%): 49	Tº inicial: 32 ° C Tº final: 32 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 26-10-12 Hora prueba: 13:00

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.1.4.1.2 Lineamientos para pruebas de resistencia de aislamiento en interruptor de potencia

Esta prueba debe realizarse con el interruptor abierto y debe suministrarse una tensión de 5000 V_{DC}, durante un tiempo de 60 seg. Esta medición tiene como objeto medir el nivel de aislamiento o megado en el orden de los Giga-Ohmios (GΩ), de las siguientes partes del interruptor de potencia:

- Nivel de aislamiento de cada cámara de la unidad ruptora (C1 y C2), respecto al engranaje intermedio.
- Nivel de aislamiento de cada cámara de la unidad ruptora (C1 y C2), respecto a tierra.
- Nivel de aislamiento que existe entre las cámaras de la unidad ruptora (C1 a C2).
- Nivel de aislamiento del aislador soporte, es decir desde el engranaje intermedio hacia el bastidor de interruptor o también puede respecto a tierra.

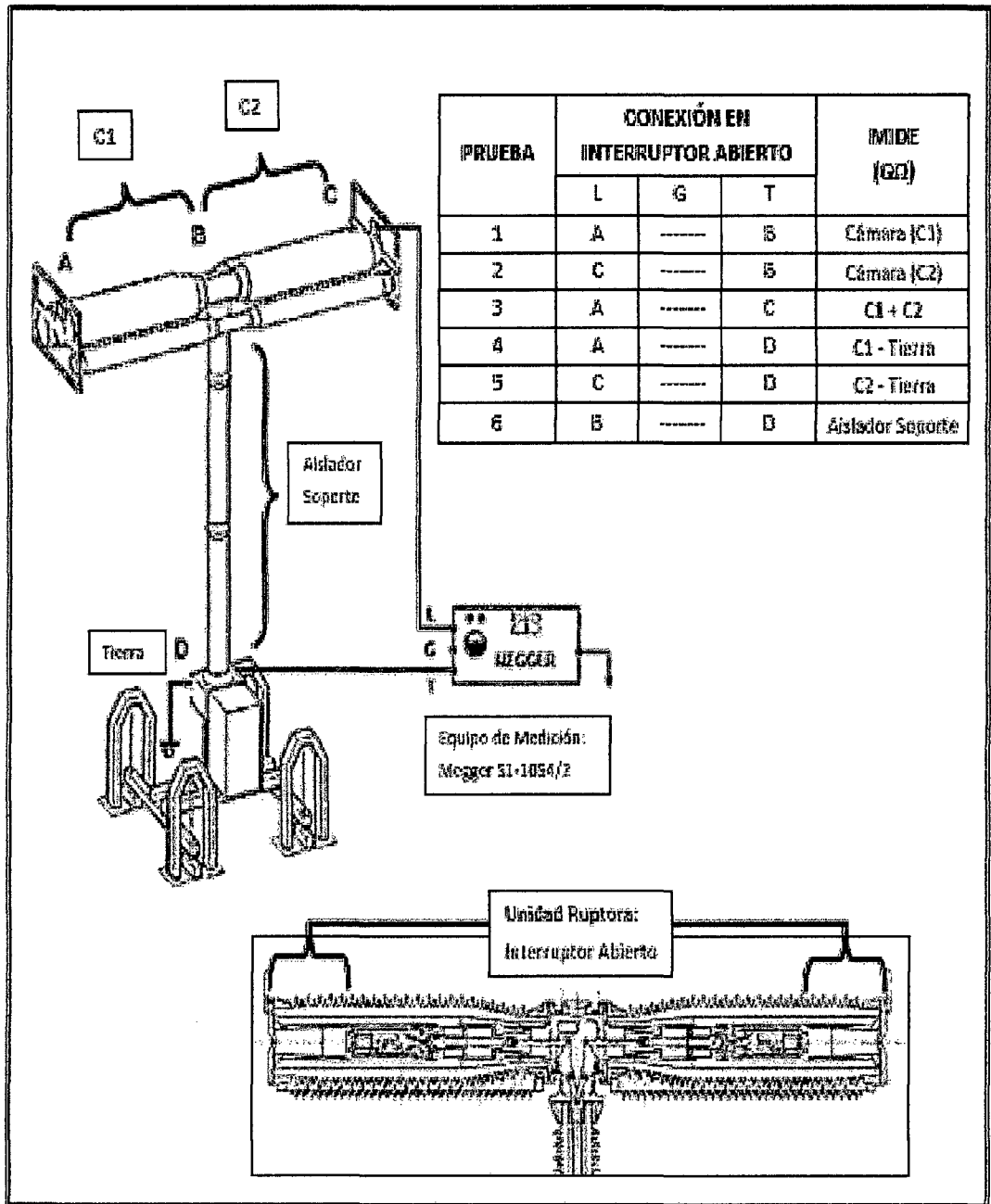


Fig. 32 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Interruptor de Potencia en SF6 – 500 KV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.1.4.1.3 Valores esperados

Valor de resistencia de aislamiento $\geq 100\ 000\ \text{M}\Omega$, ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1. Las medidas obtenidas serán referidas a $20\ ^\circ\ \text{C}$. En la tabla 100.1 de la norma ANSI/NETA ATS-2009, se observa que para equipos con tensión nominal a 34.5 kV el valor esperado de resistencia de aislamiento debe ser mayor igual a 100 000 $\text{M}\Omega$.

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	1,000
8,000	2,500	2,000
15,000	2,500	5,000
25,000	5,000	20,000
34,500 and above	15,000	100,000

En la tabla 100.14 de la norma ANSI/NETA ATS-2009, se muestran los factores de corrección por temperatura.

TABLE 100.14

Insulation Resistance Conversion Factors (20° C)

Table 100.14.1 Test Temperatures to 20° C			
Temperature		Multiplier	
°C	°F	Apparatus Containing Immersed Oil Insulation	Apparatus Containing Solid Insulation
-10	14	0.125	0.23
-5	23	0.160	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	500.00	63.20

Derived from *Stitch in Time...The Complete Guide to Electrical Insulation Testing, Megger.*

Formula:

$$R_c = R_a \times K$$

Where: R_c is resistance corrected to 20° C
 R_a is measured resistance at test temperature
 K is applicable multiplier

Example: Resistance test on oil-immersion insulation at 104°

$$R_a = 2 \text{ megohms @ } 104^\circ \text{ F}$$

$$K = 3.95$$

$$R_c = R_a \times K$$

$$R_c = 2.0 \times 3.95$$

$$R_c = 7.90 \text{ megohms @ } 20^\circ \text{ C}$$

Se debe tener en cuenta que no es posible la interpolación de los factores de corrección para los valores de temperatura que no se muestran en la tabla, es decir se debe tomar el factor de corrección al valor de temperatura inmediato inferior. Ejemplo: Si la temperatura ambiente es de 27°C, se tomaría a 25°C (K=1.40 para aislamiento inmerso en aceite y K=1.25 para aislamiento sólido).

4.1.4.1.4 Valores medidos

En la tabla 21, se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en esta prueba.

Tabla 21: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6

Medida entre	Tensión prueba	Fase R	Fase S	Fase T	Promedio (GΩ)
	Tiempo 60 s	Medido (GΩ)	Medido (GΩ)	Medido (GΩ)	
Cámara 1 (C1)	5 000	190000	180000	190000	-
Cámara 2 (C2)	5 000	170000	160000	170000	-
Polo completo (C1 + C2)	5 000	330000	350000	330000	336.7
(C1) - Aisl. soporte	5 000	320000	320000	340000	-
(C2) - Aisl. soporte	5 000	320000	310000	340000	-
Aislador soporte	5 000	180000	160000	180000	173.3
Resultado de la prueba:		Aceptable X		No aceptable	
Observación: _____					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 22 y figura 33 se presenta los resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6.

Tabla 22: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6

Variables	Números de Interruptores	
	Cámara (C1+C2) Interruptores	Aislador Soporte Interruptores
T= 32°C, HR=49%	336.7	173.3
T= 28°C, HR=47%	313.3	161.7
T=29°C, HR=40%	795.7	1,192.3
T=37°C, HR=35%	2,313.3	1,144.0

Fuente: Elaboración Propia

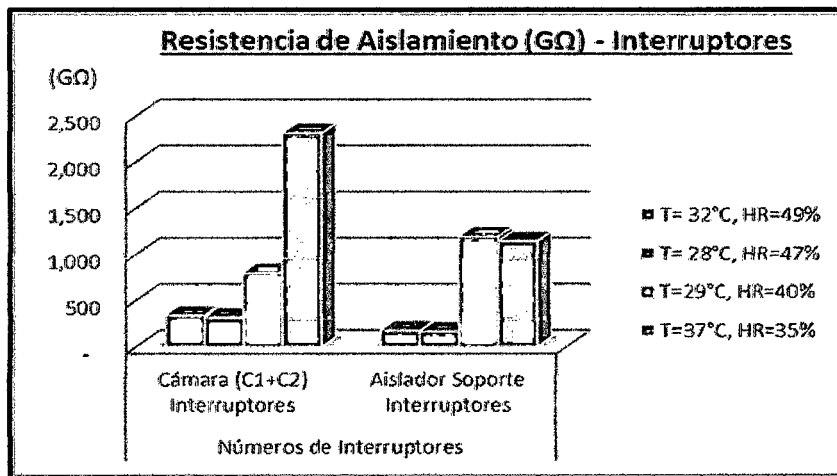


Fig. 33 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6

Fuente: Elaboración Propia

De lo mostrado se interpreta, que mientras menores sean los valores de humedad relativa del medio ambiente ($\Delta HR=49\%-35\%=14\%$), la resistencia de aislamiento (GΩ) en interruptores creció aproximadamente en 7 veces su valor inicial.

En el caso de la temperatura ambiente fluctuó (variable no controlada) en el transcurso del día y de un momento a otro pasó de soleado a nublado y viceversa, pero la variación máxima fue de 9°C (De 28°C hasta 37°C) no siendo crítico en el resultado de esta prueba.

En el caso de la polución fue una variable controlada, considerando que el personal de pruebas realizó una limpieza total de la porcelana previa a la medición.

4.1.4.2 Resistencia de Contactos

4.1.4.2.1 Datos Generales

Tabla 23: Resistencia de Contactos – Interruptor de Potencia

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megóhmetro	OMICRON / CPC100	174 2004	13-07-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.	
HR inicial (%): 75 HR final (%): 78	Tº inicial: 19 ° C Tº final: 18 ° C	Condiciones ambientales: NOCHE	Fecha prueba: 26-10-12 Hora prueba: 18:57

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.1.4.2.2 Lineamientos para pruebas de resistencia de contactos en interruptor de potencia

Esta prueba debe realizarse con el interruptor cerrado y debe inyectarse una corriente de 100 A_{DC}. Esta medición tiene como objeto medir la resistencia equivalente del conjunto de partes internas que conforman el contacto móvil y contacto fijo, cabe indicar que algunas de estas partes se encuentran en serie y otras en paralelo, la medición de esta prueba se da en Micro-Ohmios ($\mu\Omega$), posteriormente aplicando la ley de Ohm, también se obtiene un valor equivalente de la resistencia de contacto en Mili-Voltios (mV). Si es así la resistencia de contactos sería un valor representativo de la caída de tensión que se da internamente en el interruptor de potencia.

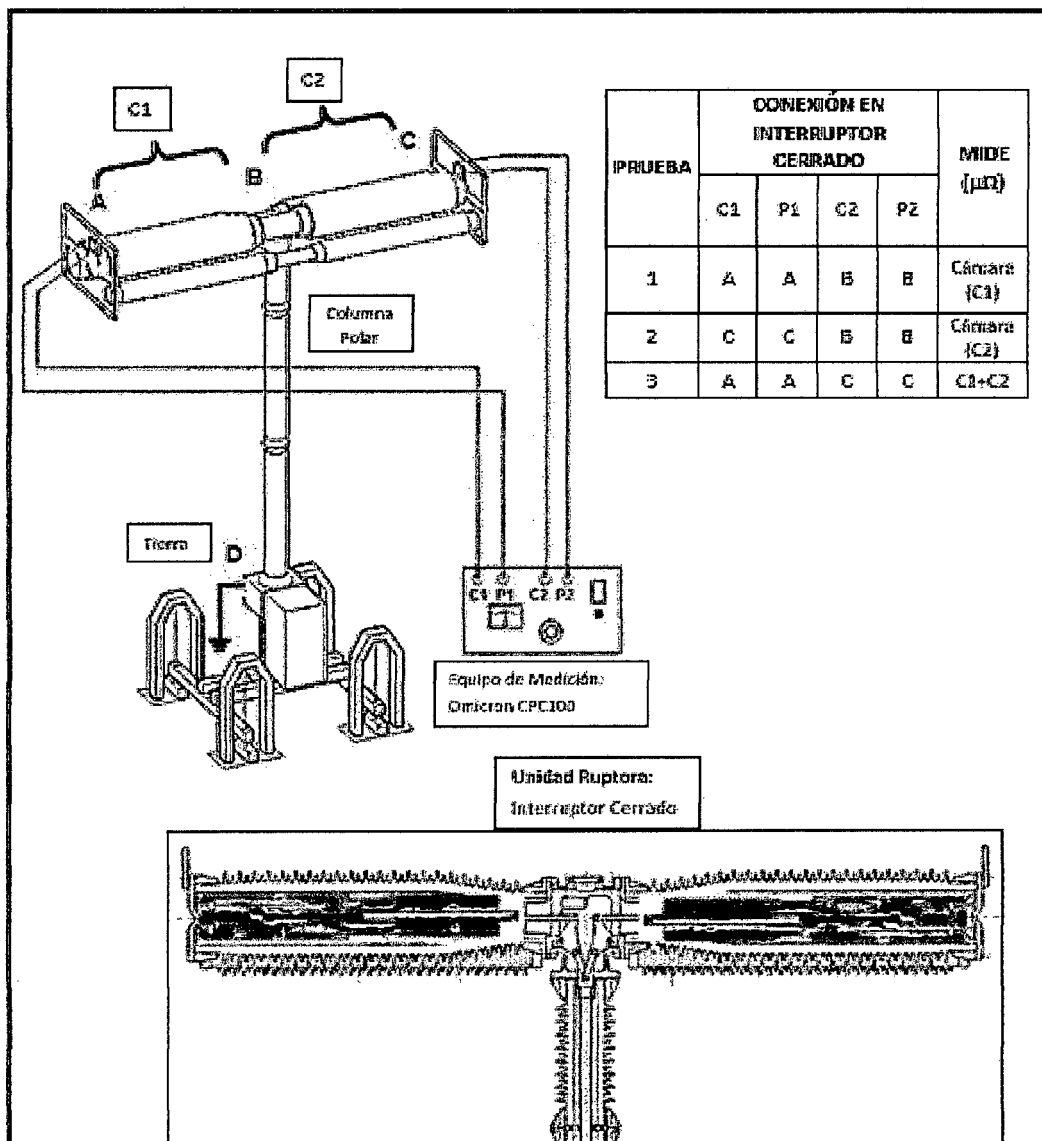


Fig. 34 Conexión para Resistencia de Contactos - Interruptor de Potencia en SF6 – 500 KV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.1.4.2.3 Valores esperados

Desviación no mayor al 20 % con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT, según cláusula 7.3, IEC 62271-100.

7.3 Measurement of the resistance of the main circuit

For the routine test, the d.c. voltage drop or resistance of each pole of the main circuit shall be measured under conditions as nearly as possible similar, with regard to ambient air temperature and points of measurement, to those under which the corresponding type test was made. The test current should be within the range stated in 6.4.1.

The measured resistance shall not exceed $1,2 \times R_u$, where R_u is equal to the resistance measured before the temperature-rise test.

4.1.4.2.4 Valores medidos

En la tabla 24, se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos.

Tabla 24: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos en interruptores de potencia en SF6

Medida en	Corriente de prueba (A)	Fase R		Fase S		Fase T		Promedio	
		Fábrica ($\mu\Omega$)	Sitio ($\mu\Omega$)	Fábrica ($\mu\Omega$)	Sitio ($\mu\Omega$)	Fábrica ($\mu\Omega$)	Sitio ($\mu\Omega$)		
Polo completo	100	59.0	57.880	59	56.950	59	59.230	58.0	
Cámara 1	100	29.0	28.240	29	27.900	29	29.370	28.5	
Cámara 2	100	29.0	28.390	29	28.030	29	29.670	28.7	
Reporte de pruebas emitido por equipo digital				Aplica		X		No aplica	
Resultado de la prueba:				Aceptable		X		No aceptable	
Observación:									

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 25 y figura 35 se presenta los resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos.

Tabla 25: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en interruptores de potencia en SF6

Variables	Números de Interruptores		
	Polo completo	C1	C2
T=19°C, HR=75%	58.0	28.5	28.7
T=31°C, HR=50%	58.8	29.0	28.8
Valor Fábrica	59.0	29.0	29.0
T=33°C, HR=35%	56.7	28.0	27.6
T=29°C, HR=40%	58.6	28.8	29.1

Fuente: Elaboración Propia

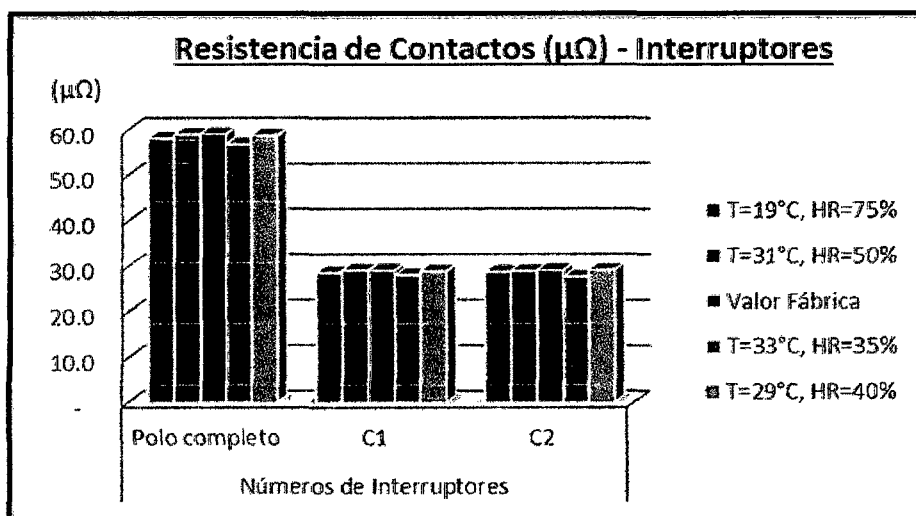


Fig.35 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en interruptores de potencia en SF6

Fuente: Elaboración Propia

De lo mostrado se interpreta, que a menores valores de humedad relativa la resistencia de contactos ($\mu\Omega$) tiene una disminución no significativa, es decir en un $\Delta HR=75\%-35\%=40\%$ se reduce un $1.32 \mu\Omega$ (aprox. 1% de su valor

inicial), por lo cual los factores medio ambientales no son influyentes en los resultados de esta prueba, considerando que la resistencia de contactos es la medida de los elementos internos (mecánicos) del interruptor que están encapsulados en SF6 y porcelana.

4.1.4.3 Factor de Potencia de Aislamiento

4.1.4.3.1 Datos Generales

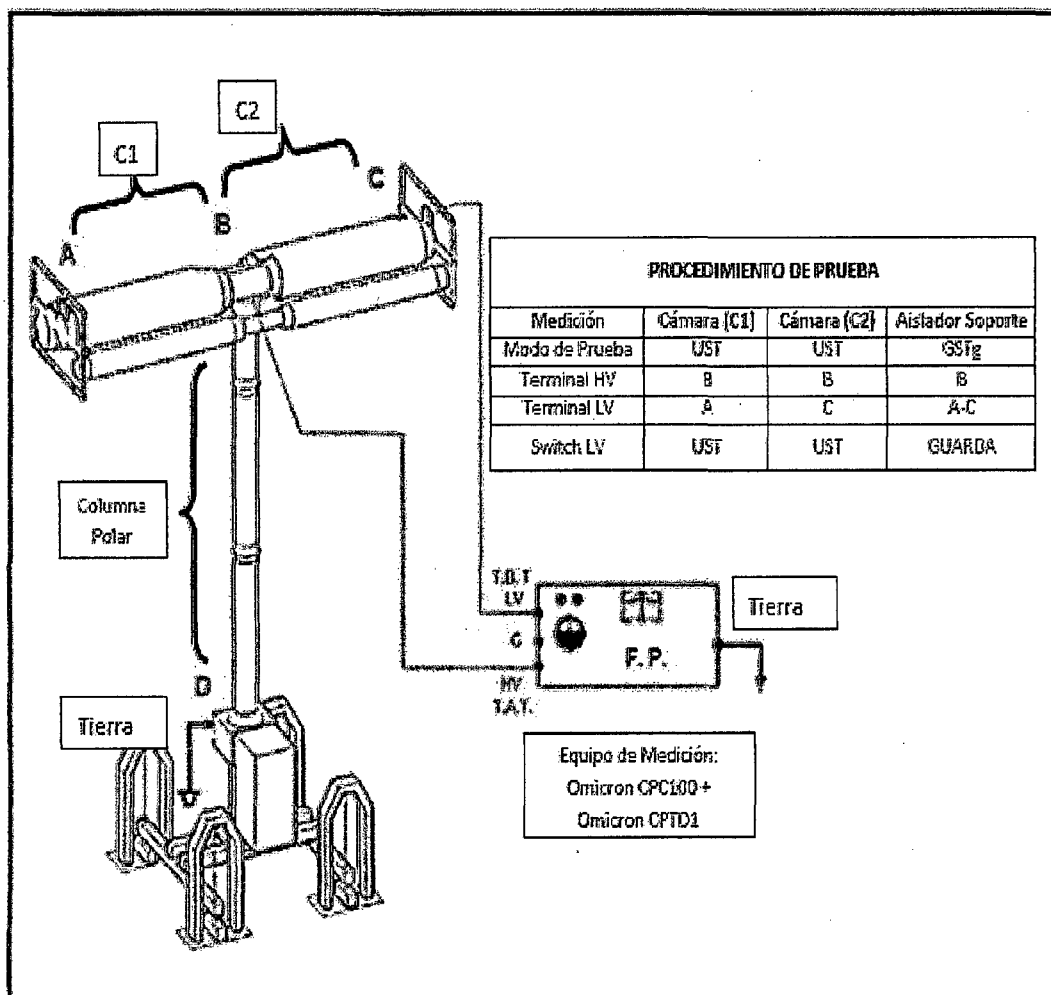
Tabla 26: Factor de potencia de aislamiento – Interruptor de Potencia

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megohmetro	OMICRON / CPTD1	174 2004	13-07-11
Higrómetro	FLUKE / 971	1082	
Termómetro	FLUKE / 971	N.A	
HR inicial (%): 34.0 HR final (%): 34.4	T ^º inicial: 33.1 ° C T ^º final: 33.4 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 26-10-12 Hora prueba: 16:26

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.1.4.3.2 Lineamientos para pruebas de factor de potencia de aislamiento en interruptor de potencia

En esta prueba se debe suministrar una tensión de 10 KV_{AC}. Esta medición tiene como objeto medir las pérdidas de potencia producto de efecto capacitivo (parte activa) y el efecto resistivo (parte no activa), cuando nos referimos a la parte activa nos referimos al vástago de maniobra, laminilla de contacto, palanca de mando, engranaje en tándem, contacto tubular, etc., por otro lado la parte no activa se refiere a la porcelana y otros elementos que conforman parte del aislamiento del interruptor de potencia, la medición de esta prueba se da en Mili-Vatios (mW).



**Fig. 36 Conexión para Factor de Potencia de Aislamiento -
 Interruptor de Potencia en SF₆ – 500 KV**

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

NOTA: El Equipo Omicron CPTD1, es básicamente un autotransformador elevador de tensión que puede suministrar tensión en un rango variable de 0 a 10 KV_{AC}.

4.1.4.3.3 Valores esperados

Los valores del factor de potencia o de disipación tan δ (DF) y la capacitancia (Cp) deberán ser $\pm 10\%$ de los valores de fábrica, según cláusula 7.6.4 de la ANSI/NETA ATS – 2009.

7.6.4 Circuit Breakers, SF₆ (continued)

9. Power-factor or dissipation-factor and capacitance test values shall be within ten percent of nameplate rating for bushings. Hot collar tests are evaluated on a milliamperes/milliwatt loss basis, and the results shall be compared to values of similar bushings.

4.1.4.3.4 Valores medidos

En la tabla 27, se muestra un ejemplo de los aislamientos a medir en esta prueba.

Tabla 27: Aislamientos a medir en la prueba de factor de potencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6

Fase	Aislamiento a medir (Modo de prueba)	Tensión prueba (kV)	Freq. (Hz)	I (mA)	Watts (mW)	DF (%) Medido
R	Cámara 1 (UST)	10	60	3.8732	106.6	0.304
	Cámara 2 (UST)	10	60	3.8731	118.3	0.329
	Aislador (GSTg)	10	60	0.33684	33.1	-
S	Cámara 1 (UST)	10	60	3.8598	74.2	0.207
	Cámara 2 (UST)	10	60	3.8711	95.7	0.265
	Aislador (GSTg)	10	60	0.34238	46.0	-
T	Cámara 1 (UST)	10	60	3.8818	102.7	0.297
	Cámara 2 (UST)	10	60	3.8376	144.2	0.399
	Aislador (GSTg)	10	60	0.52498	32.7	-
Reporte de pruebas emitido por equipo digital				Aplica	X	No aplica
Resultado de la prueba:				Acceptable	X	No aceptable
Observación:						

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 28 y figura 37 se presenta los resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6.

Tabla 28: Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6

Variables	Números de Interruptores		Promedio
	C1 (%)	C2 (%)	
T=37°C, HR=33%	0.304	0.329	0.300
T=37°C, HR=33%	0.207	0.265	
T=37°C, HR=33%	0.297	0.399	
T=35°C, HR=35%	0.445	0.424	0.422
T=35°C, HR=35%	0.456	0.421	
T=35°C, HR=35%	0.404	0.382	

Fuente: Elaboración Propia

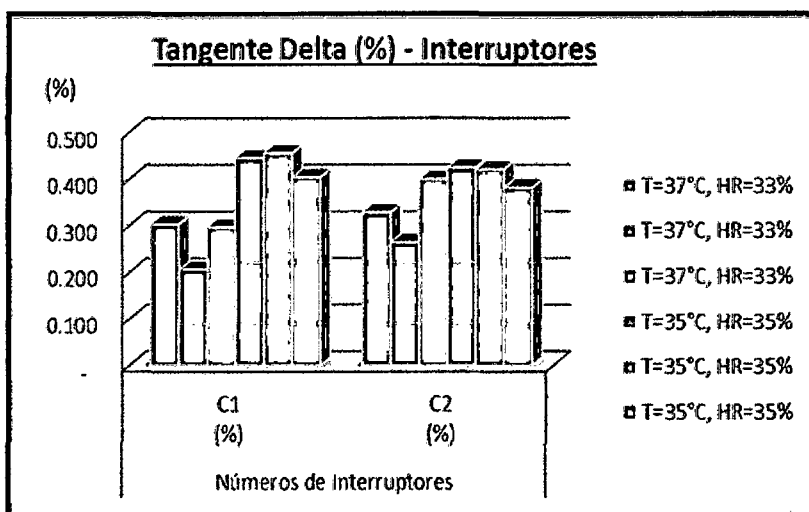


Fig.37 Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en interruptores de potencia en SF6

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que los resultados de tangente delta (%) en interruptores de potencia aumentaron aproximadamente en un 41% para una disminución de temperatura de 2°C e incremento de humedad relativa de 2%.

Ello demuestra teóricamente lo siguiente:

$$Tg \delta = \frac{1}{2 * \pi * f * C * R}, \text{ a medida que disminuyó la}$$

temperatura y la humedad relativa aumentó (la resistencia se hizo menor) por lo tanto el valor de tangente delta creció.

4.1.4.4 Tiempo de Operación y Características Bobinas de Cierre y Apertura

4.1.4.4.1 Datos Generales

Tabla 29: Tiempo de operación - Interruptor de potencia

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de prueba	DOBLE / TDR900	031100362	11-07-11
Lectura inicial	Fase R	Fase S	Fase T
Presión SF6	8.4	8.3	8.3
Cantidad de maniobras	000065	000065	000065
Temperatura ° C: 21 ° C		Humedad: 72%	

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.1.4.4.2 Valores esperados

Los valores de referencia fueron tomados de la placa característica del equipo y las tolerancias del protocolo de pruebas FAT.

Denominación Bezeichnung	Nominal Sol/w.	Tot. Tot.	C1	C2	O1	O2	O3	C1 O1	O1 C1 O1
t _c	58,0	-6,0 / 6,0	55,5	—	—	—	—	—	—
t _c	—	— / —	—	—	—	—	—	—	—
dI _c	0,0	0,0 / 3,0	0,5	—	—	—	—	0,1	0,2
t _o	19,0	-2,0 / 2,0	—	—	20,4	—	—	—	—
t _o	19,0	-2,0 / 2,0	—	—	—	20,4	—	—	—
t _{o,e}	—	— / —	—	—	—	—	—	—	—
dI _o	0,0	0,0 / 2,0	—	—	0,4	0,2	—	—	0,0
dI _{o,e}	—	— / —	—	—	—	—	—	—	—
t _{oo}	40,0	-10,0 / 10,0	—	—	—	—	—	39,7	—

4.1.4.4.3 Valores medidos

En la tabla 30, se muestra un ejemplo de las maniobras a realizar en esta prueba.

Tabla 30: Maniobras realizadas en tiempo de operación del interruptor de potencia

Maniobra	Tiempo de operación			Valor esperado (ms)	Discordancia de tiempo de operación
	Fase R	Fase S	Fase T		
Cierre (C)	54.0	54.8	55.3	55.8	1.3
Apertura 1 (O1)	19.4	18.9	19.5	20.3	0.6
Apertura 2 (O2)	19.4	19.1	19.5	20.3	0.4
Cierre-apertura (C-O)	120.1	119.5	120.2		0.7
Apertura-cierre-apertura (C-O-C)	353.8	354.7	355.2		1.4
Reporte de pruebas emitido por equipo digital				Aplica X	No aplica
Resultado de la prueba:				Acceptable X	No acceptable
Observación:					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 31 y figura 38 se presenta los resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C, O1 y O2) en interruptores de potencia en SF6.

Tabla 31: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C, O1 y O2) en interruptores de potencia en SF6

Variables	Números de Interruptores		
	Cierre (C)	Apertura 1 (O1)	Apertura 2 (O2)
IN1 – Fase R	54.0	19.4	19.4
IN1 – Fase S	54.8	18.9	19.1
IN1 – Fase T	55.3	19.5	19.5
Valor Fábrica	55.8	20.3	20.3
IN2 – Fase R	55.5	19.2	19.4
IN2 – Fase S	55.3	19.1	19.1
IN2 – Fase T	55.3	19.3	19.4

Fuente: Elaboración Propia

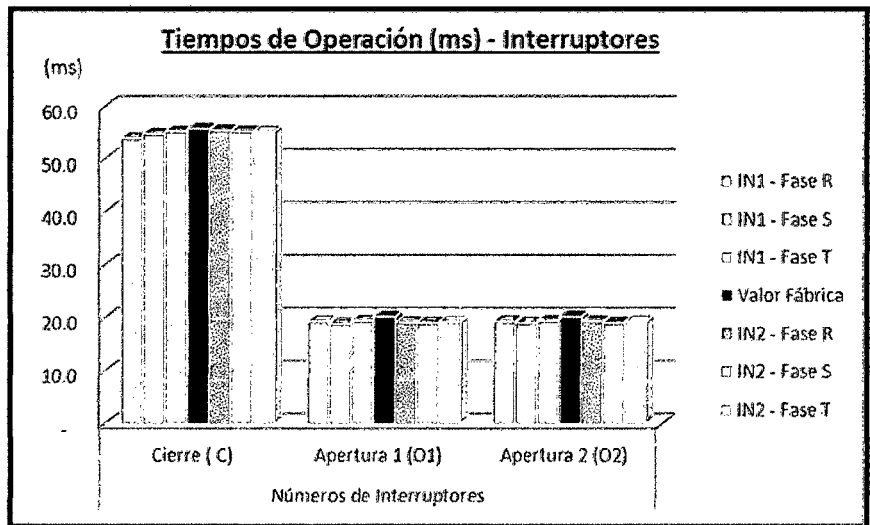


Fig. 38 Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C, O1 y O2) en interruptores de potencia en SF6

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 32 y figura 39 se presenta los resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C-O, C-O-C) en interruptores de potencia en SF6.

Tabla 32: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C-O, C-O-C) en interruptores de potencia en SF6

Variables	Números de Interruptores	
	Cierre - Apertura (C-O)	Apertura-Cierre - Apertura (C-O-C)
IN1 - Fase R	120.1	353.8
IN1 - Fase S	119.5	354.7
IN1 - Fase T	120.2	355.2
IN2 - Fase R	119.1	355.7
IN2 - Fase S	119.1	355.2
IN2 - Fase T	119.5	355.3

Fuente: Elaboración Propia

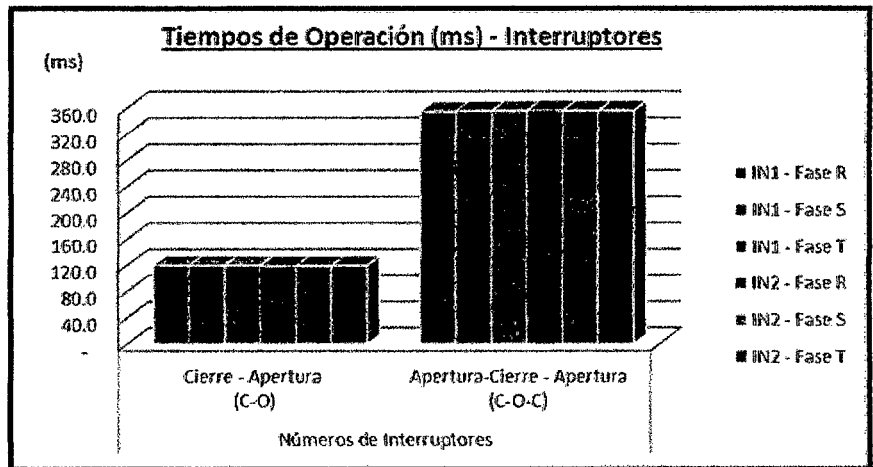


Fig. 39 Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C-O, C-O-C) en interruptores de potencia en SF6

Fuente: Elaboración Propia

4.1.4.5 Corriente de consumo y tensión en bobinas y motor

4.1.4.5.1 Valores esperados

Fueron tomados de la placa característica del equipo. La tensión para bobina y motor es 220 Vcc.

4.1.4.5.2 Valores medidos

En la tabla 33, se muestra un ejemplo de las medidas obtenidas en la corriente de consumo y tensión en bobinas y motor.

Tabla 33: Corriente de consumo y tensión en bobinas y motor del interruptor de potencia en SF6

Bobina	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Cierre	5.1	5.33	5.50	5.33	239.9	239.9	235.8
Apertura 1	5.2	5.64	5.73	5.64	240.1	240.1	239.9
Apertura 2	5.1	5.64	5.65	5.36	239.9	239.9	239.8
Resultado de la prueba		Aceptable X			No aceptable		
Motor	Corriente nominal (A)	Corriente medida (A)			Tensión medida (V)		
		Fase R	Fase S	Fase T	Fase R	Fase S	Fase T
Corriente arranque	15.5	16.5	18.1	16.5	240.1	240.0	240.1
Corriente constante	5	5.1	5.4	4.7	239.9	239.9	239.9
Resultado de la prueba		Aceptable X			No aceptable		
Observación:							

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 34 y figura 40 se muestra los resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas (Cierre y Apertura) del interruptor de potencia en SF6.

Tabla 34: Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas (Cierre y Apertura) del interruptor de potencia en SF6

Variables	Números de Interruptores		
	Cierre (C)	Apertura 1 (O1)	Apertura 2 (O2)
IN1 – Fase R	5.33	5.64	5.64
IN1 – Fase S	5.50	5.73	5.65
IN1 – Fase T	5.33	5.64	5.36
Valor Nominal	5.10	5.10	5.10
IN2 – Fase R	5.14	5.46	5.50
IN2 – Fase S	5.21	5.56	5.59
IN2 – Fase T	5.13	5.25	5.22

Fuente: Elaboración Propia

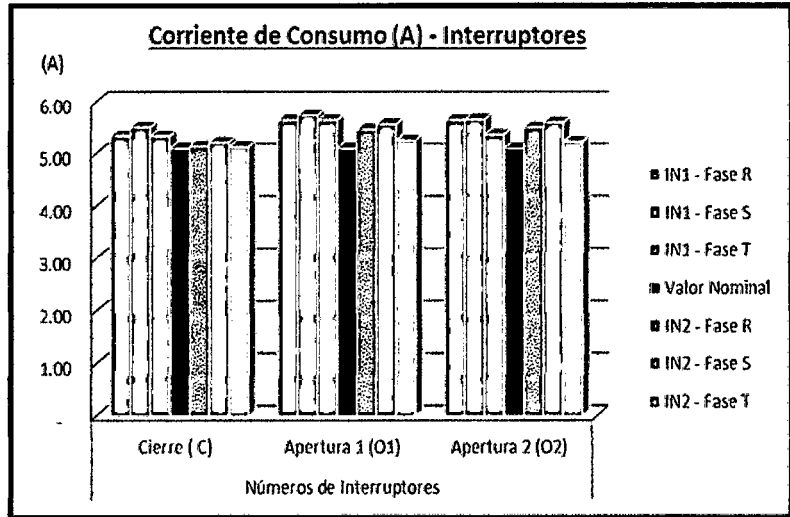


Fig. 40 Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas (Cierre y Apertura) del interruptor de potencia en SF6

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 35 y figura 41 se muestra los resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en motor (corriente de arranque y corriente constante) del interruptor de potencia.

Tabla 35: Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en motor (Corriente de arranque y corriente constante) del interruptor de potencia

Variables	Números de Interruptores	
	Corriente de Arranque	Corriente Constante
IN1	16.5	5.1
IN2	18.1	5.4
IN3	16.5	4.7
Valor Nominal	15.5	5.0
IN4	19.0	5.5
IN5	18.2	5.9
IN6	16.8	5.7

Fuente: Elaboración Propia

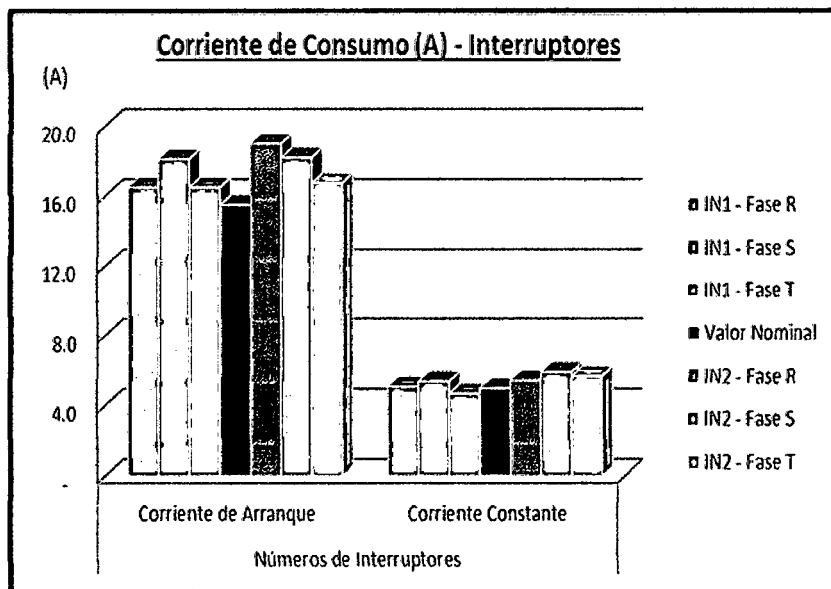


Fig. 41 Resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en motor (Corriente de arranque y corriente constante) del interruptor de potencia

Fuente: Elaboración Propia

4.1.4.6 Verificaciones Finales

Adicionalmente se recomienda realizar las siguientes verificaciones finales.

Tabla 36: Verificaciones finales del interruptor de potencia

Descripción	Fase R	Fase S	Fase T
Lectura final contador maniobra	000110	000110	000110
Verificación de la estanqueidad de gas SF6	OK	OK	OK
Verificación de dispositivo anti bombeo	OK	OK	OK
Verificación del funcionamiento del resorte de	OK	OK	OK
Verificación de la apertura de emergencia	NA	NA	NA
Verificación de la apertura local mecánica/eléctrica	OK	OK	OK
Calefacción	OK	OK	OK
Iluminación	OK	OK	OK
Verificación del sellado de gabinetes	OK	OK	OK
Verificar que se realizaron 5 maniobras de conmutación.	OK en las tres fases (R.S.T)		

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.2 SECCIONADORES

4.2.1 PARTES FÍSICAS

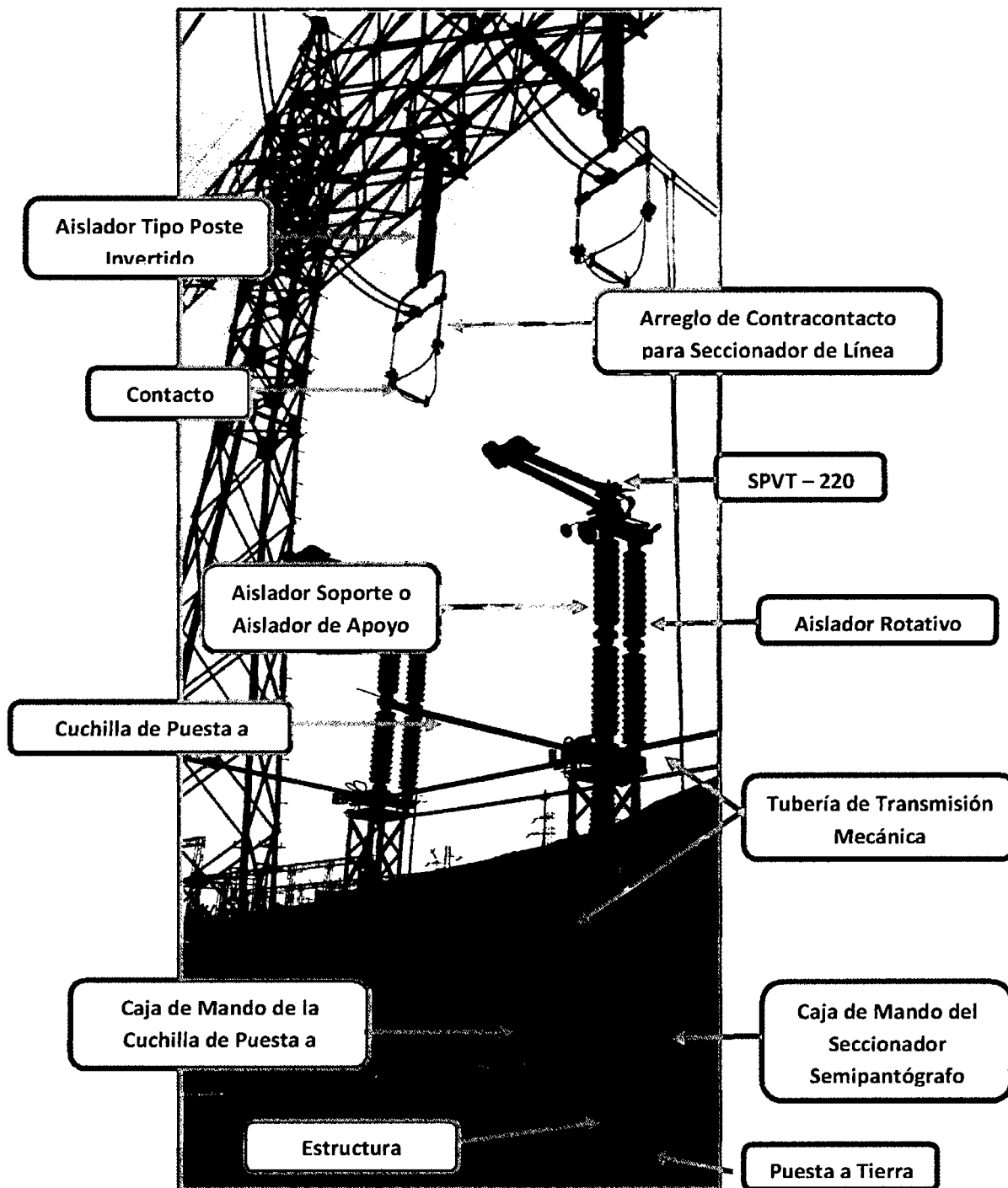


Fig. 42 Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra (SPVT - 220 KV)

Fuente: Elaboración Propia

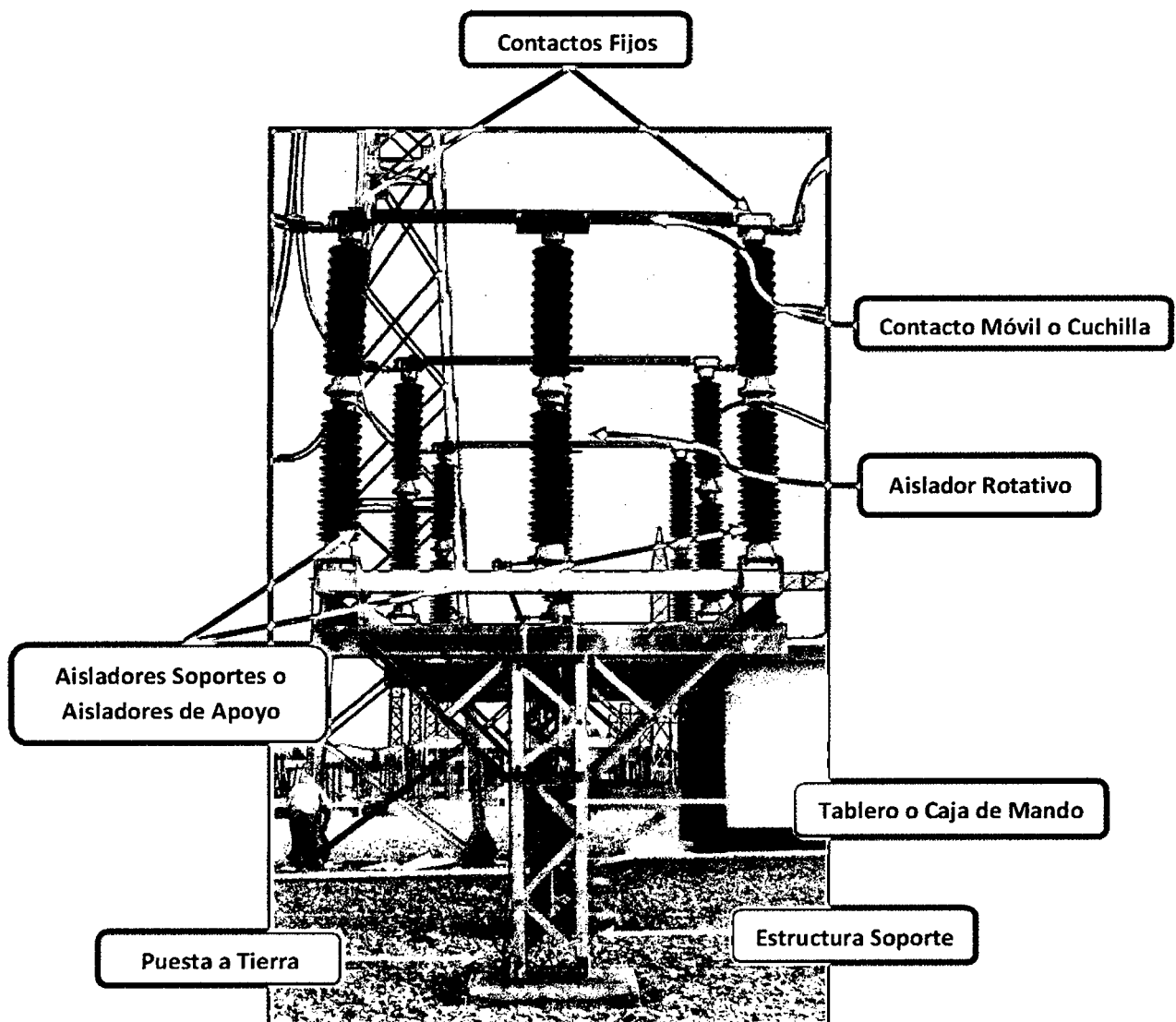


Fig. 43 Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación Central (S3C – 220 KV)

Fuente: Elaboración Propia

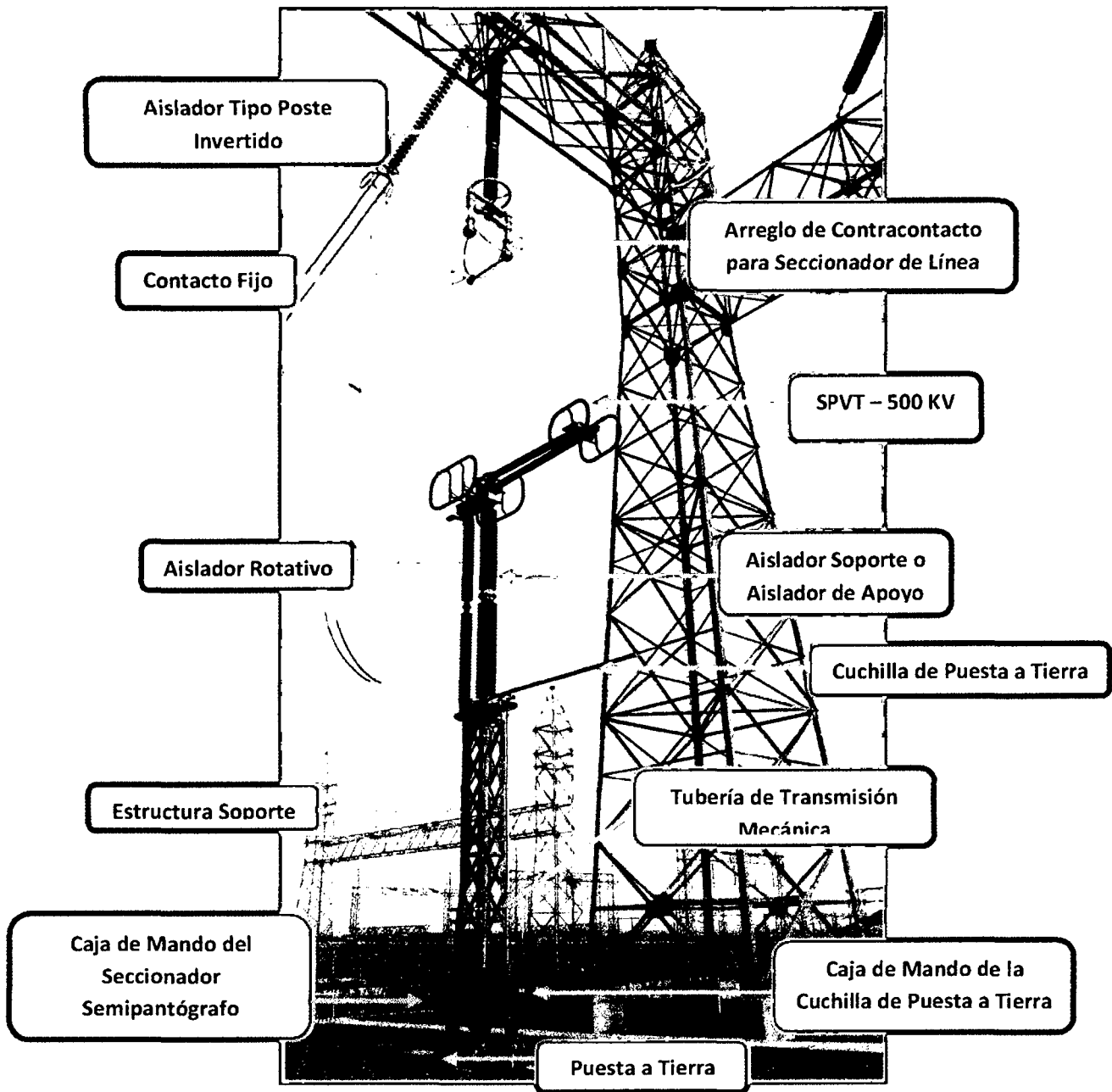


Fig. 44 Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra (SPVT - 500 KV)

Fuente: Elaboración Propia

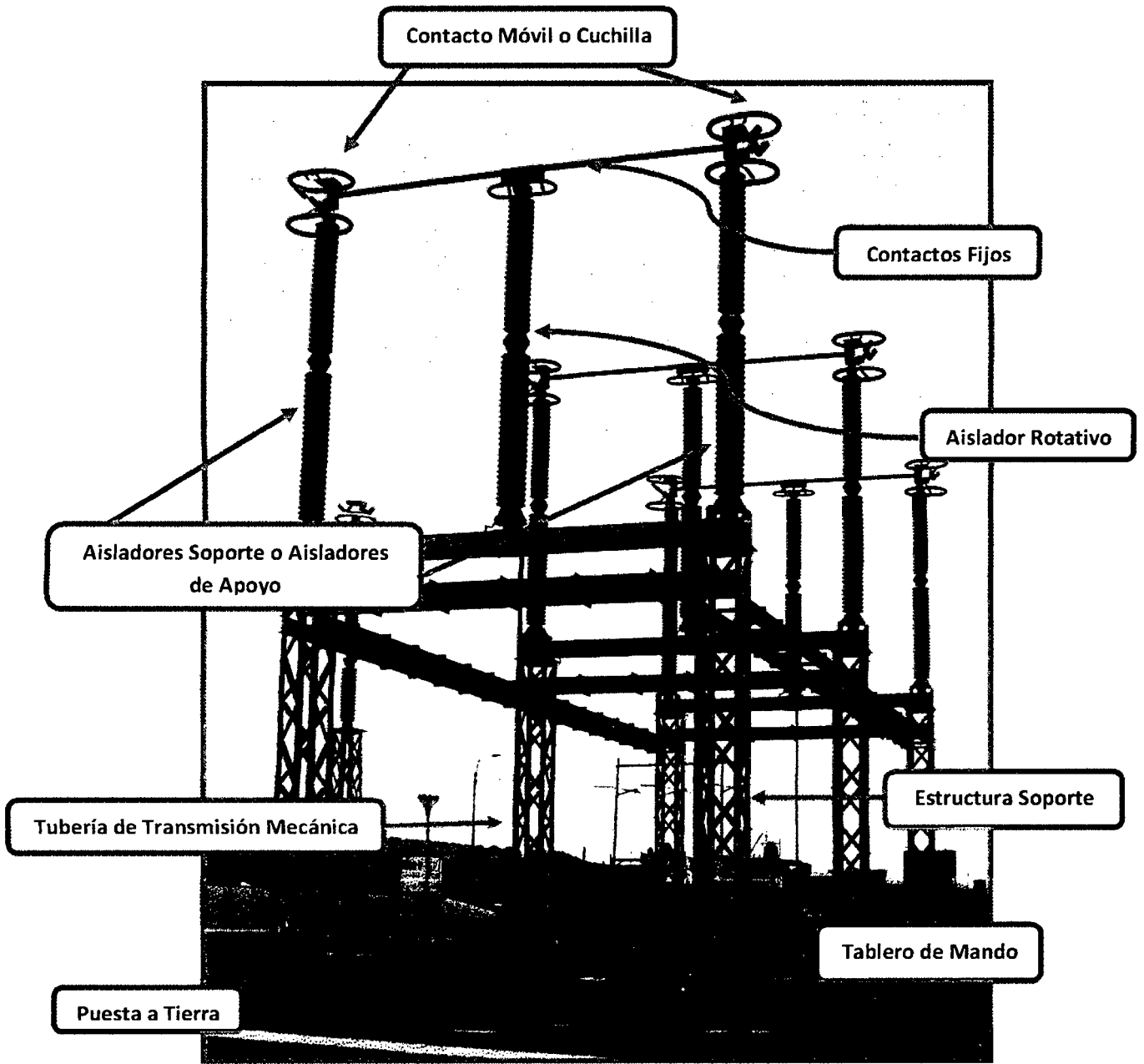


Fig. 45 Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación Central (S3C – 500 KV)

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Para efectos prácticos, se tomará como modelo de desarrollo y explicación a los seccionadores en 500 kV (más complejos). Cabe indicar que los criterios a considerar son similares para equipos de diferentes niveles de tensión (ejemplo: 60 kV, 138 kV y 220 kV).

Previo a la realización de las pruebas individuales se debe anotar las características técnicas del equipo (visualizada en la placa característica), mostrándose en la Tabla 37 y 38 la información técnica a considerar:

Tabla 37: Descripción Técnica del Seccionador Semipantógrafo

Fabricante: ALSTOM		Tipo: SPV
Norma: IEC 62271 – 102	Año: 2011	Frecuencia nominal (Hz): 60
Tensión nominal Ur (Kv): 550		Corriente nominal en servicio Ir (A): 2000
Tensión soportada al impulso tipo rayo Up (Kv): 1550		Tensión soportada al impulso tipo maniobra Us (Kv): 1175
Corriente de corta duración admisible Ik (Ka): 40		Duración de corto circuito asignado tk (t): 1 seg.
MANDO ELECTRICO SECCIONADOR		
Tipo: CMM		Año: 2011
Tensión circuito auxiliar (control): 220 V_{DC}		Tensión de motor: 220 V_{DC}
MANDO ELECTRICO CUCHILLA DE PUESTA A TIERRA		
Tipo: -		Año: -
Tensión circuito auxiliar (control): -		Tensión de motor: -

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

Tabla 38: Descripción Técnica del Seccionador Doble Apertura

Fabricante: ALSTOM		Tipo: S3CD
Norma: IEC 62271 – 102	Año: 2011	Frecuencia nominal (Hz): 60
Tensión nominal Ur (Kv): 550		Corriente nominal en servicio Ir (A): 2000
Tensión soportada al impulso tipo rayo Up (Kv): 1550		Tensión soportada al impulso tipo maniobra Us (Kv): 1175
Corriente de corta duración admisible Ik (Ka): 40		Duración de corto circuito asignado tk (t): 1 seg.
MANDO ELECTRICO SECCIONADOR		
Tipo: CMM		Año: 2011
Tensión circuito auxiliar (control): 220 V_{DC}		Tensión de motor: 220 V_{DC}

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.2.3 INSPECCIÓN GENERAL

Adicionalmente a lo anterior, es de gran importancia realizar una inspección general sobre el estado físico (mecánico) del equipo, la información a considerar es la siguiente:

Tabla 39: Inspección General del Seccionador Semipantógrafo

Verificación	Datos		
Nº de serie del equipo	P12766		
Fases	R	S	T
Nº de serie del mando eléctrico	01240672	01240511	00073805
Estado de las conexiones a tierra	OK	OK	OK
Estado de la porcelana aislante; limpia y libre de material extraño	OK	OK	OK
Estado del galvanizado y pintura de las estructuras	OK	OK	OK
Estado de los terminales de alta tensión	OK	OK	OK
Estado de las conexiones secundarias	OK	OK	OK
Calibración de los contactos principales	OK	OK	OK
Verificar correcta operación manual y automática	OK	OK	OK
Sentido de apertura y desplazamiento angular	OK	OK	OK
Operación simultánea de polos al cierre y apertura	OK	OK	OK

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

Tabla 40: Inspección General de la Cuchilla de Puesta a Tierra

Verificación	Datos		
Fases	R	S	T
Estado de las conexiones a tierra	OK	OK	OK
Estado de la pintura	OK	OK	OK
Calibración de los contactos de la cuchilla	OK	OK	OK
Correcta operación	OK	OK	OK
Operación simultánea al cierre y apertura	OK	OK	OK

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

Tabla 41: Inspección General del Seccionador Doble Apertura

Verificación	Datos		
Nº de serie del equipo.	H04376		
Fases	R	S	T
Nº de serie del mando eléctrico	01240664	01240470	00073815
Estado de las conexiones a tierra	OK	OK	OK
Estado de la porcelana aislante; limpia y libre de material extraño	OK	OK	OK
Estado del galvanizado y pintura de las estructuras	OK	OK	OK
Estado de los terminales de alta tensión	OK	OK	OK
Estado de las conexiones secundarias	OK	OK	OK
Calibración de los contactos principales	OK	OK	OK
Verificar correcta operación manual y automática	OK	OK	OK
Operación simultánea de polos al cierre y apertura	OK	OK	OK

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.2.4 PRUEBAS INDIVIDUALES

4.2.4.1 Resistencia de Aislamiento

4.2.4.1.1 Datos Generales

Tabla 42: Resistencia de aislamiento – Seccionadores Semipantógrafo

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megóhmetro	MEGGER / MIT1020 / 2	10003801201122312	31-01-12
Higrómetro	FLUKE / 971	12850297	25-04-12
Termómetro		N.A	
HR inicial (%): 51.5 HR final (%): 51.4	Tº inicial: 26.3 ° C Tº final: 26.4 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 24-10-12 Hora prueba: 16:33

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

Tabla 43: Resistencia de aislamiento – Seccionadores Doble Apertura

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megóhmetro	FLUKE / 1555	174 2004	13-07-12
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 55 HR final (%): 55	Tº inicial: 26 ° C Tº final: 26 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 01-09-12 Hora prueba: 12:30

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.2.4.1.2 Lineamientos para prueba de resistencia de aislamientos en seccionadores

Esta prueba debe realizarse con el Seccionador Abierto, suministrándose una tensión de 5000 VDC, durante un tiempo de 60 seg. Esta medición tiene como objeto medir el nivel de aislamiento o megado en el orden de los Giga-Ohmios (GΩ), desde Alta a Masa. A la parte superior del aislador soporte fijo o rotativo, donde sobre éstos se monta el SPV, SPVT, S3C, se le conoce con el nombre de ALTA. A la parte inferior del aislador soporte o rotativo, estructura soporte o punto de tierra se le conoce con el nombre de MASA.

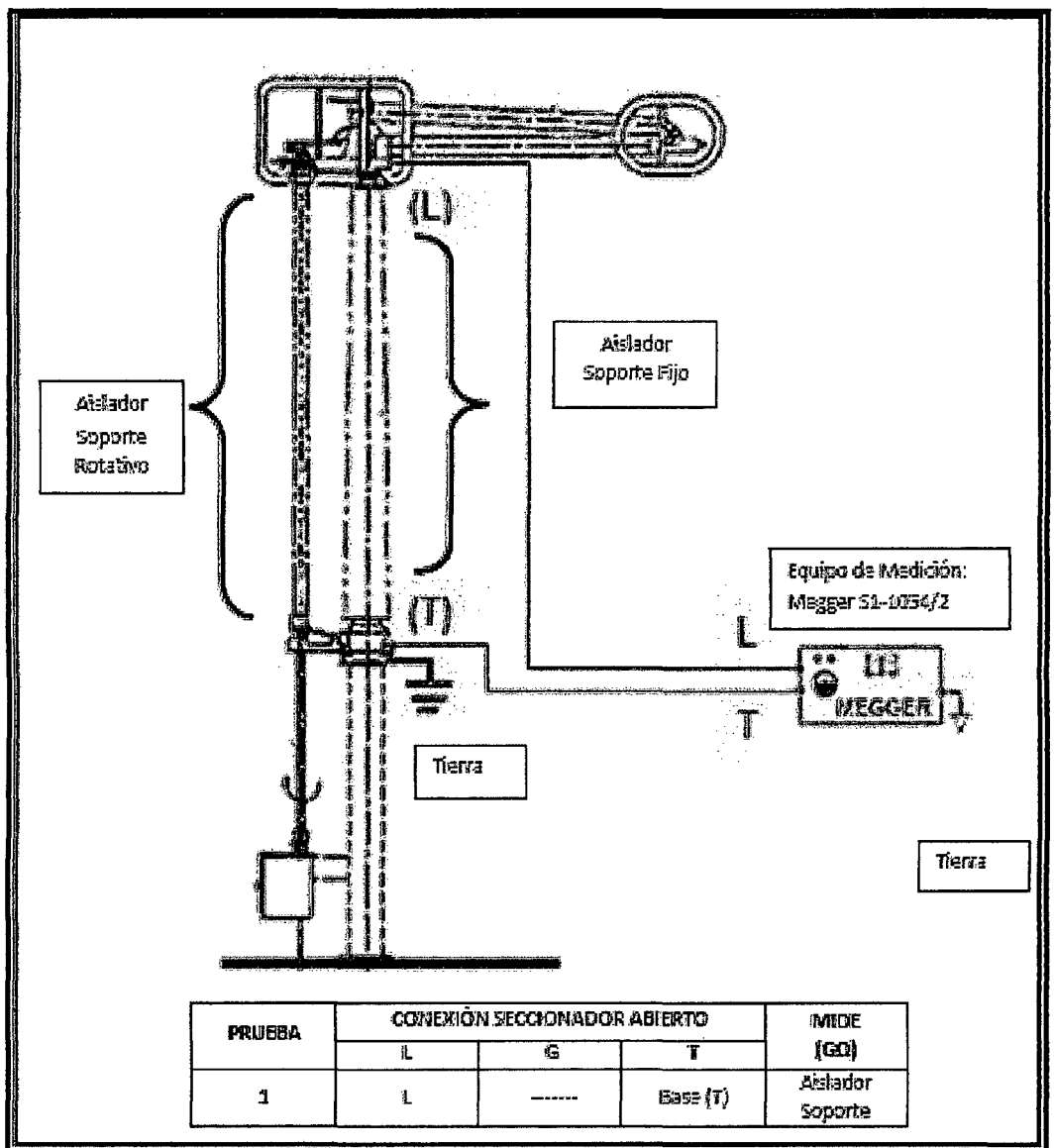


Fig. 46 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra – 500 KV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

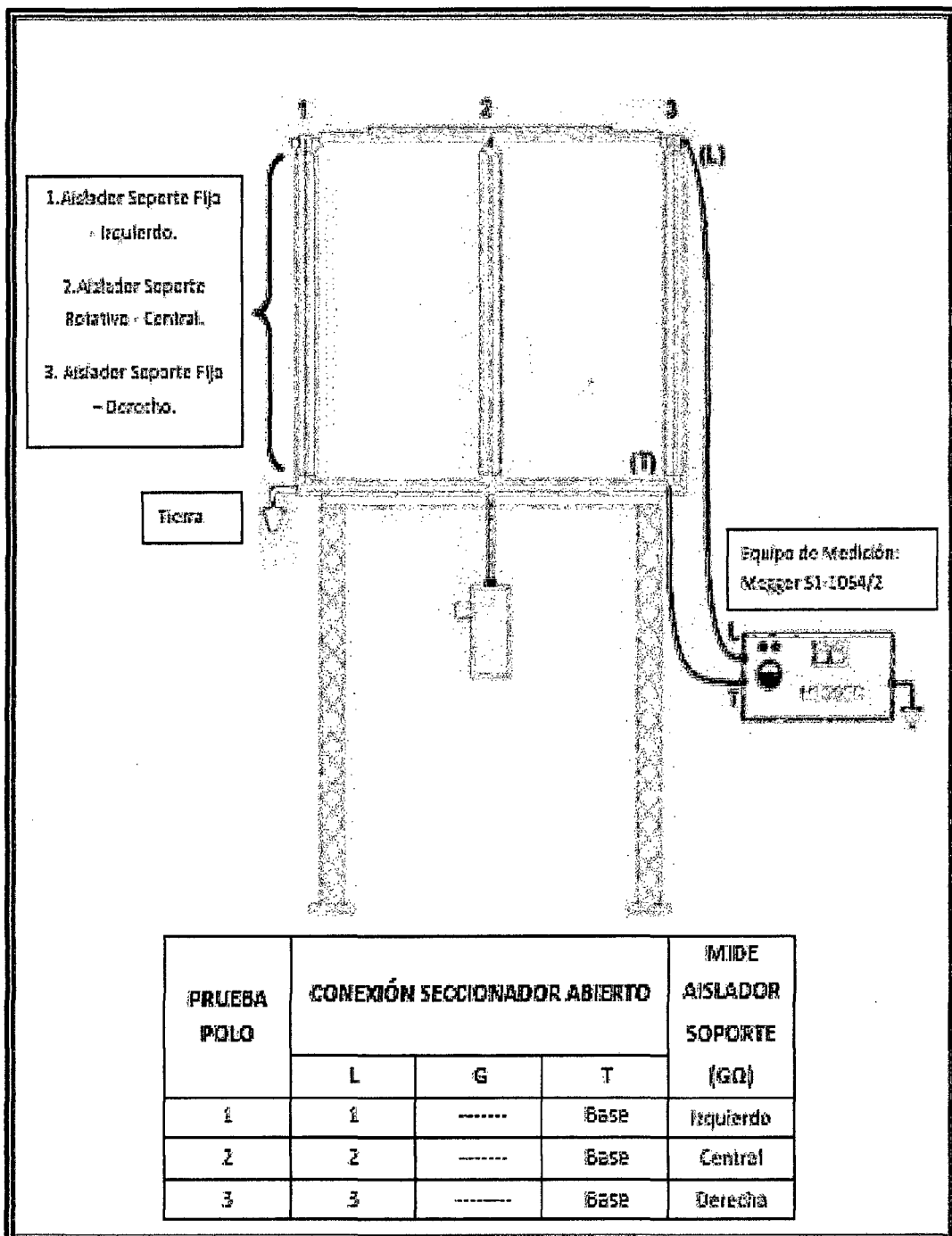


Fig. 47 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación – 500 KV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.2.4.1.3 Valores esperados

Valor de resistencia de aislamiento $\geq 100\ 000\ M\Omega$, ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1. Las medidas obtenidas serán referidas a 20 ° C.

Ver numeral 4.1.4.1.3, los detalles de la tabla 100.1 (Resistencia de aislamiento) y tabla 100.14 (factores de corrección por temperatura) de la norma ANSI/NETA TS-2009.

4.2.4.1.4 Valores medidos

En la tabla 44 y 45, se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores Semipantógrafo y en seccionadores de doble apertura respectivamente.

Tabla 44: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores semipantógrafo

Medida entre	Tensión prueba Vcc.	Fase R	Fase S	Fase T	Promedio
	Tiempo 60 s	Medido (GΩ)	Medido (GΩ)	Medido (GΩ)	
Alta - masa	5 000	161	159	171	163.7
Reporte de pruebas emitido por equipo digital			Aplica	No aplica	X
Resultado de la prueba			Aceptable	X	No aceptable
Observación: _____					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

Tabla 45: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores doble apertura

Medida Alta-masa	Tensión prueba Vcc.	Fase R	Fase S	Fase T	Promedio
	Tiempo 60 s	Medido (GΩ)	Medido (GΩ)	Medido (GΩ)	
Aislador izquierdo	5 000	250	270	420	313.3
Aislador central	5 000	280	310	380	223.3
Aislador derecho	5 000	190	420	390	333.3
Resultado de la prueba:		Aceptable X		No aceptable	
Observación: _____					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 46 y figura 48 se presenta los resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores Semipantógrafo.

Tabla 46: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores Semipantógrafo

Valores	Resistencia de Aislamiento (GΩ)
	SPV
T=26°C, HR=51%	163.7
T=25°C, HR=52%	138.0
T=25°C, HR=49%	145.7
Valor Medio	154.0
T=25°C, HR=45%	182.7
T=25°C, HR=46%	163.3
T=24°C, HR=48%	137.3
T=25°C, HR=52%	149.7

Fuente: Elaboración Propia

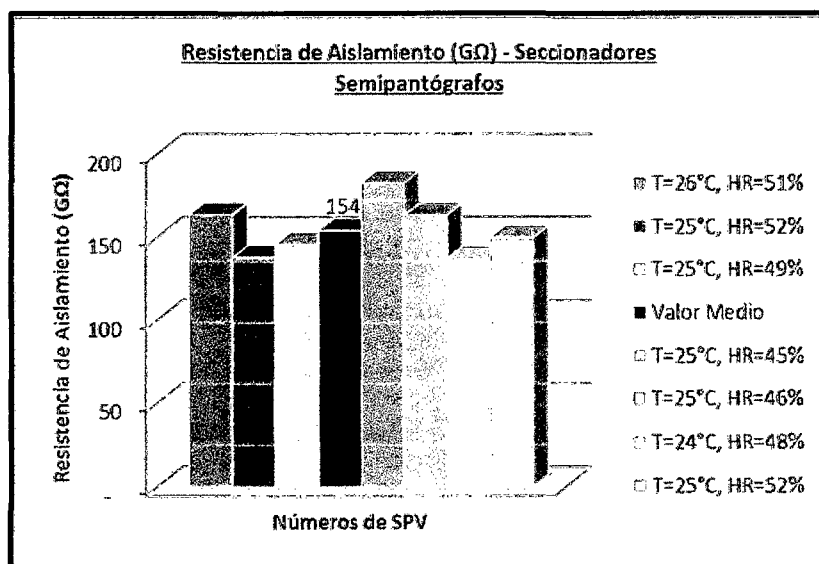


Fig. 48 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores Semipantógrafo

Fuente: Elaboración Propia

De lo mostrado se interpreta, que para valores de humedad relativa del medio ambiente comprendidos entre 45% y 52%, la resistencia de aislamiento ($G\Omega$) promedio para seccionadores Semipantógrafo fue de 154 $G\Omega$, es decir no existieron diferencias significativas.

En la tabla 47 y figura 49 se presenta los resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores doble apertura.

Tabla 47: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores doble apertura

Valores	Números S3C		
	Aislador Izquierdo	Aislador Central	Aislador Derecho
T=26°C, HR=55%	313.3	323.3	333.3
T=29°C, HR=49%	383.3	390.0	353.3
Valor promedio	326.1	339.4	339.4
T=27°C, HR=54%	281.7	305.0	331.7

Fuente: Elaboración Propia

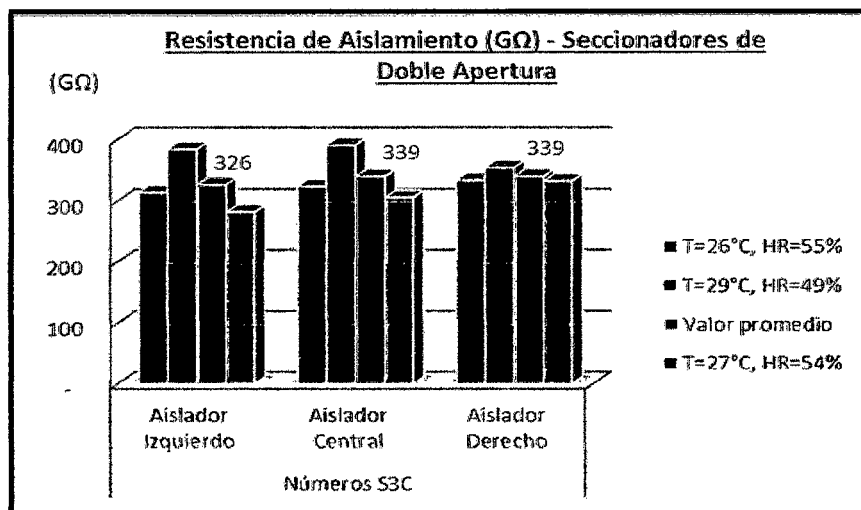


Fig. 49 Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en seccionadores doble apertura

Fuente: Elaboración Propia

De lo mostrado se interpreta, que para valores de humedad relativa del medio ambiente comprendidos entre 49% y 55%, la resistencia de aislamiento (GΩ) promedio para seccionadores de doble apertura lateral fue de 326 GΩ, 339 GΩ y 339 GΩ para el aislador izquierdo, central y derecho respectivamente, es decir no existieron diferencias significativas.

4.2.4.2 Resistencia de Contactos

4.2.4.2.1 Datos Generales

Tabla 48: Resistencia de contactos – seccionadores Semipantógrafo

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de Inyección	OMICRON / CPC100	254725	10-05-12
Higrómetro	FLUKE / 971	12850297	25-04-12
Termómetro		N.A	
HR inicial (%): 51.4 HR final (%): 51.4	Tº inicial: 26.2 ° C Tº final: 26.1 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 24-10-12 Hora prueba: 16:01

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

Tabla 49: Resistencia de contactos – seccionadores doble apertura

Instrumento	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de inyección	OMICRON / CPC100	6C815K	05-09-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 55 HR final (%): 55	T ° inicial: 26 ° C T ° final: 26 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 17-10-12 Hora prueba: 11:31:06

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.2.4.2.2 Lineamientos para pruebas de resistencia de contactos en seccionadores

Esta prueba debe realizarse con el seccionador cerrado y debe suministrarse una corriente de 100 A_{DC}. Esta medición tiene como objeto medir la resistencia equivalente del contacto móvil más el contacto fijo, la medición de esta prueba se da en Micro-Ohmios ($\mu\Omega$), posteriormente aplicando la ley de Ohm, también se puede obtener un valor equivalente de la resistencia de contacto en Mili-Voltios (mV). Si es así la resistencia de contacto sería un valor representativo de la caída de tensión que se da a los contactos (fijo y móvil) del Seccionador.

NOTA. Se debe tener cuidado en la pasta conductiva que se le aplica al contacto móvil (Terminal macho o cuchilla) y contacto fijo (Terminales hembras), porque se ha experimentado en campo que de acuerdo a las propiedades de la pasta conductiva (grasa) y a la cantidad que se aplica de ésta, se altera de manera considerable y alarmante el valor de la resistencia de contacto en un seccionador.

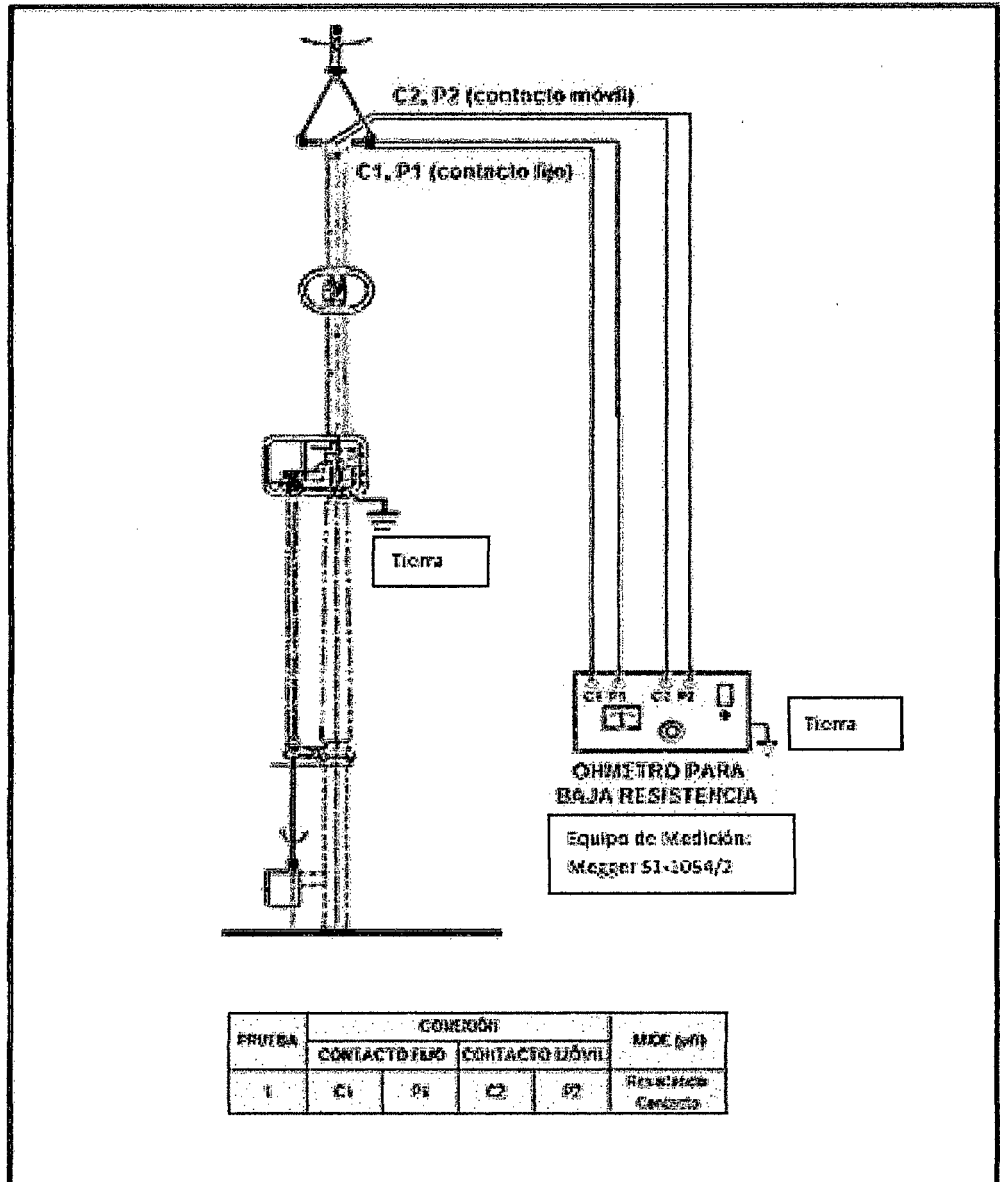


Fig. 50 Conexión para Resistencia de Contactos - Seccionador Semipantógrafo Vertical con Cuchilla de Puesta a Tierra – 500 kV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

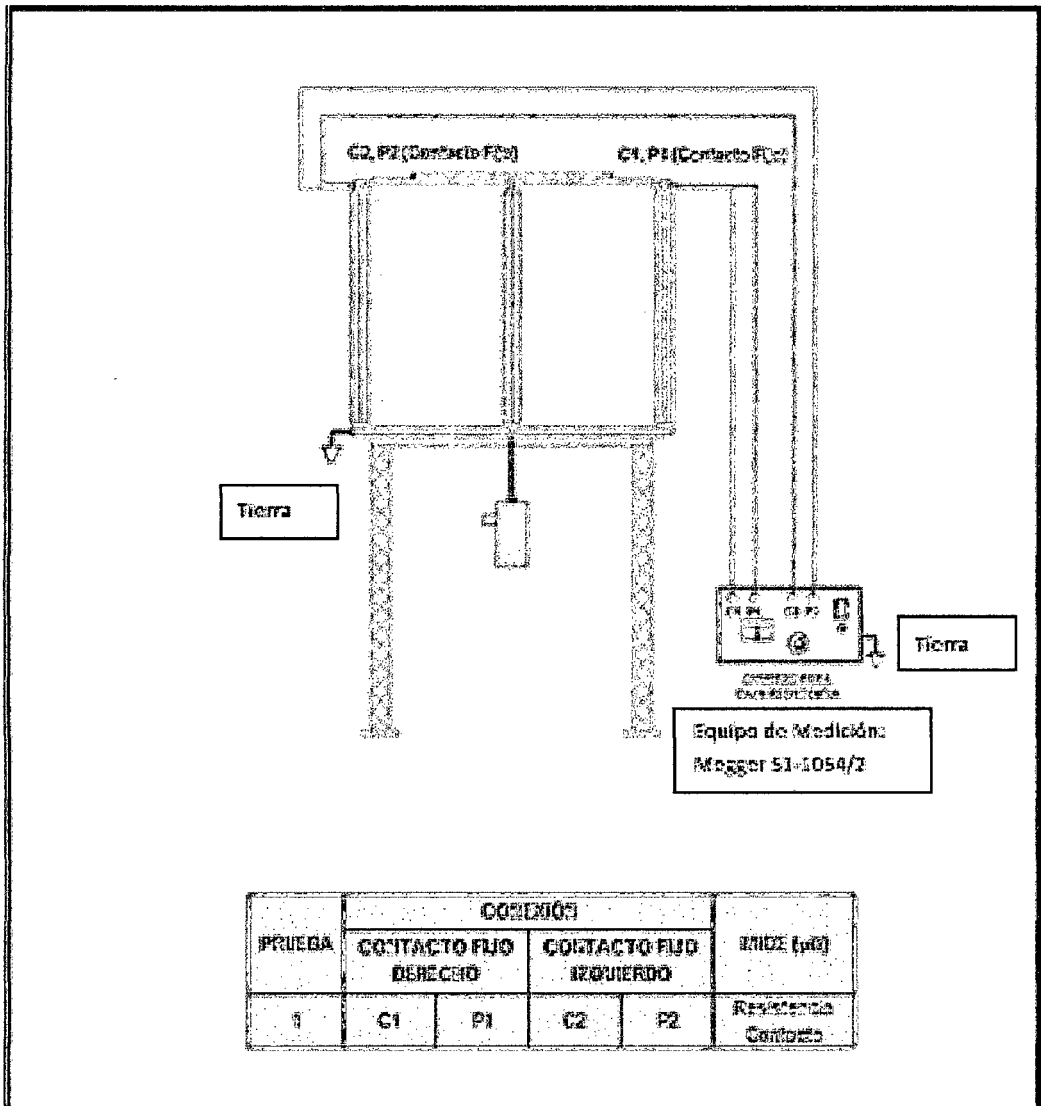


Fig. 51 Conexión para Resistencia de Contactos - Seccionador Tripolar de Doble Apertura Lateral o de Rotación – 500 kV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.2.4.2.3 Valores esperados

La resistencia medida en sitio no deberá tener un valor mayor al 20 % del valor medido en las pruebas FAT, según cláusula 6.102.3.2, IEC 62271-102.

6.102.3.2 Verification of successful operation

The main circuit resistance shall be measured before and after the mechanical endurance test. The resistance shall not vary by more than 20 % from the value measured before the test.

4.2.4.2.4 Valores medidos

Se muestra en la tabla 50 y 51 un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos en seccionadores Semipantógrafo y de doble apertura respectivamente.

Tabla 50: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos en seccionadores semipantógrafo

Medida en	Corriente prueba (A)	Fábrica ($\mu\Omega$)	Fase R	Fase S	Fase T	Promedio
			Medido ($\mu\Omega$)	Medido ($\mu\Omega$)	Medido ($\mu\Omega$)	
Seccionador	100	115	107.25	101.52	101.78	103.5
Cuchilla de tierra	100	-	-	-	-	-
Reporte de pruebas emitido por equipo digital:			Aplica	X	No aplica	
Resultado de la prueba:			Aceptable	X	No acceptable	
Observación:						

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

Tabla 51: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Doble Apertura

Medida en	Corriente prueba (A)	Fábrica ($\mu\Omega$)	Fase R	Fase S	Fase T	Promedio
			Medido ($\mu\Omega$)	Medido ($\mu\Omega$)	Medido ($\mu\Omega$)	
Seccionador	100	118	103.24	108.54	102.58	104.8
Reporte de pruebas emitido por equipo digital:			Aplica	X	No aplica	
Resultado de la prueba:			Aceptable	X	No aceptable	
Observación:						

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 52 y figura 52 se presenta los resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en seccionadores Semipantógrafo.

Tabla 52: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Semipantógrafo

Variables	Números de SPV ($\mu\Omega$)
T=26°C, HR=51%	103.5
T=25°C, HR=52%	102.4
T=25°C, HR=49%	119.6
Valor fábrica	115.0
T=25°C, HR=46%	104.1
T=25°C, HR=46%	100.4
T=25°C, HR=48%	99.5
T=25°C, HR=51%	117.9

Fuente: Elaboración Propia

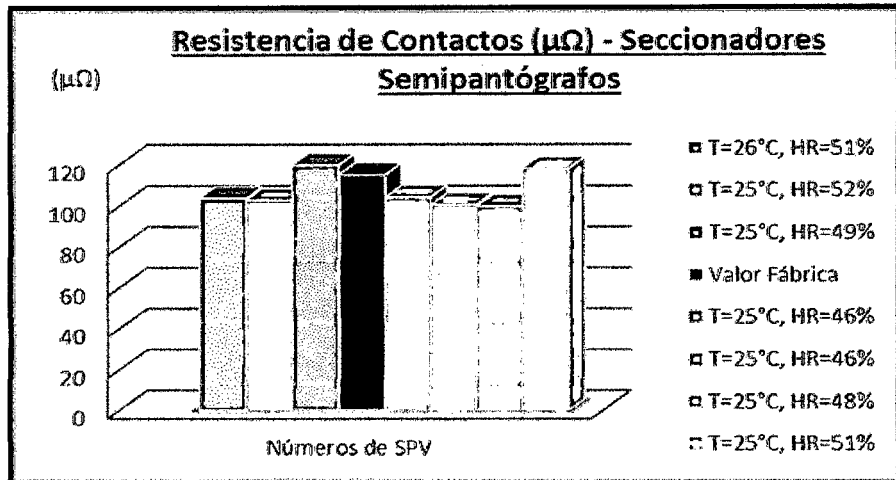


Fig. 52: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Semipantógrafo

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 53 y figura 53 se presenta los resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en seccionadores doble apertura.

Tabla 53: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Doble Apertura

Variables	Numeros de S3C
T=26°C, HR=55%	104.8
T=28°C, HR=51%	102.1
Valor fábrica	118.0
T=26°C, HR=57%	100.8

Fuente: Elaboración Propia

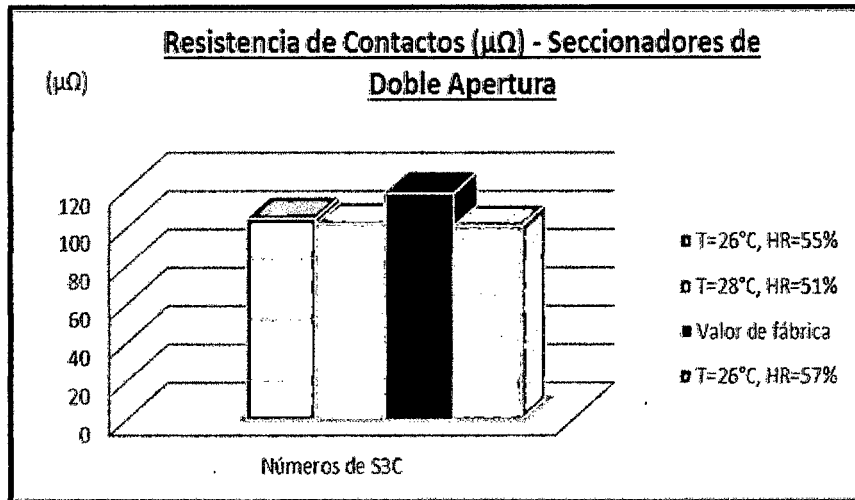


Fig. 53: Resultados obtenidos (promedio) en la prueba de resistencia de contactos en Seccionadores Doble Apertura

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que los resultados de la resistencia de contactos ($\mu\Omega$) en seccionadores Semipantógrafo y seccionadores de doble apertura, son similares al caso de los interruptores, es decir para variaciones de humedad y temperatura la resistencia de contactos no presenta variaciones significativas. En la práctica es común ver que las pequeñas variaciones de los resultados de estas pruebas depende más del contacto firme, pasta conductiva aplicada y limpieza de los conectores fijos del seccionador y los terminales de equipos de pruebas (cuidado y expertis del especialista de pruebas), así como la distancia de conexión empleada (terminales fijos del seccionador) para realizar esta prueba.

4.2.4.3 Tiempos de Operación y Simultaneidad

4.2.4.3.1 Valores esperados

El tiempo de operación deberá ser < 15 s, según las características técnicas garantizadas del fabricante.

Guaranteed technical characteristics				
23	Operation time			
	a) Double-break disconnecter	s		< 15
	b) Earthing switch for vertical semi-pantograph	s		< 20
	c) Vertical semi-pantograph			< 15

4.2.4.3.2 Valores medidos

En la tabla 54 y 55 se muestra un ejemplo de las maniobras a realizar en tiempos de operación en seccionadores Semipantógrafo y en seccionadores doble apertura respectivamente.

Tabla 54: Maniobras a realizar en Tiempos de Operación y Simultaneidad en Seccionadores Semipantógrafo

Maniobra	Tiempo medido			Valor esperado (s)
	R	S	T	
Seccionador				
Cierre	9.61	9.68	9.63	15
Apertura	9.39	9.49	9.40	15
Simultaneidad	X			
Cuchilla de tierra	R	S	T	Valor esperado (s)
Cierre	-	-	-	15
Apertura	-	-	-	15
Simultaneidad				
Resultado de la prueba	Aceptable		X	No aceptable
Observación:				

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

Tabla 55: Maniobras a realizar en Tiempos de Operación y Simultaneidad en Seccionadores Doble Apertura

Maniobra	Tiempo medido (s)			Valor esperado (s)
	R	S	T	
Cierre	9.93	9.59	9.35	15
Apertura	9.38	9.49	9.15	15
Simultaneidad	X			
Resultado de la prueba:	Aceptable X			No
Observación:				

Fuente: Adaptado de protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 56 y figura 54 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores Semipantógrafo.

Tabla 56: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores Semipantógrafo

Variables	Números de SPV	
	Cierre (C)	Apertura (O)
SPV1 - Fase R	9.61	9.39
SPV1 - Fase S	9.68	9.49
SPV1 - Fase T	9.63	9.40
Valor Esperado	15.00	15.00
SPV2 - Fase R	9.58	9.39
SPV2 - Fase S	9.73	9.50
SPV2 - Fase T	9.70	9.38

Fuente: Elaboración Propia

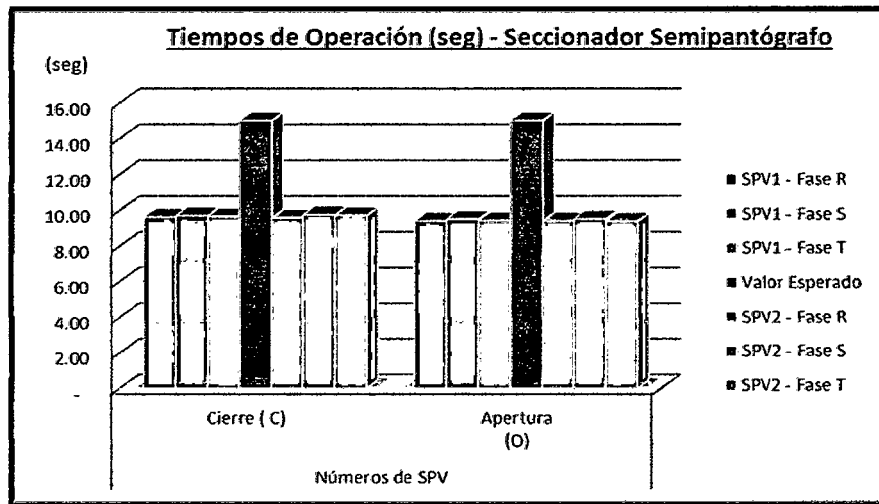


Fig. 54: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores Semipantógrafo

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 57 y figura 55 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores doble apertura.

Tabla 57: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores doble apertura

Variables	Números de SSC	
	Cierre (C)	Apertura (O)
S3C1 - Fase R	9.93	9.38
S3C1 - Fase S	9.59	9.49
S3C1 - Fase T	9.35	9.15
Valor Esperado	15.00	15.00
S3C2 - Fase R	9.35	9.20
S3C2 - Fase S	9.76	9.37
S3C2 - Fase T	9.81	9.40

Fuente: Elaboración Propia

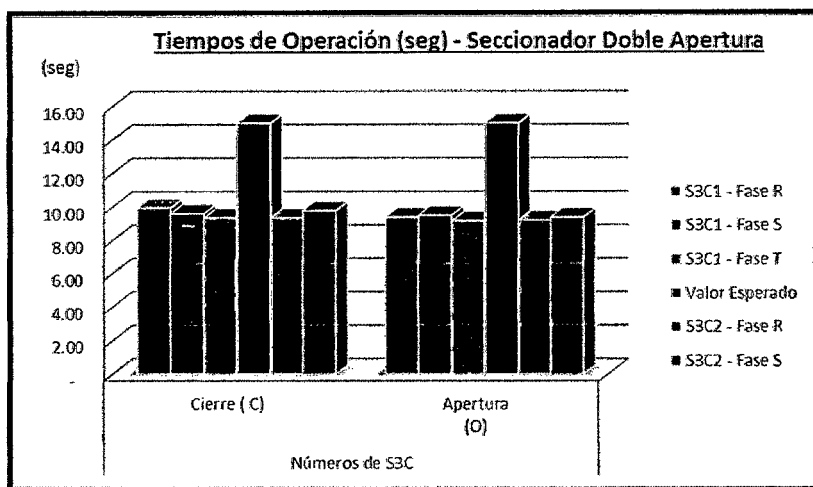


Fig. 55: Resultados obtenidos en la prueba de tiempos de operación (C y O) en seccionadores doble apertura

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4.4 Características del Motor para Tiempos de Cierre y Apertura

4.2.4.4.1 Datos Generales

Tabla 58: Características del motor para tiempos de cierre y apertura - Seccionadores Semipantógrafo

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Pinza amperimétrica	EXTECH / 380942	09350057	10/05/12
Fecha de prueba: 29/10/12		Hora de prueba: 08:00	

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

Tabla 59: Características del motor para tiempos de cierre y apertura – Seccionadores Doble Apertura

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Pinza amperimétrica	EXTECH / 380942	09350057	10/05/12
Fecha de prueba: 28/10/12		Hora de prueba: 09:30	

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.2.4.4.2 Valores medidos

En la tabla 60 y 61 se muestra un ejemplo de las maniobras a realizar para tiempos de cierre y apertura en seccionadores Semipantógrafo y de doble apertura respectivamente.

Tabla 60: Maniobras realizadas para tiempos de cierre y apertura en Seccionadores Semipantógrafo

Maniobra	Corriente máxima medida (A)			Valor esperado corriente (A)		
	R	S	T	R	S	T
Seccionador						
Cierre	2.38	2.41	2.40	< 3 A		
Apertura	2.55	2.57	2.55	< 3 A		
Cuchilla de tierra						
Cierre	-	-	-	-		
Apertura	-	-	-	-		
Resultado de la prueba	Aceptable X			No aceptable		
Observación:						

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

Tabla 61: Maniobras realizadas para tiempos de cierre y apertura en Seccionadores Doble Apertura

Maniobra	Corriente máxima medida (A)			Valor esperado corriente (A)		
	R	S	T	R	S	T
Seccionador						
Cierre	2.42	1.06	1.59	< 3 A		
Apertura	2.71	1.50	1.98	< 3 A		
Resultado de la prueba	Aceptable X			No aceptable		
Observación:						

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 62 y figura 56 se muestra los resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores Semipantógrafo.

Tabla 62: Resultado obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores Semipantógrafo

Variables	Números de SPV	
	Cierre (C)	Apertura (O)
SPV1 - Fase R	2.38	2.55
SPV1 - Fase S	2.41	2.57
SPV1 - Fase T	2.40	2.55
Valor Esperado	3.00	3.00
SPV2 - Fase R	2.43	2.58
SPV2 - Fase S	2.41	2.55
SPV2 - Fase T	2.50	2.57

Fuente: Elaboración Propia

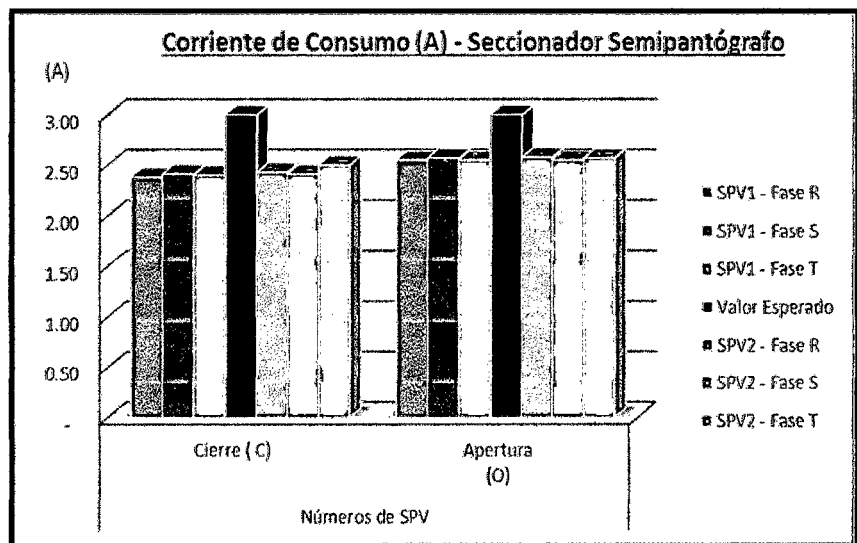


Fig. 56: Resultado obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores Semipantógrafo

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 63 y figura 57 se muestra los resultados obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores doble apertura.

Tabla 63: Resultado obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores doble apertura

Variables	Números de S3C	
	Cierre (C)	Apertura (O)
S3C1 - Fase R	2.42	2.71
S3C1 - Fase S	1.06	1.50
S3C1 - Fase T	1.59	1.98
Valor Esperado	3.00	3.00
S3C2 - Fase R	1.05	0.89
S3C2 - Fase S	1.01	1.12
S3C2 - Fase T	1.27	2.67

Fuente: Elaboración Propia

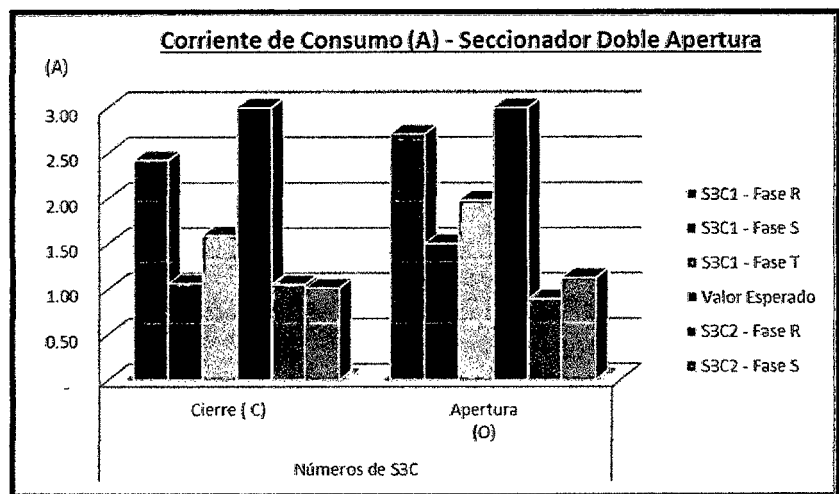


Fig. 57: Resultado obtenidos en la medición de corriente de consumo en bobinas y motor en seccionadores doble apertura

Fuente: Elaboración Propia

4.3 TRANSFORMADORES DE TENSION

4.3.1 PARTES FISICAS

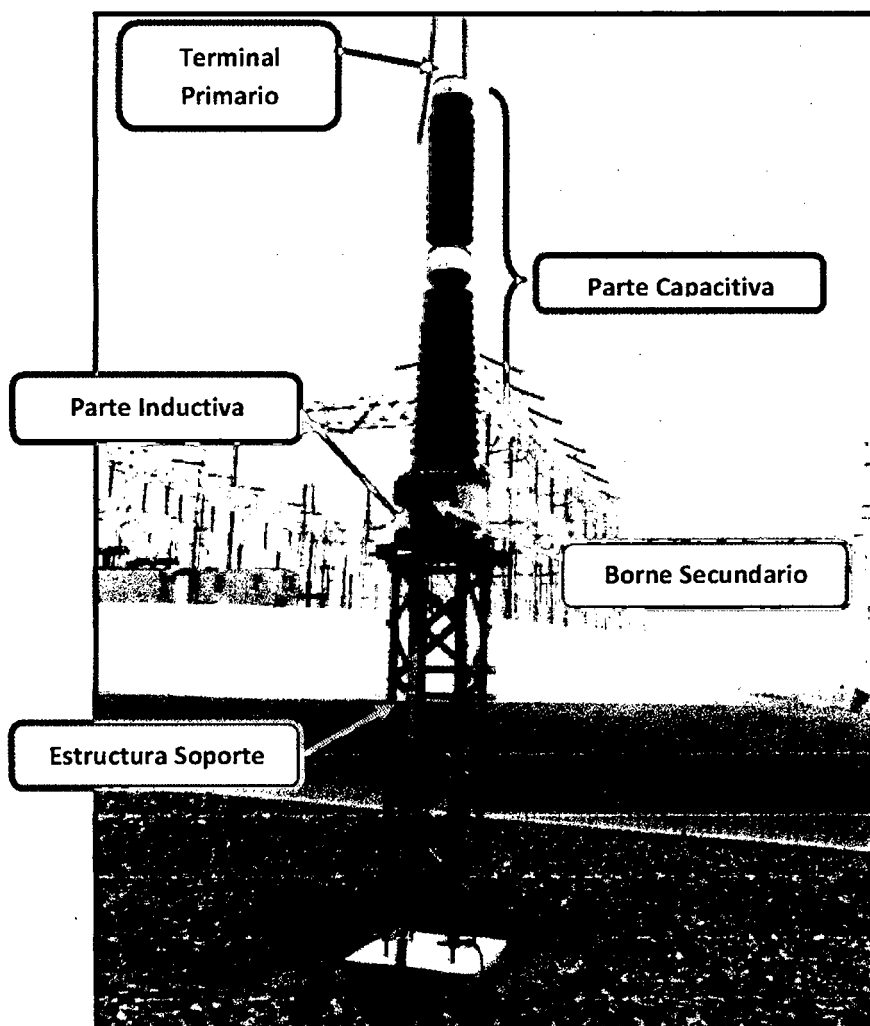


Fig. 58 Transformador de Tensión Capacitivo en 220 kV

Fuente: Elaboración Propia

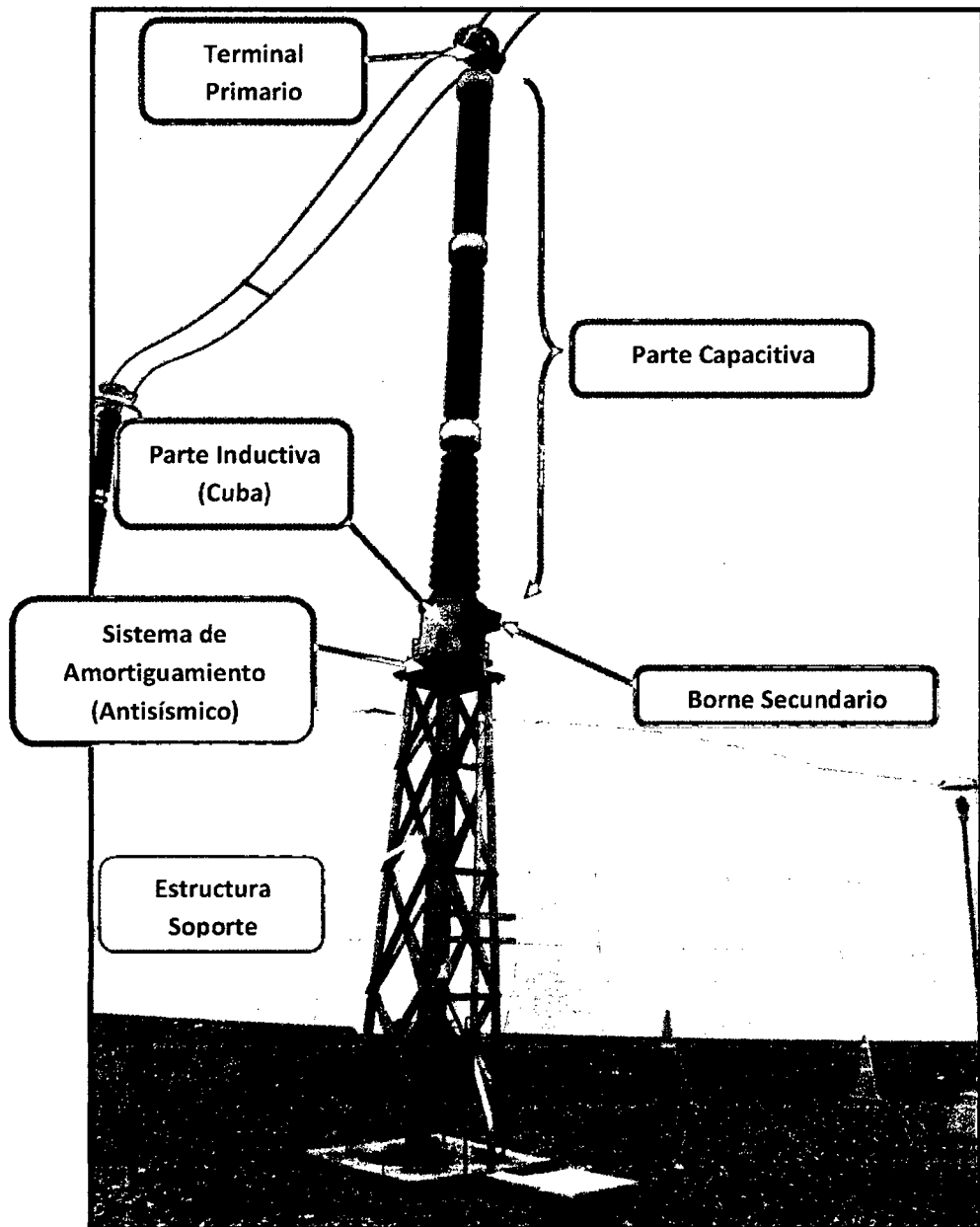


Fig. 59 Transformador de Tensión Capacitivo en 500 kV

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Para efectos prácticos, se tomará como modelo de desarrollo y explicación los transformadores de tensión en 500 kV (más complejos). Cabe indicar que los criterios a considerar son similares para equipos de diferentes niveles de tensión (ejemplo: 60 kV, 138 kV y 220 kV).

Previo a la realización de las pruebas individuales se debe anotar las características técnicas del equipo (visualizada en la placa característica), en la tabla 64 se muestra la información técnica a considerar.

Tabla 64: Descripción Técnica del Transformador de Tensión

Fabricante: ARTECHE		Tipo: DFK - 525		
Norma: IEC 60044 - 5		Año: 2011		
Tensión nominal del equipo U_r (kV): 550		Frecuencia nominal (Hz): 60		
Tensión soportada al impulso tipo rayo U_p (kV): 1550		Tensión soportada al impulso tipo maniobra U_s (kV): 1175		
Tensión nominal primaria (kV): 500000 / $\sqrt{3}$		Tensión nominal secundaria (V): 110 / $\sqrt{3}$		
Factor de tensión V / t: 1.5 Vn 30 s.		CR (pF): 1700 + 10% - 5%		
Capacitor inferior (pF): 5724		C1 (pF): 1777		
Capacitor superior (pF): 4996		C2 (pF): 39100		
Núcleo N ^o	Relación	Clase de precisión	Carga (VA)	Carga térmica (VA)
1a - 1n	500000 / $\sqrt{3}$: 110 / $\sqrt{3}$	0.2 - 3P	5	400
2a - 2n	500000 / $\sqrt{3}$: 110 / $\sqrt{3}$	0.2 - 3P	5	400

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.3.3 INSPECCIÓN GENERAL

Adicionalmente a lo anterior, es de gran importancia realizar una inspección general sobre el estado físico (mecánico) del equipo, la información a considerar es la siguiente:

Tabla 65: Inspección General del Transformador de Tensión

Verificación	Datos
Nº de serie equipo	10012027 / 11
Nº de serie capacitor inferior	10012027 / 11-1
Nº de serie capacitor superior	10012027 / 11-3
Estado de las conexiones a tierra	OK
Estado de la porcelana aislante: limpia y libre de material extraño	OK
Estado del galvanizado y pintura de las estructuras	OK
Estado de los terminales de ala tensión	OK
Estado de los interruptores MCB	OK
Verificación visual de estanqueidad o hermeticidad	OK

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.3.4 PRUEBAS INDIVIDUALES

4.3.4.1 Resistencia de Aislamiento

4.3.4.1.1 Datos Generales

Tabla 66: Resistencia de aislamiento – Transformador de tensión

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megóhmetro	FLUKE / 1555	174 2004	13-07-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 56 HR final (%): 56	Tº inicial: 23 ° C Tº final: 24 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 02-09-12 Hora prueba: 13:00

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.3.4.1.2 Lineamientos para prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de tensión

Esta prueba se realiza inyectándose una tensión de 5000 V_{DC}, durante un tiempo de 60 seg. Esta medición tiene como objeto medir el nivel de aislamiento o megado en el orden de los Giga-Ohmios (GΩ), desde Alta a Masa.

Por otra parte se debe inyectar una tensión de 500 V_{DC}, durante el mismo tiempo anterior para medir el aislamiento (GΩ) de Baja a Masa.

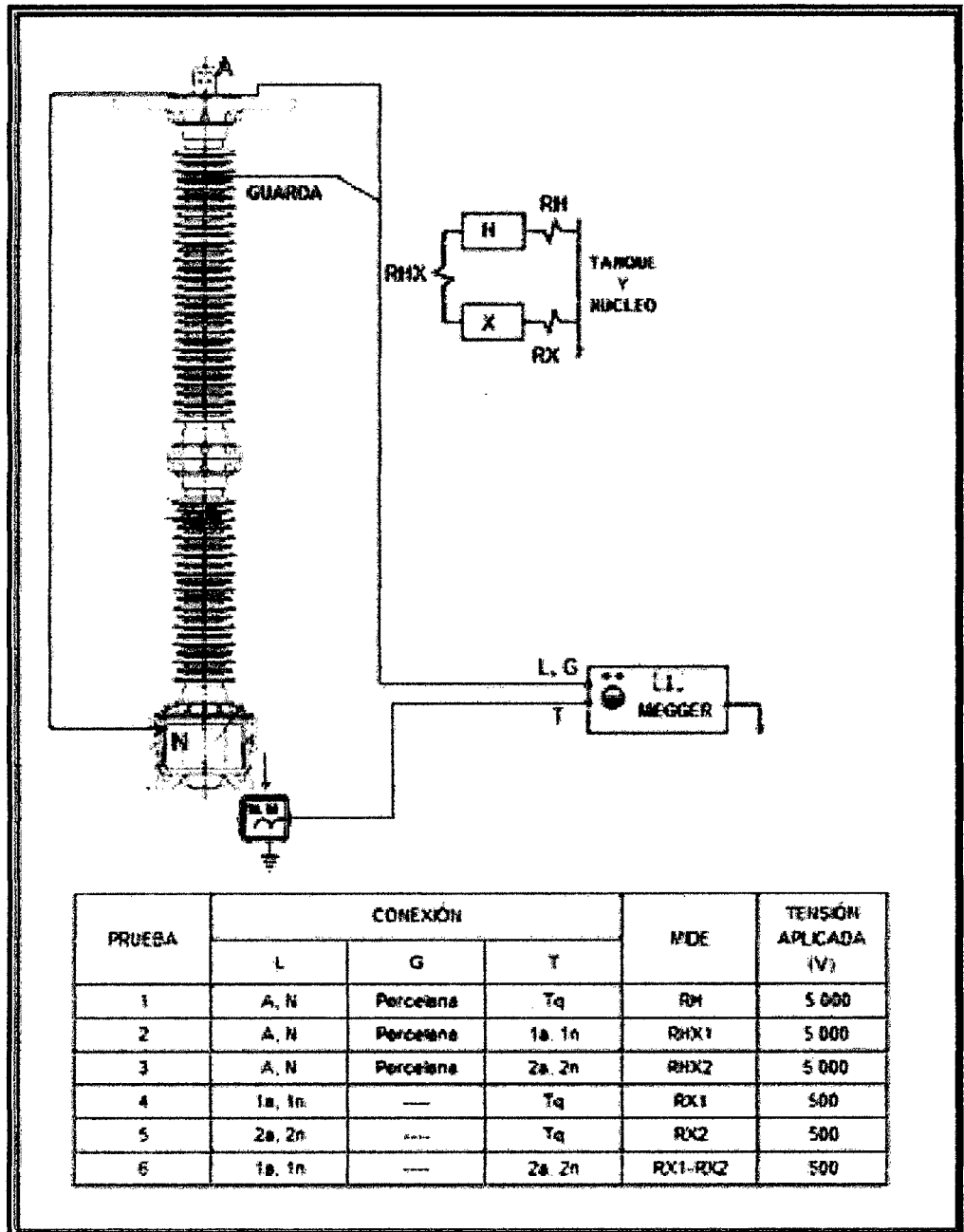


Fig. 60 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Transformador de Tensión Capacitivo

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.3.4.1.3 Valores esperados

Valor de resistencia de aislamiento $\geq 5\ 000\ \text{M}\Omega$, para tensiones de pruebas $\geq 5\ 000\ \text{Vcc}$. El valor de resistencia de aislamiento $\geq 100\ \text{M}\Omega$, para tensiones de pruebas hasta $1\ 000\ \text{Vcc}$, según ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5. Las medidas obtenidas serán referidas a $20\ ^\circ\ \text{C}$.

TABLE 100.5

**Transformer Insulation Resistance
Acceptance Testing**

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

In the absence of consensus standards, the NETA Standards Review Council suggests the above representative values.

See Table 100.14 for temperature correction factors.

NOTE: Since insulation resistance depends on insulation rating (kV) and winding capacity (kVA), values obtained should be compared to manufacturer's published data.

Ver numeral 4.1.4.1.3, los detalles de la tabla 100.14 (factores de corrección por temperatura) de la norma ANSI/NETA TS-2009.

4.3.4.1.4 Valores medidos

En la tabla 67 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de tensión.

Tabla 67: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en transformador de tensión

Medida entre	Alta – masa	Alta – 1a	Alta – 2a	Promedio (5000 Vcc)	1a -masa	2a - masa	1a– 2a	Promedio (500 Vcc)
Tensión prueba Vcc. Tiempo 60 s	5 000	5 000	5 000	14.4	500	500	500	36.6
Medido (GΩ)	12.0	29.0	2.1	14.4	4.2	43.5	62.0	36.6
@ 20 ° C (GΩ)	12.0	29.0	2.1	14.4	4.2	43.5	62.0	36.6
Resultado de la prueba:	Aceptable X				No aceptable			
Observación:								

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 68 y figura 61 se muestran las medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento para transformador de tensión.

Tabla 68: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento para transformador de tensión

Valores	Números de TT	
	Primario (5000Vcc)	Secundario (500 Vcc)
T=23°C, HR=56%	14.4	36.6
T=24°C, HR=55%	24.3	45.0
T=26°C, HR=53%	33.1	49.5

Fuente: Elaboración Propia

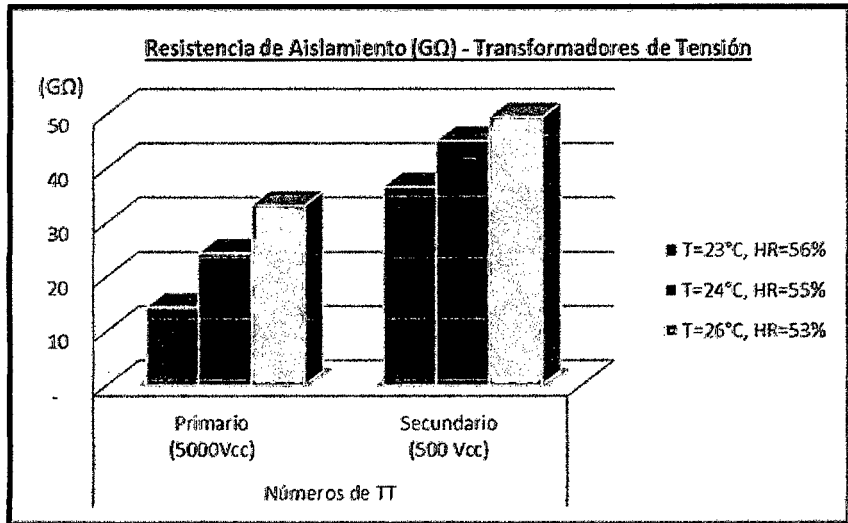


Fig. 61: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento para transformador de tensión

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que mientras la temperatura aumenta y la humedad relativa del medio ambiente decae, la resistencia de aislamiento tanto en el núcleo del lado del primario como los devanados del lado del secundario del transformador de tensión aumentan, es decir en un $\Delta T=3^{\circ}\text{C}$ y $\Delta HR= - 3\%$ crece aproximadamente en 2 veces (primario-alta tensión) y 1.3 veces (secundario-baja tensión) su nivel de aislamiento inicial.

4.3.4.2 Factor de Potencia de Aislamiento

4.3.4.2.1 Datos Generales

Tabla 69: Factor de potencia de aislamiento – Transformador de tensión

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de inyección	OMICRON / CPC100	6C815K / CJ2896	05-09-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 59 HR final (%): 59	Tº inicial: 23 ° C Tº final: 23 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 05-09-12 Hora prueba: 11:43:35

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.3.4.2.2 Lineamientos en prueba de factor de potencia en transformadores de tensión

En esta prueba se debe suministrar una tensión de 10 KV_{AC} para la parte capacitiva principal e intermedia, excepto para la parte capacitiva inferior que se debe suministrar una tensión de 2 KV_{AC}. Esta medición tiene como objeto medir las pérdidas de potencia producto de efecto capacitivo (parte activa) y el efecto resistivo (parte no activa), cuando nos referimos a la parte activa nos referimos al aceite dieléctrico, bobinado inductivo, etc., por otro lado la parte no activa se refiere por ejemplo a la porcelana y otros elementos que conforman parte del aislamiento del transformador de tensión, la medición de esta prueba se da en Mili-Vatios (mW).

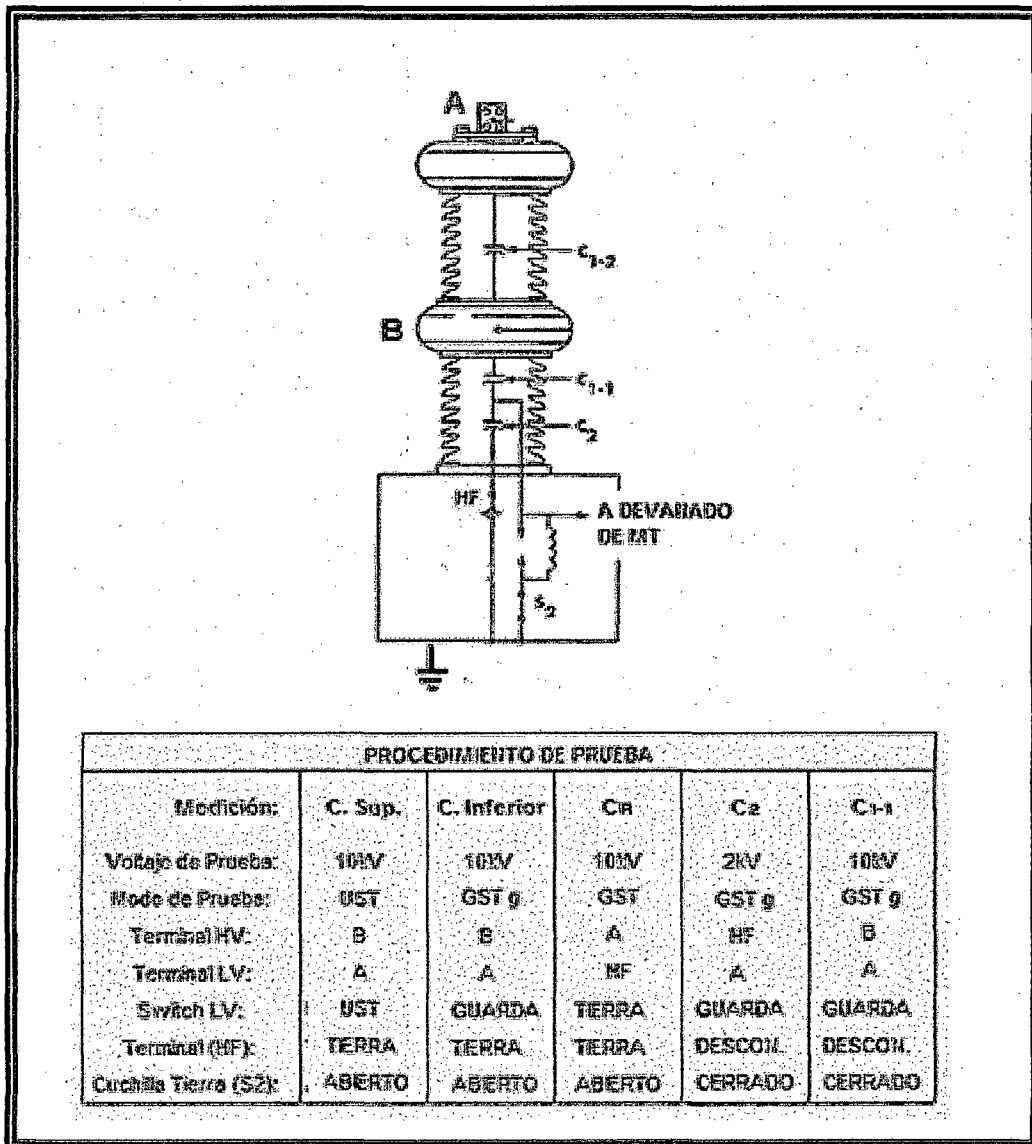


Fig. 62 Conexión para Factor de Potencia de Aislamiento - Transformador de Tensión Capacitivo

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMM Ingenieros Ltda.

4.3.4.2.3 Valores esperados

El factor de disipación ($\tan\delta$) medido deberá tener un valor $\leq 0,5\%$, según IEEE C57.13. El valor de la capacitancia C_p no debe variar en un rango mayor a $\pm 5\%$ del valor dado de las pruebas FAT, según IEC 60044-5.

5.1.2.4 Capacitance and dielectric dissipation factor

These requirements apply only to transformers with liquid immersed primary winding insulation having $U_m \geq 72,5$ kV.

The values of capacitance and dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) shall be referred to the rated frequency and to a voltage level in the range from 10 kV to $U_m / \sqrt{3}$.

NOTE 1 The purpose is to check the uniformity of the production. Limits for the permissible variations may be the subject of an agreement between manufacturer and purchaser.

NOTE 2 The dielectric dissipation factor is dependent on the insulation design, and on both voltage and temperature. Its value at $U_m / \sqrt{3}$ and ambient temperature normally does not exceed 0,005.

4.3.4.2.4 Valores medidos

En la tabla 70 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformador de tensión capacitivo.

Tabla 70: Medidas a considerar en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformador de tensión

Aislamiento a medir (Modo prueba)	Tensión prueba (kV)	Frec. (Hz)	I (mA)	Watts (mW)	DF (%)		Cp (pF)	
					Sitio	Sitio	Sitio	Sitio
C. Sup.(UST)	1	60	45.505	-	0.063		12072	
C. Inf. (GSTg)	1	60	45.405	-	0.068		12044	
C. Total (CR) (GST)	1	60	23.054	-	0.198		6113	
C2 (GSTg)	2	-	-	-	-		-	-
C1-1 (GSTg)	1	-	-	-	-		-	-
Reporte de pruebas emitido por equipo digital:				Aplica	X	No aplica		
Resultado de la prueba:				Aceptable	X	No aceptable		
Observación:								

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 71 y figura 63 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia (%) en transformador de tensión.

Tabla 71: Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformador de tensión

Variables	Números de TT Tg δ (%)
T=23°C, HR=59%	0.198
T=29°C, HR=49%	0.108
T=34°C, HR=40%	0.099
T=37°C, HR=36%	0.085
T=37°C, HR=36%	0.085

Fuente: Elaboración Propia

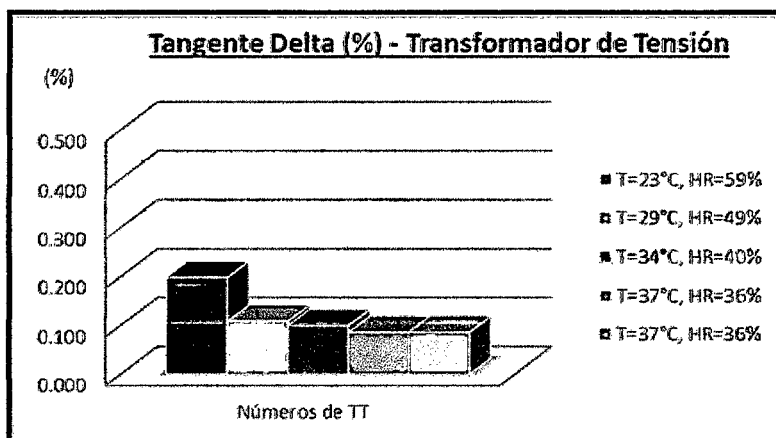


Fig. 63 Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformador de tensión

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que los resultados de tangente delta (%) en transformadores de tensión disminuyeron aproximadamente en un 230% para un incremento de temperatura de 14°C y disminución de humedad relativa de 23%.

Ello demuestra teóricamente lo siguiente:

$$Tg \delta = \frac{1}{2 * \pi * f * C * R},$$

a medida que aumentó la temperatura y la humedad relativa disminuyó (la resistencia se hizo mayor) por lo tanto el valor de tangente delta decreció.

4.3.4.3 Relación de Transformación y Polaridad

4.3.4.3.1 Datos Generales

Tabla 72: Relación de Transformación y Polaridad - Transformador de Tensión

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo Multifunción	OMICRON / CPC100	6C815K	05-09-11
Fecha de prueba: 05-09-12		Hora de prueba: 11:05:09	

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.3.4.3.2 Lineamientos para prueba de relación de transformación y polaridad en transformador de tensión

En esta prueba se debe suministrar una tensión de 1000 V_{DC} en el lado primario del transformador de tensión y se debe medir en el lado del secundario una tensión multiplicada por su relación de transformación del equipo.

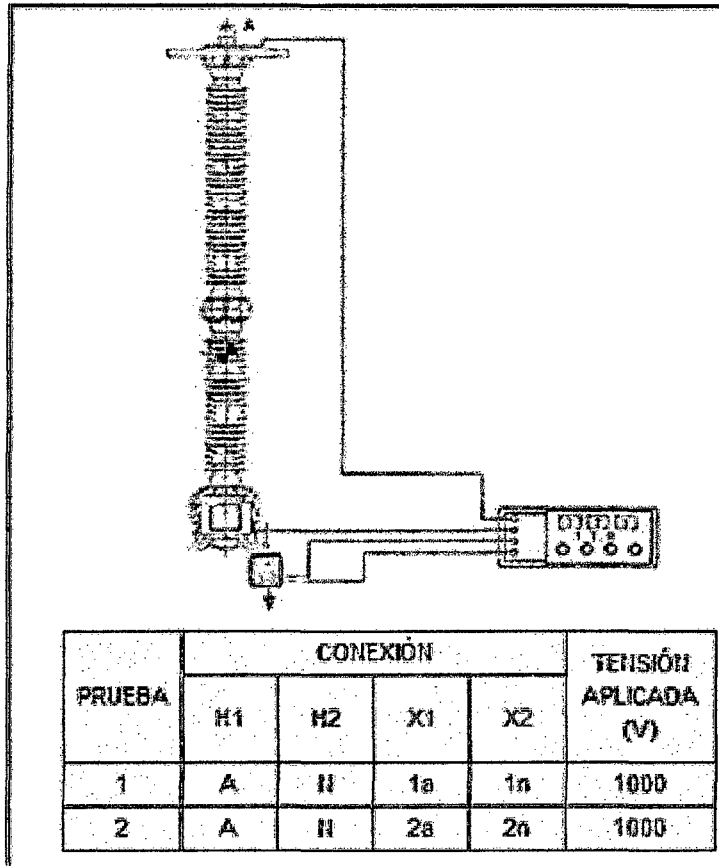


Fig. 64 Conexión para Relación de Transformación y Polaridad- Transformador de Tensión Capacitivo

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.3.4.3.3 Valores esperados

El límite de error de tensión y desplazamiento angular deben cumplir con lo indicado en la Norma Internacional IEC 61869 – 5, Tabla 501 para núcleos de medida y Tabla 502 para núcleos de protección.

Accuracy class	Voltage (ratio) error ϵ_u ± %	Phase displacement $\Delta\phi$	
		± Minutes	± Centiradians
0,2	0,2	10	0,3
0,5	0,5	20	0,6
1,0	1,0	40	1,2
3,0	3,0	Not specified	Not specified

Protection classes	% of rated voltage															
	2				5				100				X			
	Voltage (ratio) error ϵ_u ± %				Phase displacement, $\Delta\phi$ ± Minutes				Phase displacement, $\Delta\phi$ ± Centiradians							
3P	6,0	3,0	3,0	3,0	240	120	120	120	7,0	3,5	3,5	3,5				
6P	12,0	6,0	6,0	6,0	480	240	240	240	14,0	7,0	7,0	7,0				

NOTE X = $F_V \cdot 100$ (rated voltage factor multiplied by 100).

4.3.4.3.4 Valores medidos

En la tabla 73 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de relación de transformación y polaridad en transformador de tensión.

Tabla 73: Medidas a Considerar en la Prueba de Relación de Transformación y Polaridad en Transformador de Tensión

Núcleo N°	Relación medida		Error (%)	Desfase (°)	Polaridad
	Teórico	Sitio			
1a-1n	110	110.22/√3	-0.20	0.27	CORRECTA
2a-2n	110	110.21/√3	-0.19	0.24	CORRECTA
Reporte de pruebas emitido por equipo digital			Aplica	X	No aplica
Resultado de la prueba:			Acceptable	X	No aceptable
Observación:					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 74 y figura 65 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformador de tensión

Tabla 74: Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformador de tensión

Valores	Voltaje Medido /√3 (V)	Error (%)
TT1	110.22	0.20
TT2	110.21	0.19
TT3	110.14	0.13
Valor Teórico	110.00	-
TT4	110.17	0.16
TT5	110.13	0.10
TT6	110.12	0.12

Fuente: Elaboración Propia

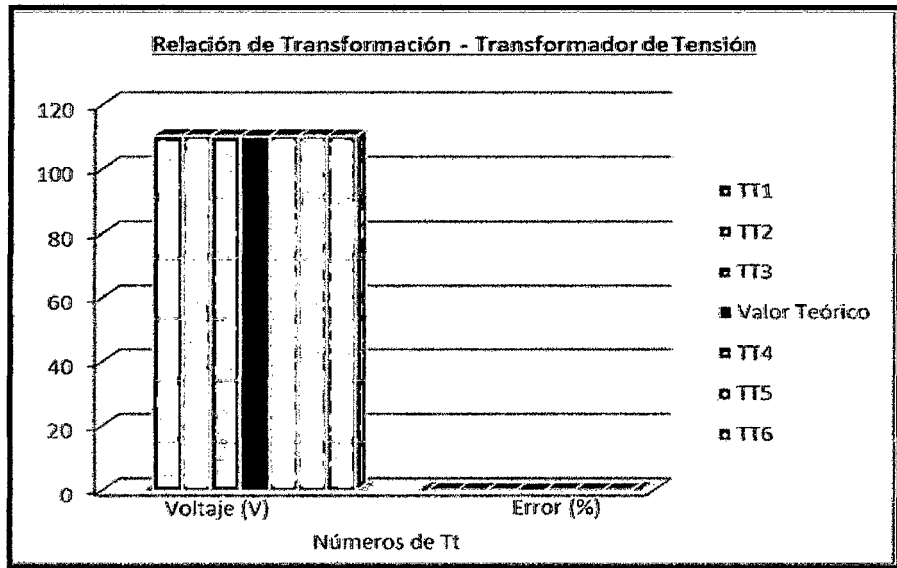


Fig. 65 Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformador de tensión

Fuente: Elaboración Propia

4.4 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

4.4.1 PARTES FÍSICAS

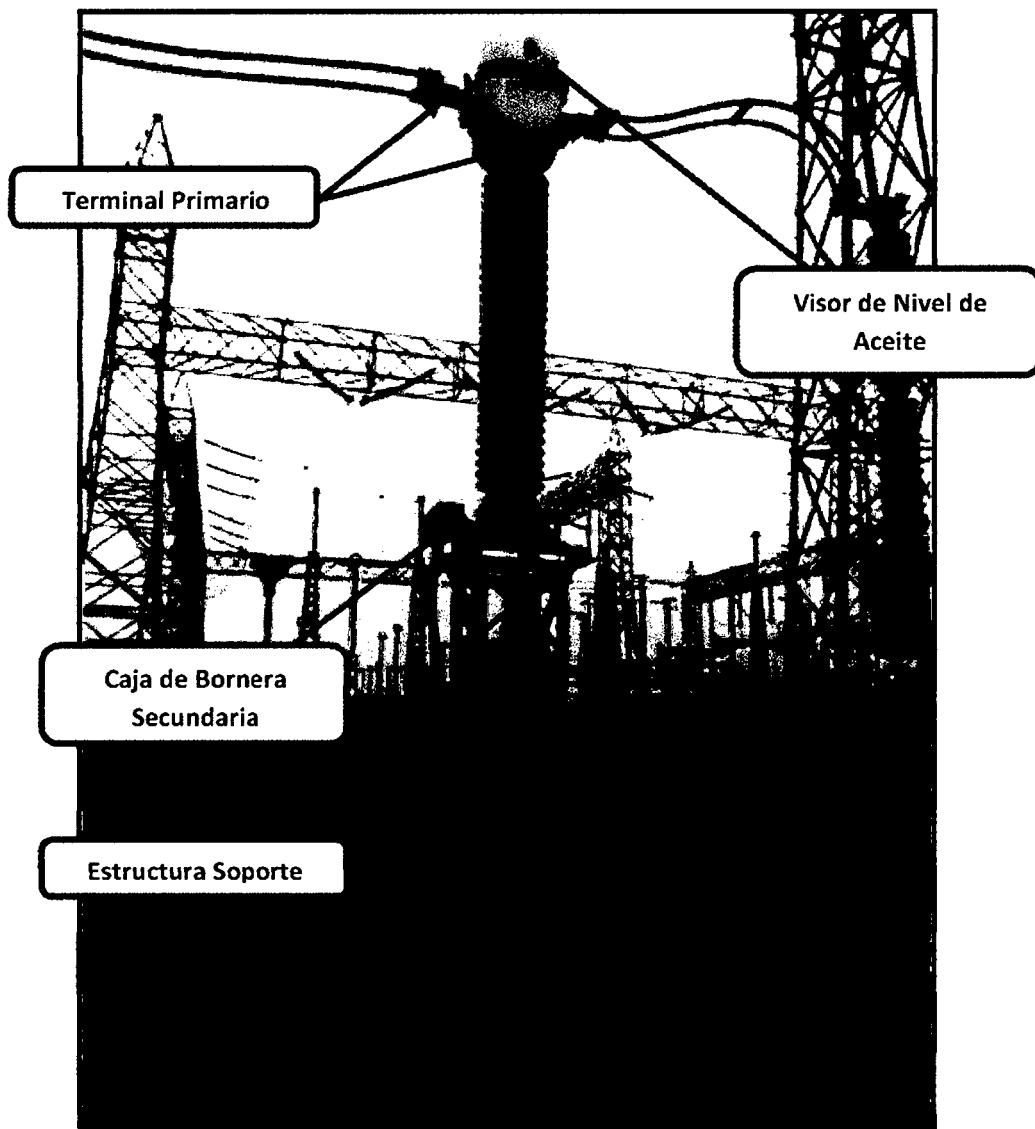


Fig. 66 Transformador de Corriente en 220 kV

Fuente: Elaboración Propia

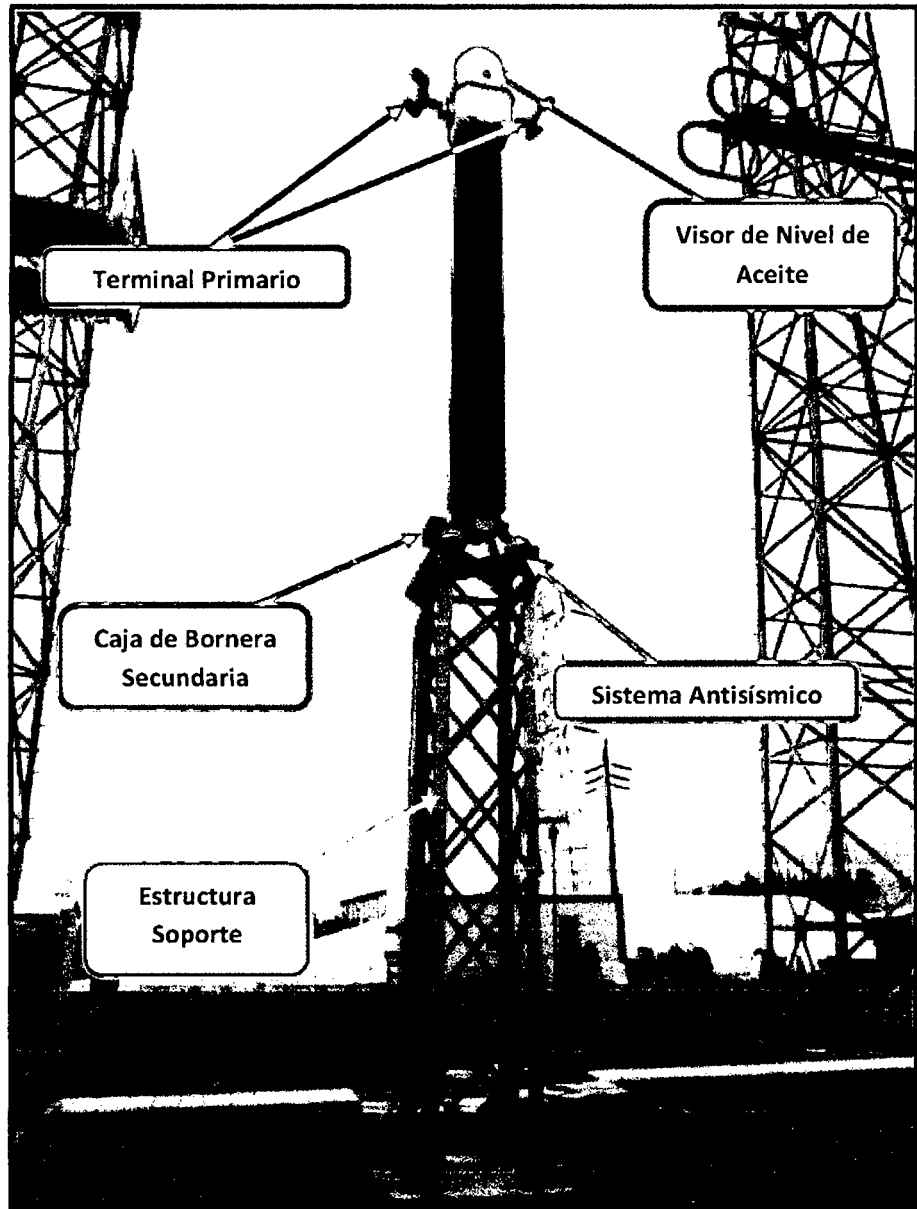


Fig. 67 Transformador de Corriente en 500 kV

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Para efectos prácticos, se tomará como modelo de desarrollo y explicación los transformadores de corriente en 500 kV (más complejos). Cabe indicar que los criterios a considerar son similares para equipos de diferentes niveles de tensión (ejemplo: 60 kV, 138 kV y 220 kV).

Previo a la realización de las pruebas individuales se debe anotar las características técnicas del equipo (visualizada en la placa característica), se muestra la información técnica a considerar:

Tabla 75: Descripción Técnica del Transformador de Corriente

Fabricante: ARTECHE										Tipo: CA - 525									
Norma: IEC - 60044 - 1										Año: 2011									
Tensión nominal del equipo U_r (kV): 550										Frecuencia nominal (Hz): 60									
Tensión soportada al impulso tipo rayo U_p (kV): 1550										Tensión soportada al impulso tipo maniobra U_s (kV):									
Corriente nominal primaria I_{pn} (A): 1000 – 2000										Corriente nominal secundaria I_{sn} (A): 1									
Intensidad dinámica I_{din} (kA): 104										Intensidad térmica de cortocircuito I_{th} (kA): 40									
Borne	Núcleo Nº	1			2			3			4			5			6		
	Relación	CI	VA	FS	CI	VA	FS	CI	VA	FS	CI	VA	FS	CI	VA	FS	CI	VA	FS
S1-S2	1000/1 A	0.2	5	10	0.2	5	10	5P	10	20	5P	10	20	5P	10	20	5P	10	20
S1-S3	2000/1 A	0.2	5	10	0.2	5	10	5P	10	20	5P	10	20	5P	10	20	5P	10	20

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

Donde:

CI (Clase), VA (Potencia) y FS (Factor de Seguridad)

4.4.3 INSPECCIÓN GENERAL

Adicionalmente a lo anterior, es de gran importancia realizar una inspección general sobre el estado físico (mecánico) del equipo, la información a considerar es la siguiente:

Tabla 76: Inspección General del Transformador de Corriente

Verificación	Datos
Nº de serie equipo	1082340 / 5
Estado de las conexiones a tierra (estructura y gabinete)	OK
Estado de la porcelana aislante; limpia y libre de material extraño	OK
Estado del galvanizado y pintura de las estructuras	OK
Estado de los terminales de alta tensión, orientación correcta de la polaridad del equipo P1 y P2, según ingeniería	OK
Verificación visual de estanqueidad o hermeticidad	OK

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.4.4 PRUEBAS INDIVIDUALES

4.4.4.1 Resistencia de Aislamiento

4.4.4.1.1 Datos Generales

Tabla 77: Resistencia de aislamiento – Transformador de corriente

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megóhmetro	FLUKE / 1555	174 2004	13-07-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 52 HR final (%): 52	Tº inicial: 24 ° C Tº final: 24 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 03-09-12 Hora prueba: 10:00

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.4.4.1.2 Lineamientos para prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente

Esta prueba se realiza inyectándose una Tensión de 5000 V_{DC}, durante un tiempo de 60 seg. Esta medición tiene como objeto medir el nivel de aislamiento o megado en el orden de los Giga-Ohmios (GΩ), desde Alta a Masa.

Por otra parte se debe inyectar una tensión de 500 VDC, durante el mismo tiempo anterior para medir el aislamiento (GΩ) de Baja a Masa.

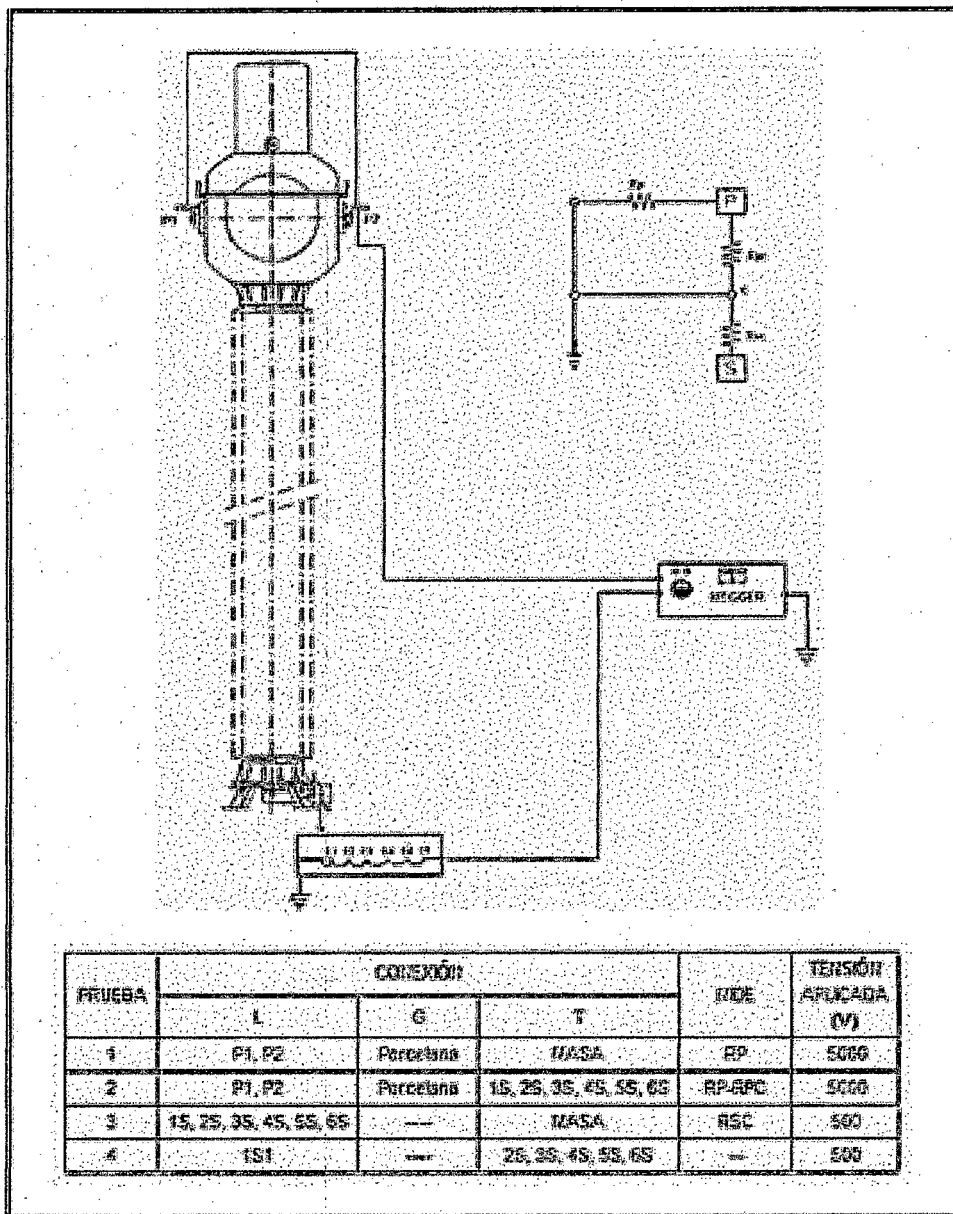


Fig. 68 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Transformador de Corriente en 500 kV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.4.4.1.3 Valores esperados

Valor de resistencia de aislamiento $\geq 5\ 000\ \text{M}\Omega$, para tensiones de pruebas $\geq 5\ 000\ \text{V}_{\text{cc}}$. El valor de resistencia de aislamiento $\geq 100\ \text{M}\Omega$, para tensiones de pruebas hasta $1\ 000\ \text{V}_{\text{cc}}$, según ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5. Las medidas obtenidas serán referidas a $20\ ^\circ\ \text{C}$.

TABLE 100.5

Transformer Insulation Resistance Acceptance Testing

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

In the absence of consensus standards, the NETA Standards Review Council suggests the above representative values.

See Table 100.14 for temperature correction factors.

NOTE: Since insulation resistance depends on insulation rating (kV) and winding capacity (kVA), values obtained should be compared to manufacturer's published data.

Ver numeral 4.1.4.1.3, los detalles de la tabla 100.14 (factores de corrección por temperatura) de la norma ANSI/NETA TS-2009.

4.4.4.1.4 Valores medidos

En la tabla 78 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente.

Tabla 78: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en transformador de corriente

Medida entre	Alta – masa	Alta – 1S1	Alta – 2S1	Alta – 3S1	Alta – 4S1	Alta – 5S1	Promedio (5 000 Vcc)
Tensión de prueba Vcc. Tiempo 60 s	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	
Medido (GΩ)	4.23	25.6	29.8	31.0	27.5	27.5	20.3
@ 20 °C (GΩ)	4.23	25.6	29.8	31.0	27.5	27.5	20.3

Medida entre	Alta – 6S1	1S1 – masa	2S1 – masa	3S1 – masa	4S1 – masa	5S1 – masa
Tensión de prueba Vcc. Tiempo 60 s	500	500	500	500	500	500
Medido (GΩ)	26.0	137.0	124.0	124.0	138.0	120.0
@ 20 °C (GΩ)	26.0	137.0	124.0	124.0	138.0	120.0

Medida entre	6S1 – masa	1S1 – 2S1	1S1 – 3S1	1S1 – 4S1	1S1 – 5S1	1S1 – 6S1
Tensión de prueba Vcc. Tiempo 60 s	500	500	500	500	500	500
Medido (GΩ)	129.0	192.0	230.0	250.0	240.0	204.0
@ 20 °C (GΩ)	129.0	192.0	230.0	250.0	240.0	204.0

Medida entre	2S1 – 3S1	2S1 – 4S1	2S1 – 5S1	2S1 – 6S1	3S1 – 4S1	3S1 – 5S1
Tensión de prueba Vcc. Tiempo 60 s	500	500	500	500	500	500
Medido (GΩ)	225.0	218.0	260.0	236.0	225.0	257.0
@ 20 °C (GΩ)	225.0	218.0	260.0	236.0	225.0	257.0

Medida entre	3S1 – 6S1	4S1 – 5S1	4S1 – 6S1	5S1 – 6S1	Promedio (500 Vcc)
Tensión de prueba Vcc. Tiempo 60 s	500	500	500	500	
Medido (GΩ)	217.0	240.0	204.0	217.0	194.1
@ 20 °C (GΩ)	217.0	240.0	204.0	217.0	194.1

Reporte de pruebas emitido por equipo digital:	Aplica X	No aplica
Resultado de la prueba:	Aceptable X	No aceptable
Observación:		

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 79 y figura 69 se muestra las medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente.

Tabla 79: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente

Valores	Números de TC	
	Primario (5000Vcc)	Secundario (500 Vcc)
T=24°C, HR=52%	20.3	194.1
T=26°C, HR=50%	26.5	386.5
T=29°C, HR=48%	35.2	553.5

Fuente: Elaboración Propia

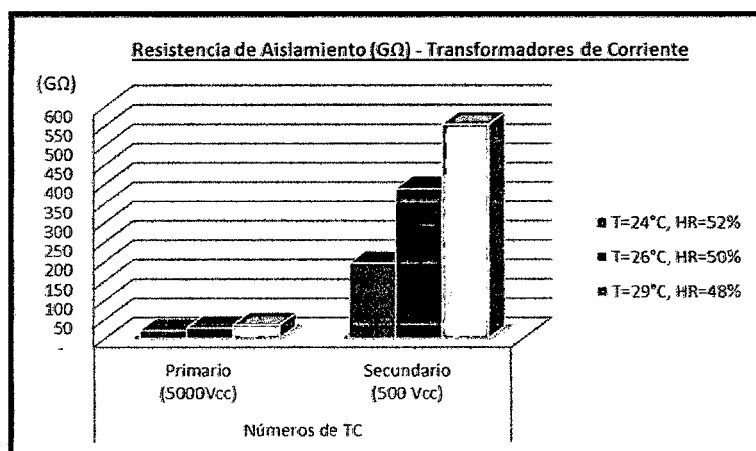


Fig. 69 Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en transformadores de corriente

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que mientras la temperatura aumenta y la humedad relativa del medio ambiente decae, la resistencia de aislamiento tanto en el núcleo del lado del primario como los devanados del lado del secundario del transformador de corriente aumentan.

Es decir en un $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ y $\Delta HR= - 4\%$ crece aproximadamente en 2 veces (primario-alta tensión) y 3

veces (secundario-baja tensión) su nivel de aislamiento inicial.

4.4.4.2 Factor de Potencia de Aislamiento

4.4.4.2.1 Datos Generales

Tabla 80: Factor de potencia de aislamiento – Transformador de corriente

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de inyección	OMICRON / CPC + TD	6C815K / CJ289C	05-09-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 45 HR final (%): 45	Tº inicial: 35 ° C Tº final: 35 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 30-10-12 Hora prueba: 10:44:43

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.4.4.2.2 Lineamientos en prueba de factor de potencia de aislamiento

En esta prueba se debe suministrar una Tensión de 10 KV_{AC}. Esta medición tiene como objeto medir las pérdidas de potencia producto de efecto capacitivo (parte activa) y el efecto resistivo (parte no activa), cuando nos referimos a la parte activa nos referimos al aceite dieléctrico, bobinado inductivo, etc., por otro lado la parte no activa se refiere por ejemplo a la porcelana y otros elementos que conforman parte del aislamiento del transformador de tensión, la medición de esta prueba se da en Mili-Vatios (mW).

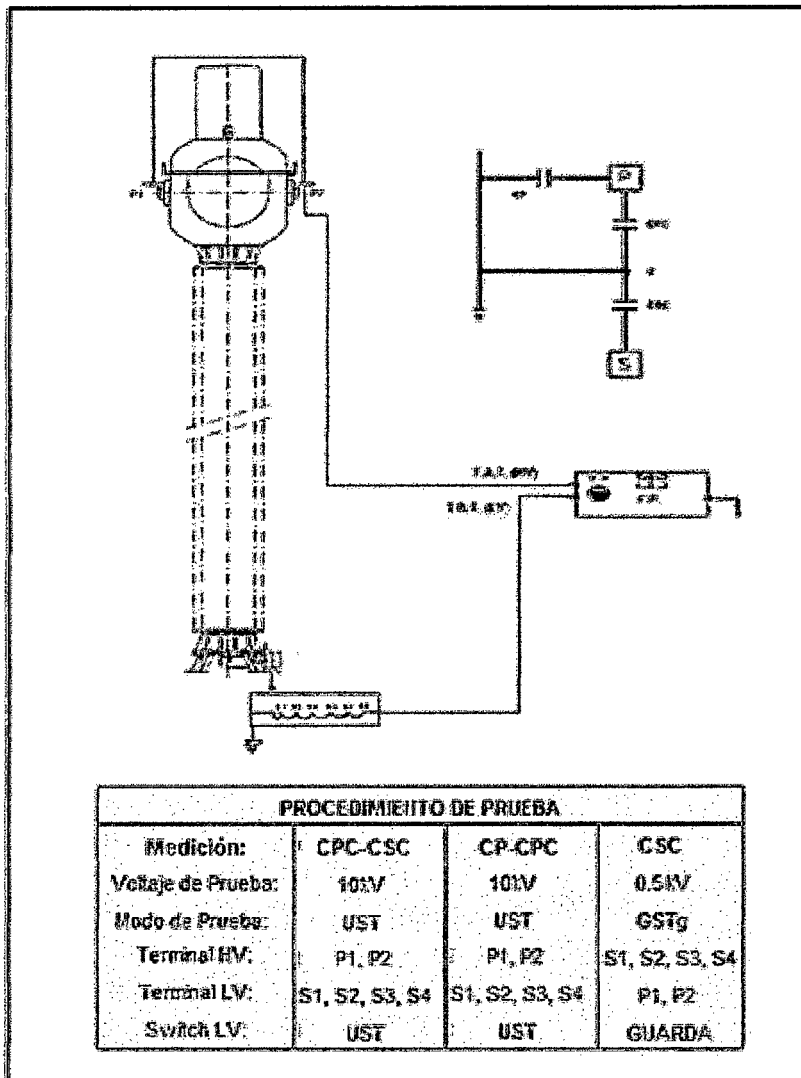


Fig. 70 Conexión para Factor de Potencia de Aislamiento - Transformador de Corriente

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.4.4.2.3 Valores esperados

El factor de disipación ($\tan \delta$) medido no deberá tener un valor $\leq 0.5\%$ y la capacitancia C_p no debe variar en un rango mayor $\pm 5\%$, comparados con valores de fábrica, según IEC 60044-1.

5.1.2.4 Capacitance and dielectric dissipation factor

These requirements apply only to transformers with liquid immersed primary winding insulation having $U_m \geq 72,5$ kV.

The values of capacitance and dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) shall be referred to the rated frequency and to a voltage level in the range from 10 kV to $U_m / \sqrt{3}$.

NOTE 1 The purpose is to check the uniformity of the production. Limits for the permissible variations may be the subject of an agreement between manufacturer and purchaser.

NOTE 2 The dielectric dissipation factor is dependent on the insulation design, and on both voltage and temperature. Its value at $U_m / \sqrt{3}$ and ambient temperature normally does not exceed 0,005.

4.4.4.2.4 Valores medidos

En la tabla 81 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de factor de potencia de aislamiento en transformadores de corriente.

Tabla 81: Medidas a considerar en la prueba de Factor de Potencia de Aislamiento en Transformadores de Corriente

Aislamiento a medir (Modo prueba)	Tensión prueba (kV)	Frec. (Hz)	I (mA)	Watts (mW)	DF (%)		Cp (pF)	
					Fábrica	Sitio	Fábrica	Sitio
Alta - Baja	10	-	-	-	-	-	-	-
Alta - Masa	10	60	2.4084	-	0.23	0.333	551.0	635.58
Baja - Masa	0,5	-	-	-	-	-	-	-
Reporte de pruebas emitido por equipo digital:					Aplica	X	No aplica	
Resultado de la prueba:					Aceptable	X	No aceptable	
Observación: los ensayos de fábrica fueron realizados a la $f = 50$ Hz, diferente de la f del sistema peruano y de la f de operación del equipo.								

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 82 y figura 71 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia o tangente delta (%) en transformadores de corriente.

Tabla 82: Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia en transformadores de corriente

Variables	Números de TC Tg δ (%)
T=35°C, HR=45%	0.333
T=33°C, HR=46%	0.317
T=33°C, HR=49%	0.331
T=35°C, HR=45%	0.323
T=33°C, HR=48%	0.361
T=33°C, HR=46%	0.346

Fuente: Elaboración Propia

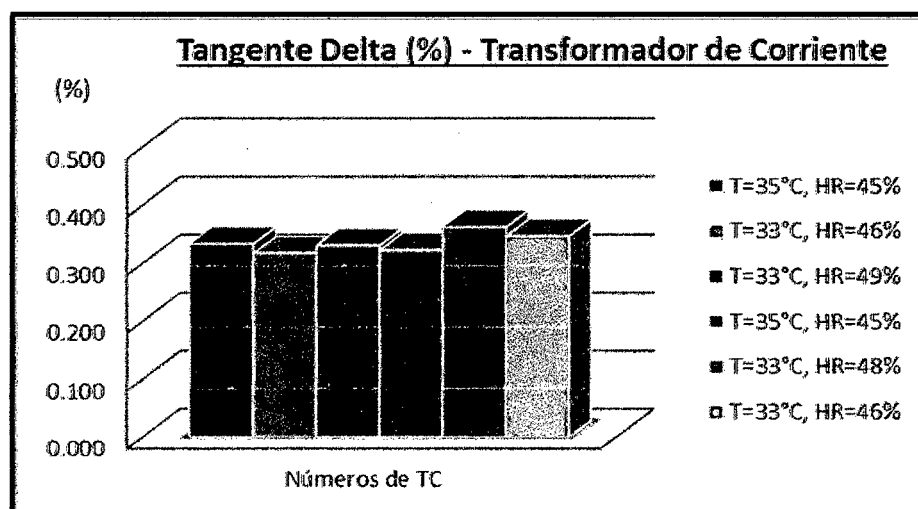


Fig. 71: Resultados obtenidos en la prueba de factor de potencia en transformadores de corriente

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que para variaciones de temperatura de 2°C y humedad relativa de 3% las variaciones de tangente delta difieren menos de un 14% entre su valor máximo (0.361%) y mínimo (0.317%).

4.4.4.3 Resistencia de Devanados Secundarios

4.4.4.3.1 Datos Generales

Tabla 83: Resistencia de devanados secundarios – transformador de corriente

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de inyección	OMICRON / CPC100	6C815K	05-03-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 59 HR final (%): 59	Tº inicial: 28 ° C Tº final: 28 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO ATARDECER	Fecha prueba: 21-08-12 Hora prueba: 17:16:14

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.4.4.3.2 Lineamientos para prueba de resistencia de devanados secundarios en transformadores de corriente

Con ayuda de un ohmímetro para baja resistencia se debe proceder a medir el aislamiento entre cada uno de los devanados secundarios del transformador de corriente, se debe tener en cuenta que el valor medido debe ser corregido a una temperatura de 75°C.

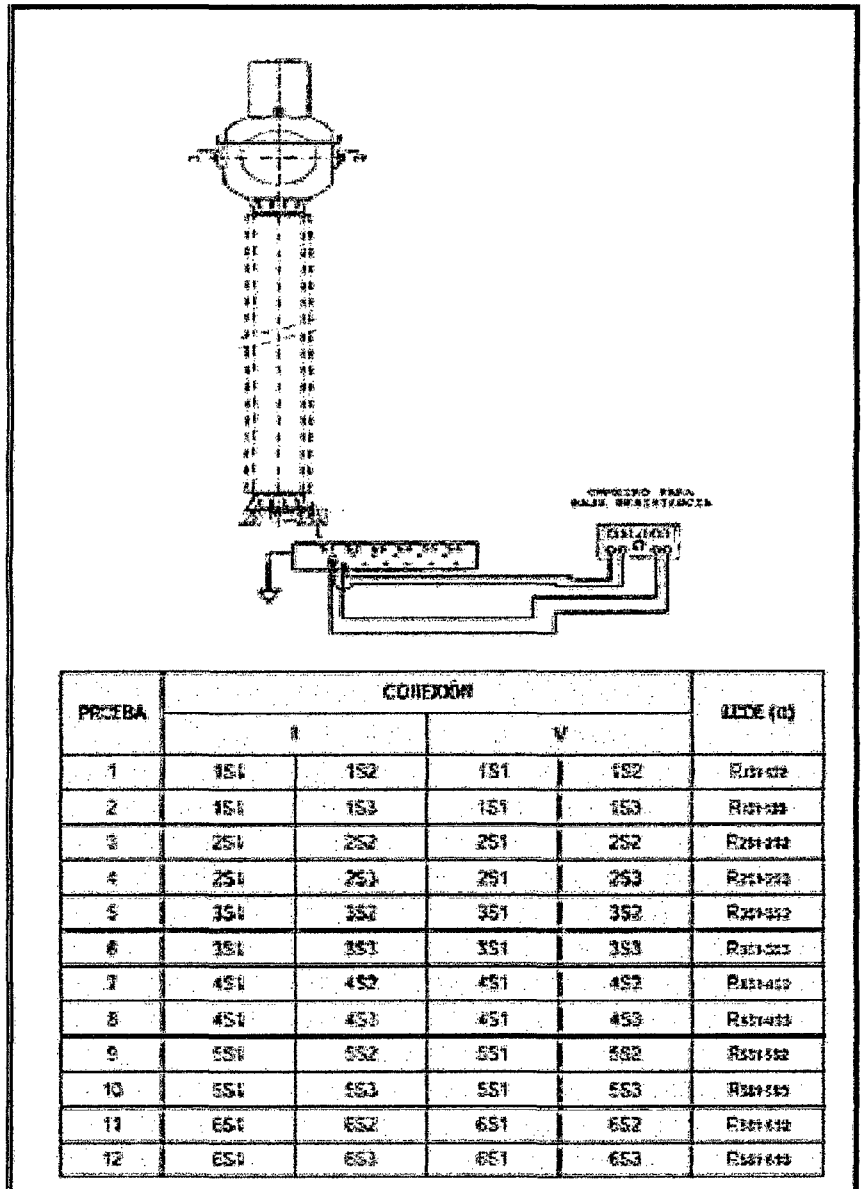


Fig. 72 Conexión para Resistencia de Devanados Secundarios - Transformador de Corriente

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.4.4.3.3 Valores esperados

Los valores obtenidos deberán ser referidos a 75 °C y guardarán similitud con los valores obtenidos en las pruebas FAT, según IEC 60044-1.

14.4.2 Secondary winding resistance (R_{ct})

The resistance of the complete secondary winding shall be measured. The value obtained when corrected to 75 °C shall not exceed the specified value.

4.4.4.3.4 Valores medidos

En la tabla 84 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de resistencia de devanados secundarios en transformadores de corriente.

Tabla 84: Medidas a considerar en la prueba de Resistencia de Devanados Secundarios del Transformador de Corriente

Medida entre	1S1-1S2	1S1-1S3	2S1-2S2	2S1-2S3	3S1-3S2	3S1-3S3
Corriente de prueba	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fábrica (Ω)	1.28	2.14	1.57	2.74	1.87	3.37
Sitio (Ω)	1.2237	2.0923	1.5190	2.6380	1.7939	3.2798
@ 75 °C (Ω)	1.4591	2.4947	1.8111	3.1454	2.1389	3.9105
Medida entre	4S1-4S2	4S1-4S3	5S1-5S2	5S1-5S3	6S1-6S2	6S1-6S3
Corriente de prueba	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Fábrica (Ω)	1.95	3.50	1.89	2.56	1.94	2.78
Sitio (Ω)	1.8589	3.3939	1.8406	3.3109	1.8718	3.3489
@ 75 °C (Ω)	2.2164	4.0466	2.1945	3.9477	2.2318	3.9929
Reporte de pruebas emitido por equipo digital:	Aplica X		No aplica			
Resultado de la prueba:	Aceptable X		No aceptable			
Observación:	_____					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 85 y figura 73 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de resistencia de devanados (Ω) en los transformadores de corriente.

Tabla 85: Resultados obtenidos en la prueba de resistencia de devanados en transformadores de corriente

Variables	Números de TC (Ω)
T=28°C, HR=59%	2.800
T=27°C, HR=49%	2.788
Valor de fábrica	2.741
T=26°C, HR=49%	2.695
T=24°C, HR=52%	2.626

Fuente: Elaboración Propia

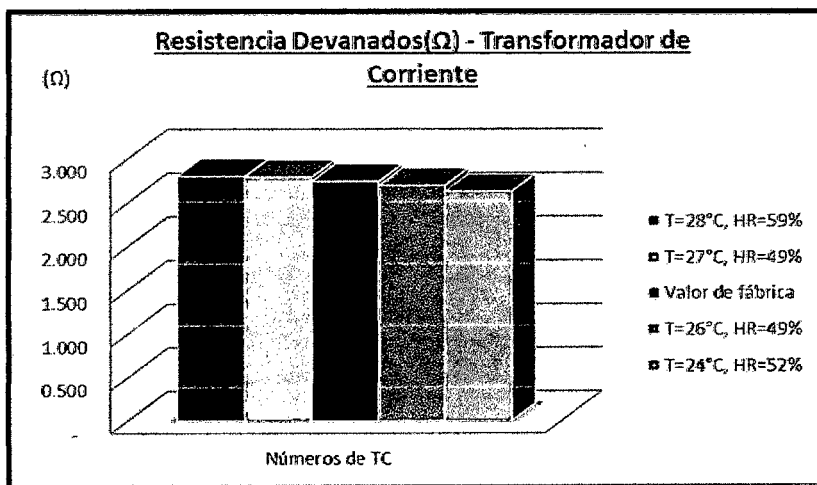


Fig. 73 Resultados obtenidos en la prueba de resistencia de devanados en transformadores de corriente

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que para una disminución de temperatura de 4°C, la resistencia de devanados disminuyó aproximadamente en un 7% de su valor inicial.

4.4.4.4 Relación de Transformación y Polaridad

4.4.4.4.1 Datos Generales

Tabla 86: Relación de transformación y polaridad – Transformador de corriente

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo multifunción	OMICRON / CPC100	6C815K	05-09-11
Fecha de prueba: 03-09-12		Hora de prueba: 16:44:10	

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.4.4.4.2 Lineamientos para prueba de relación de transformación y polaridad en transformadores de corriente

En esta prueba se debe inyectar una corriente continua del 10% de la corriente nominal (alta tensión) del transformador de corriente.

Por ejemplo si la relación de transformación es 2000-1000/1 A, se debe aplicar 200 A que es el 10% de 2000 A (Corriente primaria en la mayor relación de transformación).

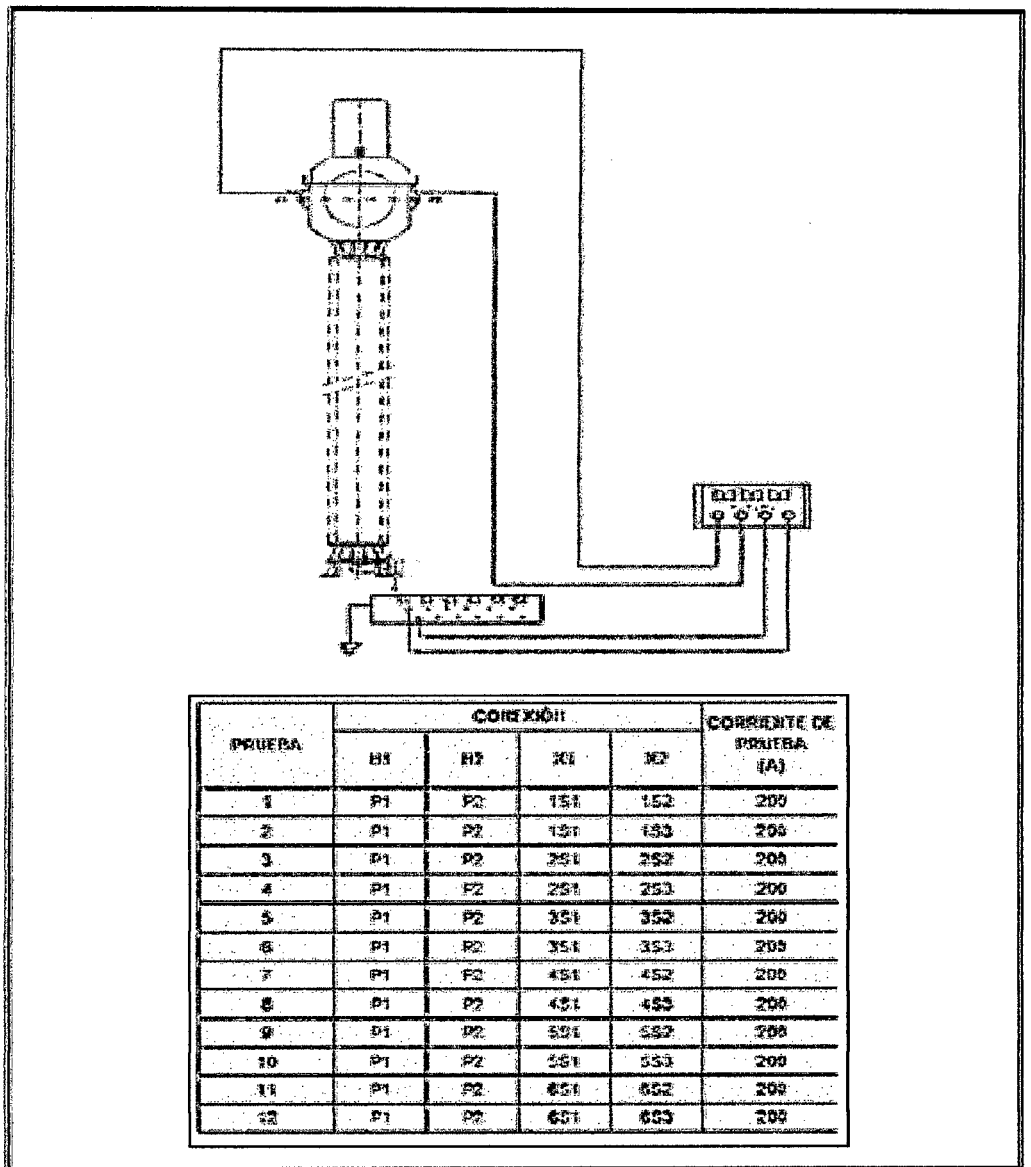


Fig. 74 Conexión para Relación de Transformación y Polaridad - Transformador de Corriente en 500 kV

Fuente: Adaptado de protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.4.4.4.3 Valores esperados

Según IEC 60044-1; tablas 11, 12 y 13 para núcleos de medida; y 14 y 15 para núcleos de protección.

Table 11 – Limits of current error and phase displacement for measuring current transformers (classes from 0.1 to 1)

Accuracy class	± Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below				± Phase displacement at percentage of rated current shown below							
					Minutes				Centiradians			
	5	20	100	120	5	20	100	120	5	20	100	120
0.1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0.2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10	0,9	0,45	0,3	0,3
0.5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9
1.0	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60	5,4	2,7	1,8	1,8

Table 12 – Limits of current error and phase displacement for measuring current transformers for special application

Accuracy class	± Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below					± Phase displacement at percentage of rated current shown below									
						Minutes					Centiradians				
	1	5	20	100	120	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	0,9	0,45	0,3	0,3	0,3
0.5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30	2,7	1,35	0,9	0,9	0,9

Table 13 – Limits of current error for measuring current transformers (classes 3 and 5)

Class	± Percentage current (ratio) error at percentage of rated current shown below	
	50	120
3	3	3
5	5	5

Table 14 – Limits of error for protective current transformers

Accuracy class	Current error at rated primary current %	Phase displacement at rated primary current		Composite error at rated accuracy limit primary current %
		minutes	centiradians	
5P	±1	±60	±1,8	5
10P	±3	–	–	10

Accuracy class	Current error at rated primary current %	Phase displacement at rated primary current		Composite error at rated accuracy limit primary current %
		Minutes	Centiradians	
5 PR	±1	±60	±1,8	5
10 PR	±3	–	–	10

4.4.4.4 Valores medidos

En la tabla 87 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de relación de transformación en transformadores de corriente.

Tabla 87: Medidas a considerar en la prueba de relación de transformación y polaridad en transformadores de corriente

Núcleo Nº	Relación medida		Desfase (º)	Error (%)	Polaridad
	Fábrica (teórico)	Sitio			
1S1 - 1S2	1.0000	1.0007	- 0.04	-0.07	CORRECTA
1S1 - 1S3	1.0000	1.0009	-0.13	-0.09	CORRECTA
2S1 - 2S2	1.0000	0.9998	-0.02	0.02	CORRECTA
2S1 - 2S3	1.0000	1.0007	-0.11	-0.07	CORRECTA
3S1 - 3S2	1.0000	0.9992	0.06	0.08	CORRECTA
3S1 - 3S3	1.0000	0.9997	-0.09	0.03	CORRECTA
4S1 - 4S2	1.0000	0.9989	0.03	0.11	CORRECTA
4S1 - 4S3	1.0000	1.0002	-0.12	-0.02	CORRECTA
5S1 - 5S3	1.0000	0.9991	0.02	0.09	CORRECTA
5S1 - 5S3	1.0000	0.9999	-0.08	0.01	CORRECTA
6S1 - 6S2	1.0000	0.9991	0.03	0.09	CORRECTA
6S1 - 6S3	1.0000	0.9999	-0.05	0.01	CORRECTA
Reporte de pruebas emitido por equipo digital:			Aplica X	No aplica	
Resultado de la prueba:			Acceptable X	No acceptable	
Observación: _____					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 88 y figura 75 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformadores de corriente.

Tabla 88: Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformadores de corriente

Valores	Corriente Medida (A)	Error (%)
TC (1S1 - 1S2)	1.0007	0.07
TC (1S1 - 1S3)	1.0009	0.09
TC (2S1 - 2S2)	0.9998	0.02
Valor Teórico	1.0000	-
TC (2S1 - 2S3)	1.0007	0.07
TC (3S1 - 3S2)	0.9992	0.08
TC (3S1 - 3S3)	0.9997	0.03

Fuente: Elaboración Propia

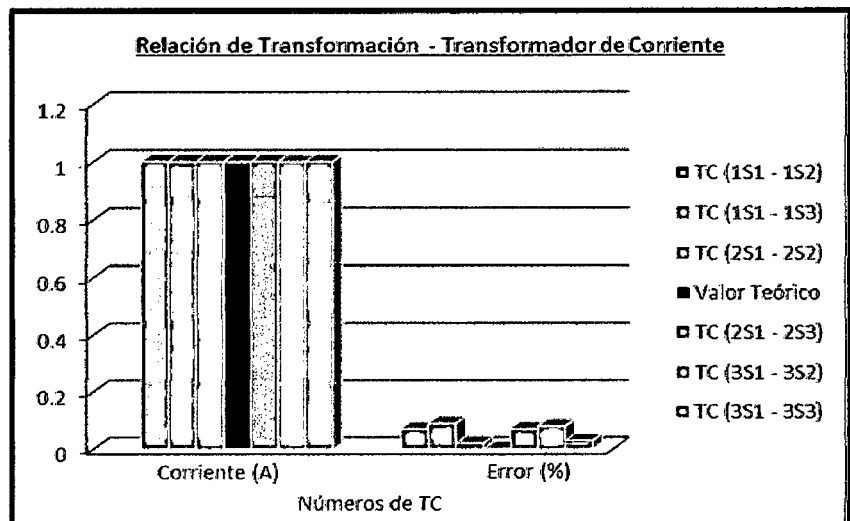


Fig. 75 Resultados obtenidos en la prueba de relación de transformación en transformadores de corriente

Fuente: Elaboración Propia

4.4.4.5 Curva de Saturación

4.4.4.5.1 Datos Generales

Tabla 89: Curva de saturación – Transformador de corriente

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de inyección	OMICRON / CPC100	6C815K	05-09-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 66 HR final (%): 66	Tº inicial: 22 ° C Tº final: 22 ° C	Condiciones ambientales: ATARDECER	Fecha prueba: 21-08-12 Hora prueba: 17:47:42

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.4.4.5.2 Consideraciones y Conexiones Eléctricas

Las conexiones eléctricas para la prueba de curva de saturación son similares a la prueba de relación de transformación (Ver Fig. 74).

4.4.4.5.3 Valores esperados

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

4.4.4.5.4 Valores medidos

En la tabla 90 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de curva de saturación en transformadores de corriente.

Tabla 90: Medidas a considerar en la prueba de curva de saturación del transformador de corriente

Núcleo	1				2				3			
	Bornes 1S1 - 1S2		1S1 - 1S3		2S1 - 2S2		2S1 - 2S3		3S1 - 3S2		3S1 - 3S3	
	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)
10	5.35	0.9890	15.17	0.627	11.33	1.3170	26.21	0.758	159.98	15.717	313.54	7.7900
9	6.39	1.1060	16.89	0.682	12.76	1.4530	28.68	0.811	171.44	16.510	336.67	8.2290
8	7.42	1.3520	18.60	0.734	14.20	1.5910	31.14	0.874	182.94	17.240	359.85	8.6610
7	8.46	1.3950	20.52	0.789	15.64	1.7410	33.59	0.937	194.37	17.874	382.97	9.0770
6	9.50	1.5700	22.04	0.856	17.08	1.8650	36.05	1.0080	205.88	18.450	406.08	9.4010
5	10.54	1.6760	23.77	0.916	18.49	2.0260	38.52	1.0090	217.32	19.073	429.26	9.6870
4	11.57	1.8490	25.48	1.0000	19.93	2.2200	40.97	1.1970	228.81	19.862	452.40	9.9660
3	12.62	1.9660	27.20	1.0760	21.36	2.4740	43.41	1.3240	240.25	20.845	475.54	10.339
2	13.65	2.2470	28.93	1.1940	22.79	2.8270	45.89	1.4890	251.65	22.149	498.64	10.826
1	14.69	2.6000	30.64	1.3800	24.21	3.3430	48.34	1.6960	263.08	23.882	521.68	11.512
Punto de Saturación	15.67	2.9510	31.06	1.4370	24.57	3.5290	49.18	1.7970	269.28	25.38	526.94	11.762

Núcleo	4				5				6				
	Bornes 4S1 - 4S2		4S1 - 4S3		5S1 - 5S2		5S1 - 5S3		6S1 - 6S2		6S1 - 6S3		
	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)	(V)	(mA)	
10	168.60	20.396	324.36	9.8730	171.17	17.090	321.60	8.2750	155.64	16.393	320.16	8.4110	
9	178.07	21.503	344.10	10.406	180.47	17.846	343.90	8.7380	166.82	17.242	342.35	8.8610	
8	187.48	22.729	362.82	10.989	189.76	18.622	366.23	9.1930	177.96	18.042	364.54	9.2990	
7	196.88	24.184	383.59	11.698	199.03	19.321	388.51	9.6130	189.11	18.784	386.71	9.7360	
6	206.28	25.940	403.25	12.557	208.55	19.955	410.80	9.9810	200.29	19.454	408.91	10.102	
5	215.66	28.002	422.95	13.552	217.64	20.577	433.06	10.359	211.43	20.166	431.14	10.435	
4	225.07	30.571	442.64	14.774	226.90	21.285	455.39	10.750	222.59	21.015	453.55	10.812	
3	234.45	33.758	462.25	16.283	236.22	22.138	477.70	11.248	233.74	22.063	475.50	11.277	
2	243.82	37.563	481.92	18.140	245.47	23.170	499.94	11.906	244.84	23.358	497.60	11.877	
1	253.16	42.226	501.52	20.440	254.70	24.482	522.11	12.835	255.96	25.047	519.76	12.724	
Punto de Saturación	255.53	43.663	510.21	21.697	262.36	25.992	524.80	13.012	262.78	26.564	524.88	13.026	
Resultado de la Prueba					Aceptable				X	No Aceptable			

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 91 y figura 76 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación (voltaje y corriente) en transformadores de corriente para núcleo de medición.

Tabla 91: Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de medición

Variables	Números de TC (Núcleo de Medida)	
	V (v)	I (mA)
T=17°C, HR=75%	15.75	2.98
T=22°C, HR=66%	15.67	2.95
Valor de Fábrica	15.50	3.00
T=26°C, HR=52%	15.50	2.85
T=30°C, HR=49%	13.97	2.49

Fuente: Elaboración Propia

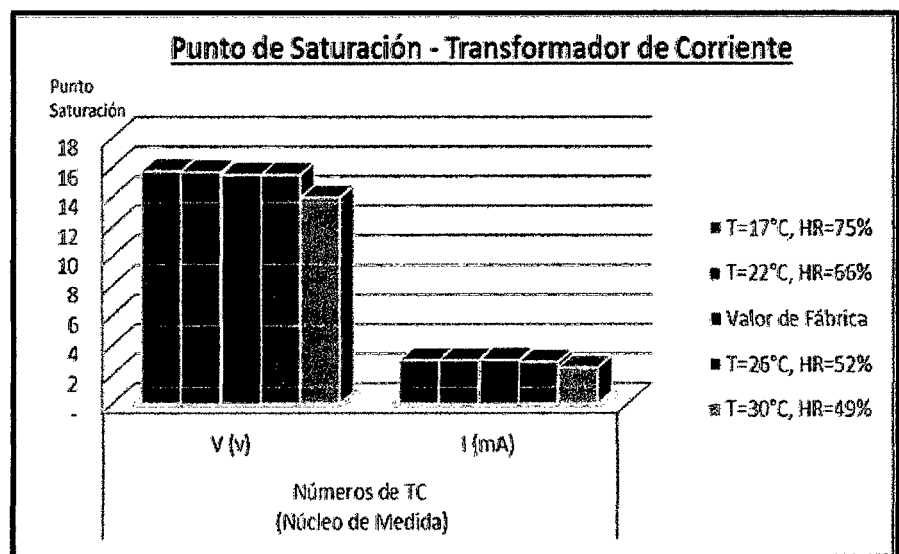


Fig. 76 Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de medición

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que para un aumento de temperatura de 13°C y disminución de humedad relativa de 16%, los valores obtenidos como punto de saturación en los núcleos de medida del transformador de corriente disminuyeron aproximadamente en un 12% y 17%, en tensión y corriente respectivamente de su valor inicial. Adicionalmente se

observa que las variaciones de los valores medidos en las pruebas SAT no exceden al 15% de las pruebas FAT.

En la tabla 92 y figura 77 se muestra los resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación (voltaje y corriente) en transformadores de corriente para núcleo de protección.

Tabla 92: Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de protección

Variables	Números de TC (Núcleo de Protección)	
	V (v)	I (mA)
T=17°C, HR=75%	270.08	25.80
T=22°C, HR=66%	269.28	25.38
Valor de Fábrica	258.62	25.00
T=26°C, HR=52%	263.26	24.25
T=30°C, HR=49%	260.86	23.92

Fuente: Elaboración Propia

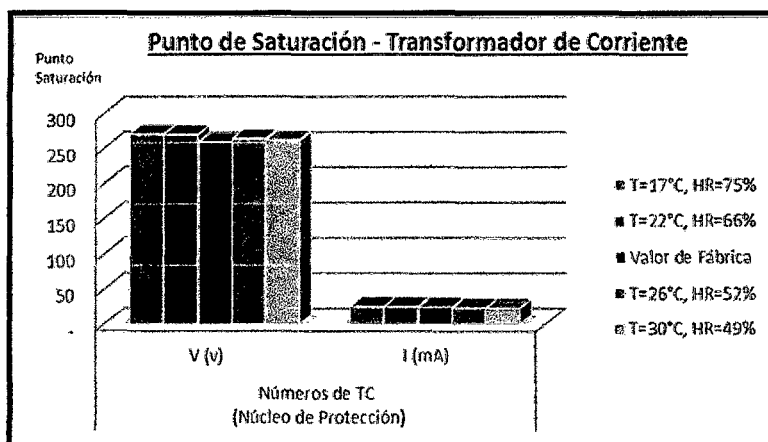


Fig. 77 Resultados obtenidos en la prueba de curva de saturación en transformador de corriente para núcleo de protección

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que para un aumento de temperatura de 13°C y disminución de humedad relativa de 16%, los valores obtenidos como punto de saturación en los núcleos de protección del transformador de corriente disminuyeron aproximadamente en un 3 % y 7%, en tensión y corriente respectivamente de su valor inicial. Adicionalmente se observa que las variaciones de los valores medidos en las pruebas SAT no exceden al 5% de las pruebas FAT.

4.5 PARARRAYOS

4.5.1 PARTES FÍSICAS

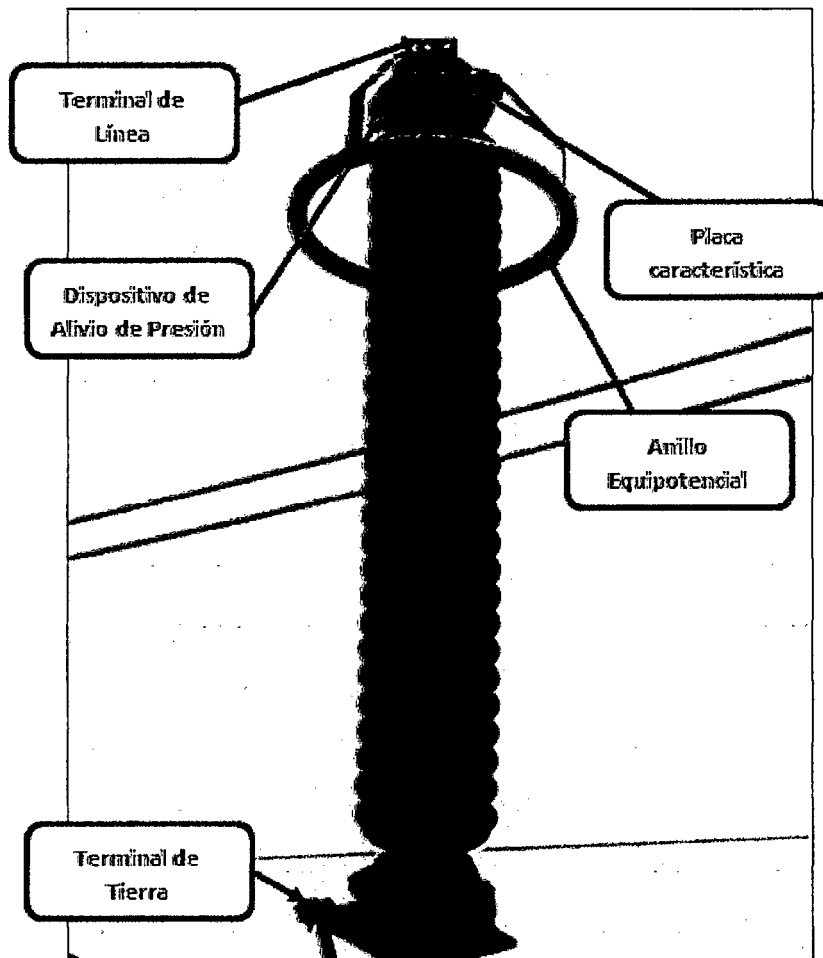


Fig. 78 Pararrayos en 220 kV

Fuente: Elaboración Propia

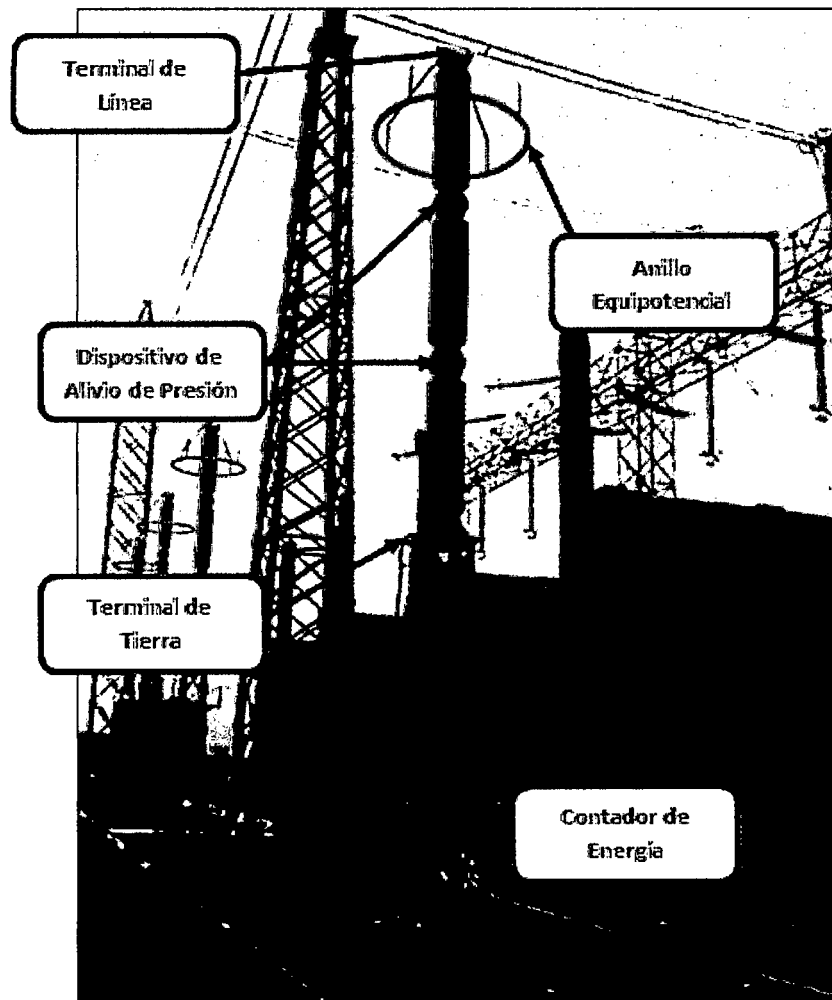


Fig. 79 Pararrayos en 500 kV

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Para efectos prácticos, se tomará como modelo de desarrollo y explicación los pararrayos en 500 kV (más complejos). Cabe indicar que los criterios a considerar son similares para equipos de diferentes niveles de tensión (ejemplo: 60 kV, 138 kV y 220 kV).

Previo a la realización de las pruebas individuales se debe anotar las características técnicas del equipo (visualizada en la placa característica), se muestra la información técnica a considerar:

Tabla 93: Descripción Técnica del Pararrayos

Fabricante: TRIDELTA		Tipo: SBB 444 / 20.511
Norma: IEC 60099 - 4	Año: 2011	Frecuencia nominal (Hz): 60
Tensión nominal del equipo Ur (kV): 444		Corriente de descarga asignada In (kA): 20
Tensión soportada al impulso tipo rayo Up (kV): 1004		Tensión soportada al impulso tipo maniobra Us (kV): 484
Capacidad de disipación de energía kJ / kV(Ur): 13		Corriente cortocircuito (kA): 10
Clase: S		Contador de descarga: Tipo DCC - M

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.5.3 INSPECCIÓN GENERAL

Adicionalmente a lo anterior, es de gran importancia realizar una inspección general sobre el estado físico (mecánico) del equipo, la información a considerar es la siguiente:

Tabla 94: Inspección General del Pararrayos

Verificación	Datos
Nº de serie sección superior	102597 / 3
Nº de serie sección medio	102597 / 2
Nº de serie sección inferior	102597 / 1
Estado de las conexiones a tierra (estructura y contador de descargas)	OK
Estado de la porcelana aislante; limpia y libre de material extraño	OK
Verificación de la conexión del contador de descargas	OK
Estado del galvanizado y pintura de las estructuras	OK
Estado de los terminales de alta tensión	OK
Instalación de aros equipotenciales, si aplica	OK
Número de operaciones del descargador	000011

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.5.4 PRUEBAS INDIVIDUALES

4.5.4.1 Resistencia de Aislamiento

4.5.4.1.1 Datos Generales

Tabla 95: Resistencia de aislamiento - Pararrayos

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Megóhmetro	FLUKE / 1555	174 2004	13-07-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 50 HR final (%): 51	Tº inicial: 24 ° C Tº final: 24° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 05-09-12 Hora prueba: 16:20

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.5.4.1.2 Lineamientos para pruebas de resistencia de aislamiento en pararrayos

Esta prueba debe realizarse con el interruptor abierto y debe suministrarse una Tensión de 5000 V_{DC}, durante un tiempo de 60 seg. Esta medición tiene como objeto medir el nivel de aislamiento o megado en el orden de los Giga-Ohmios (GΩ), de las siguientes partes del pararrayos:

- Nivel de aislamiento de Alta respecto a masa.
- Nivel de aislamiento de cada sección o cuerpo que conforma el pararrayos (Sección superior, sección medio y sección inferior).

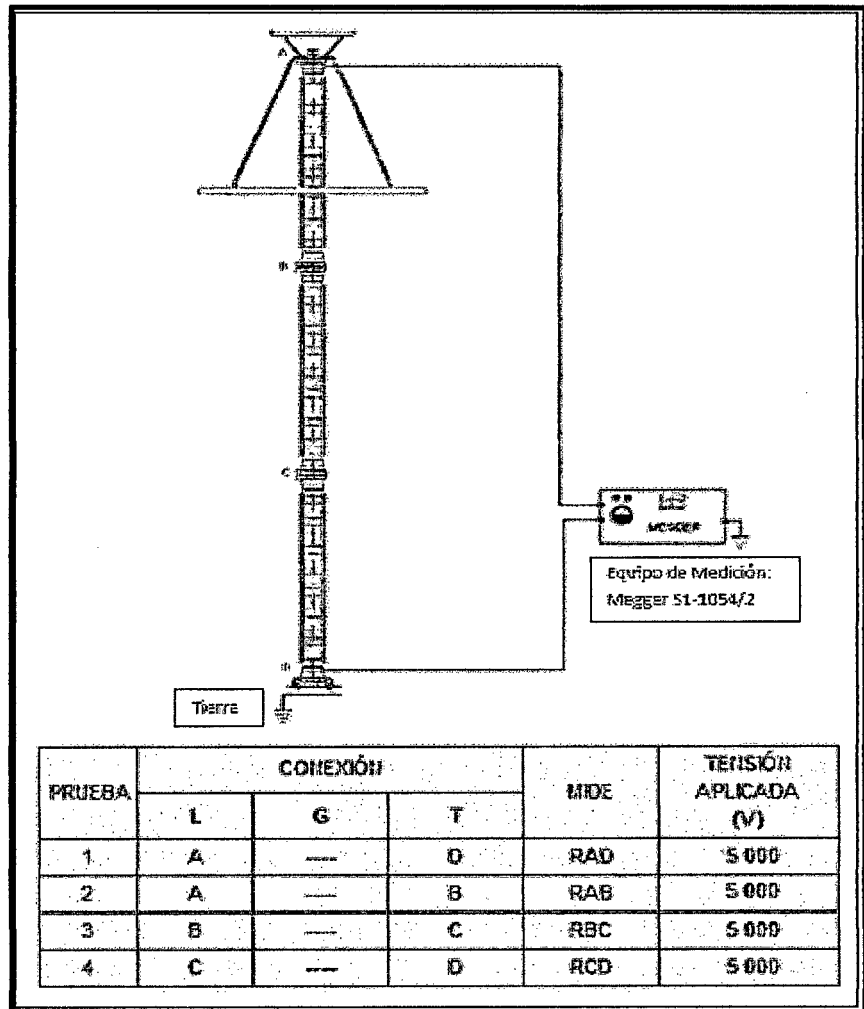


Fig. 80 Conexión para Resistencia de Aislamiento - Pararrayos en 500 kV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.5.4.1.3 Valores esperados

Valor de resistencia de aislamiento $\geq 100\ 000\ M\Omega$, ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1. Las medidas obtenidas serán referidas a 20 ° C.

Ver numeral 4.1.4.1.3, los detalles de la tabla 100.1 (Resistencia de aislamiento) y tabla 100.14 (factores de corrección por temperatura) de la norma ANSI/NETA TS-2009.

4.5.4.1.4 Valores medidos

En la tabla 96 se muestra un ejemplo de las medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento en pararrayos.

Tabla 96: Medidas a considerar en la prueba de resistencia de aislamiento del Pararrayos

Medida entre	Tensión prueba Vcc.		Medido (GΩ)	@ 20 °C (GΩ)	Promedio (GΩ)
	Tiempo 60 s				
Alta – Masa	5 000		380.0	380.0	185.0
Sección Superior	5 000		110.0	110.0	
Sección Medio	5 000		120.0	120.0	
Sección Inferior	5 000		130.0	130.0	
Resultado de la prueba:		Aceptable	X	No aceptable	
Observación: _____					

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

En la tabla 97 y figura 81 se muestra las medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en pararrayos.

Tabla 97: Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en pararrayos

Valores	Resistencia de Aislamiento (GΩ) Pararrayo
T=24°C, HR=51%	182.3
T=24°C, HR=51%	183.3
T=24°C, HR=51%	185.0

Fuente: Elaboración Propia

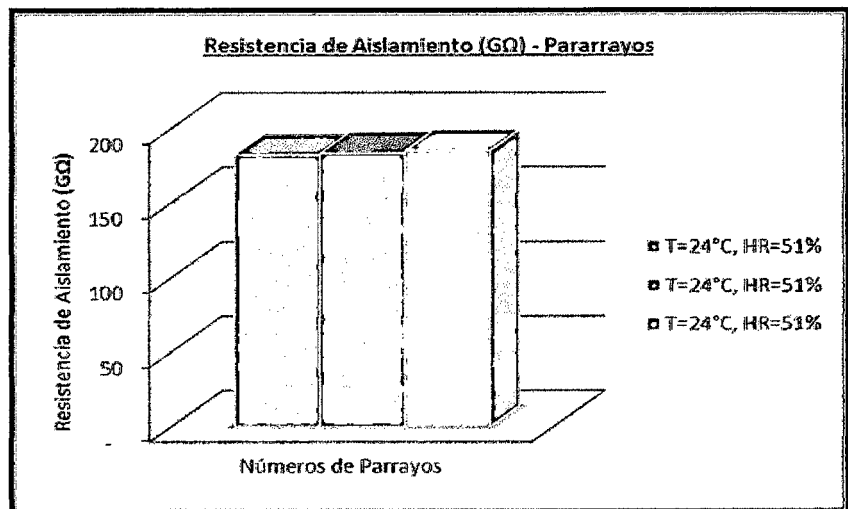


Fig. 81 Medidas obtenidas (promedio) en la prueba de resistencia de aislamiento en pararrayos

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que los pararrayos tienen similares características técnicas y fueron probados en las mismas condiciones de temperatura y humedad relativa, se lograron valores de resistencia de aislamiento cercanos de 182GΩ, 183 GΩ y 185 GΩ, teniendo como promedio un valor de 184GΩ (No se tuvieron diferencias significativas).

4.5.4.2 Capacitancia

4.5.4.2.1 Datos Generales

Tabla 98: Capacitancia - Pararrayos

Instrumento utilizado	Fabricante / Modelo	Nº de serie	Fecha de calibración
Equipo de inyección	OMICRON / CPC 100	6C815K / CJ2896	05-09-11
Higrómetro	AEMC / CA - 846	1082	
Termómetro	AEMC / CA - 846	N.A	
HR inicial (%): 49 HR final (%): 49	Tº inicial: 28 ° C Tº final: 28 ° C	Condiciones ambientales: SOLEADO	Fecha prueba: 27-10-12 Hora prueba: 13:55:12

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.5.4.2.2 Lineamientos para prueba de capacitancia en pararrayos

En esta prueba se debe suministrar una Tensión de 10 KV_{AC}. Esta medición tiene como objeto medir las pérdidas de potencia producto de efecto capacitivo (parte activa) y el efecto resistivo (parte no activa), cuando nos referimos a la parte activa nos referimos a las placas de óxido de zinc, por otro lado la parte no activa se refiere por ejemplo a la porcelana y otros elementos que conforman parte del aislamiento del pararrayo, la medición de esta prueba se da en Mili-Vatios (mW).

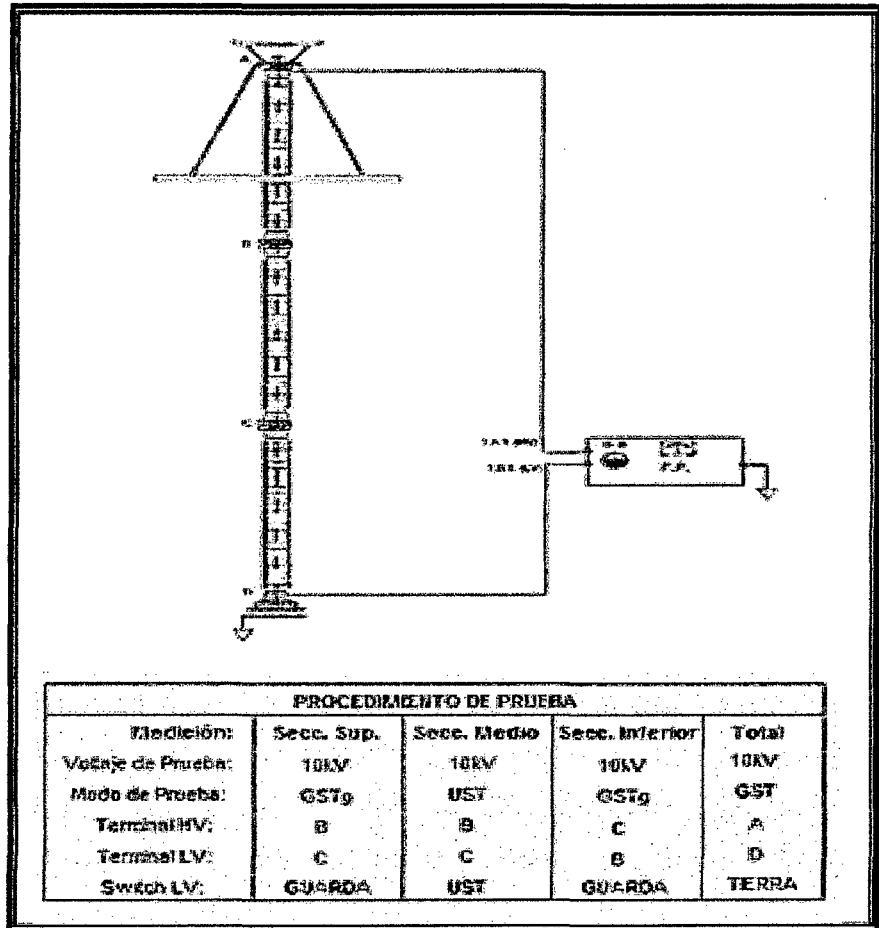


Fig. 82 Conexión para Capacitancia - Pararrayos en 500 kV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

4.5.4.2.3 Valores esperados

El factor de disipación ($\tan \delta$) medido no deberá tener un valor $\leq 0.5\%$ y la capacitancia C_p no debe variar en un rango mayor $\pm 5\%$, comparados con valores de fábrica, o valores de equipos con características similares, según IEC 60044-1.

4.5.4.2.4 Valores medidos

En el caso de los pararrayos es común observar en la práctica que se mida el valor de la capacitancia (pF).

En la tabla 99, se muestra un ejemplo de los aislamientos a medir en la prueba de capacitancia en pararrayos.

Tabla 99: Aislamientos a medir en la prueba de capacitancia en pararrayos

Aislamiento a medir (Modo prueba)	Tensión Prueba (kV)	Freq. (Hz)	I (mA)	Watts (mW)	Cp (pF)	
					Fábrica	Sitio
Sección superior (GSTg)	10	60	0.2901	196.8	-	73.772
Sección media (UST)	10	60	0.2221	229.1	-	58.600
Sección inferior (GSTg)	10	60	0.1856	183.5	-	48.853
Total (GST)	10	60	0.6722	128.6	173.0	175.20
Reporte de pruebas emitido por equipo digital:				Aplica	X	No aplica
Resultado de la prueba:				Acceptable	X	No acceptable
Observación: _____						

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HMV Ingenieros Ltda.

En la tabla 100 y figura 83 se muestra las medidas de capacitancia (pF) en pararrayos.

Tabla 100: Medidas en la prueba de capacitancia (pF) en pararrayos

Variables	Números de PR Capacitancia (pF)
T=28°C, HR=49%	175.2
T=28°C, HR=45%	173.4
Valor de Fábrica	173.0
T=34°C, HR=41%	171.2
T=34°C, HR=35%	170.6

Fuente: Elaboración Propia

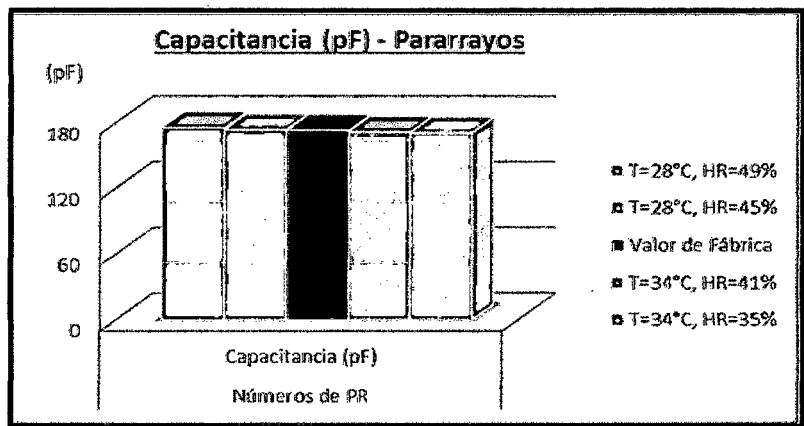


Fig. 83 Medidas en la prueba de capacitancia (pF) en pararrayos

Fuente: Elaboración Propia

Se puede interpretar que para un aumento de temperatura de 6°C y disminución de humedad relativa de 14%, el valor de la capacitancia decreció aproximadamente en un 3% de su valor inicial.

4.5.4.3 Corriente de Fuga

4.5.4.3.1 Lineamientos para prueba de corriente de fuga en pararrayos

En la práctica esta medición de corriente de fuga, se realiza posterior a la puesta en servicio de la subestación eléctrica (energización). Cabe indicar que la medición se hace observando la lectura mediante el contador de energía; quién registra la cantidad o números de descarga del equipo y la corriente de fuga en el orden de los miliamperios.

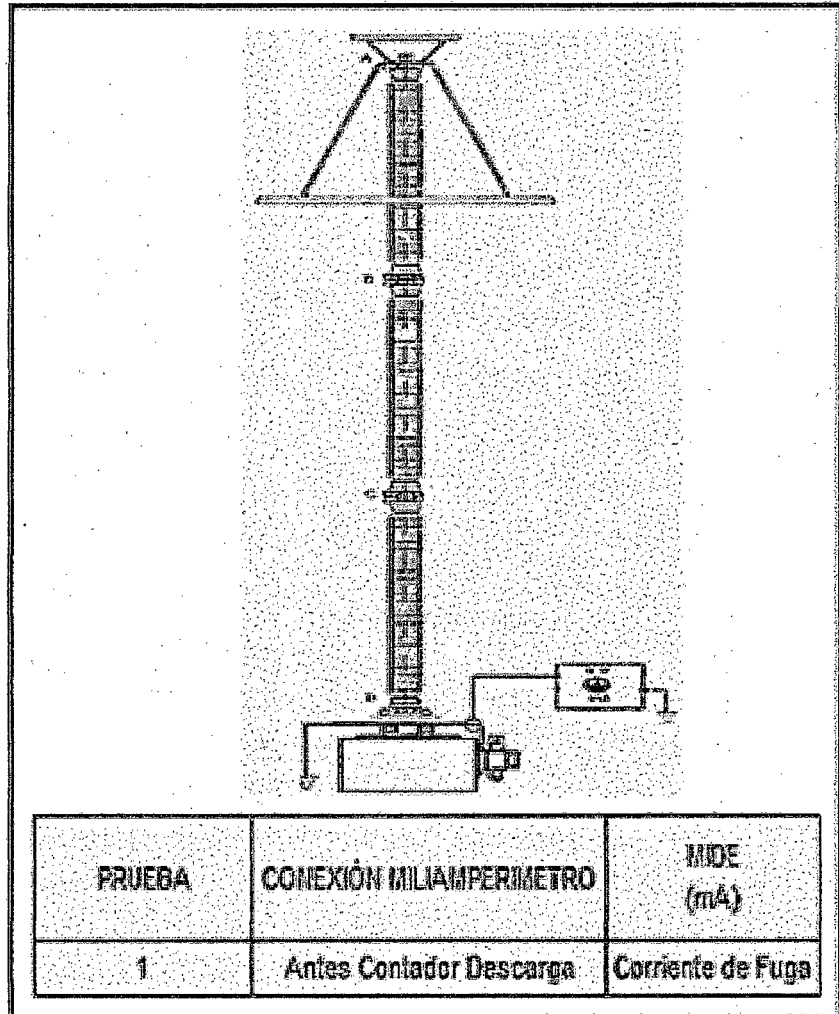


Fig. 84 Conexión para Corriente de Fuga - Pararrayos en 500 kV

Fuente: Adaptado del protocolo de pruebas individuales HVM Ingenieros Ltda.

4.5.4.3.2 Valores esperados

La corriente de fuga que se debe presentar bajo las condiciones normales de operación no deben ser mayores a 3 mA, según cláusula 6.1.6.1.1 IEC 60099-5.

6.1.6.1.1 Courant de fuite capacitif

Le courant de fuite capacitif mesuré à la borne de terre d'un parafoudre est provoqué par la permittivité des résistances variables à oxyde métallique, les capacités parasites et les condensateurs de répartition de tension, s'ils sont utilisés. La capacité spécifique d'un élément de résistance variable est généralement de 60 pF.kV/cm² à 150 pF.kV/cm² (tension assignée), ce qui produit un courant de fuite capacitif de valeur crête d'environ 0,2 mA à 3 mA dans des conditions d'exploitation normales.

V. DISCUSIÓN

- Las pruebas individuales (SAT) para los interruptores de potencia son: resistencia de aislamiento, resistencia de contactos, factor de potencia, tiempos de operación y corriente de consumo.
 - Los valores de resistencia de aislamiento mínimo y máximo obtenidos fueron: 161.7 G Ω y 2,313.3 G Ω , respectivamente, los cuales son mayores iguales a 100 G Ω por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1.
 - Los valores de resistencia de contactos mínimo y máximo obtenido fueron: en el polo completo del interruptor 56.7 $\mu\Omega$ y 58.8 $\mu\Omega$, y en las cámaras del interruptor 27.6 $\mu\Omega$ y 29.1 $\mu\Omega$, respectivamente dichos valores tienen un desviación no mayor al 20% con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la cláusula 7.3, IEC 62271-100.
 - Los valores de factor de potencia mínimo y máximo obtenido fueron: 0.207% y 0.456%, respectivamente Dichos valores son menores o iguales a 0.5%, por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.
 - Los valores de tiempo de operación mínimo y máximo obtenidos fueron: operación de cierre 54.0 ms y 55.5 ms, en la operación de apertura 18.9 ms y 19.5 ms, en la operación cierre-apertura 119.1 ms y 120.2 ms, en la operación cierre-apertura-cierre 353.8ms y 355.7 ms, respectivamente, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
 - Los valores de medición de corriente de consumo en las bobinas y motor mínimo y máximo obtenidos fueron: corriente de cierre 5.1 A y 5.5 A, corriente de apertura 5.2 A y 5.7 A, corriente de arranque 16.5 A y 19.0 A y corriente constante 4.7 A y 5.92 A, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.

- Las pruebas individuales (SAT) para los seccionadores Semipantógrafo son: resistencia de aislamiento, resistencia de contactos, tiempos de operación y corriente de consumo.
 - Los valores de resistencia de aislamiento mínimo y máximo obtenidos fueron: 137.3 GΩ y 154.0 GΩ, respectivamente, los cuales son mayores iguales a 100 GΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1.
 - Los valores de resistencia de contactos mínimo y máximo obtenido fueron: 99.5 μΩ y 119.6 μΩ, respectivamente dichos valores tienen un desviación no mayor al 20% con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la cláusula 7.3, IEC 62271-100.
 - Los valores de tiempo de operación mínimo y máximo obtenidos fueron: operación de cierre 9.58 s y 9.73 s, en la operación de apertura 9.38 s y 9.50 s, respectivamente, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
 - Los valores de medición de corriente de consumo en las bobinas y motor mínimo y máximo obtenidos fueron: corriente de cierre 2.38 A y 2.50 A, corriente de apertura 2.55 A y 2.58 A, respectivamente, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.

- Las pruebas individuales (SAT) para los seccionadores de doble apertura lateral son: resistencia de aislamiento, resistencia de contactos, tiempos de operación y corriente de consumo.
 - Los valores de resistencia de aislamiento mínimo y máximo obtenidos fueron: 281.7 GΩ y 390.0 GΩ, respectivamente, los cuales son mayores iguales a 100 GΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1.

- Los valores de resistencia de contactos mínimo y máximo obtenido fueron: 104.8 $\mu\Omega$ y 100.8 $\mu\Omega$, respectivamente dichos valores tienen un desviación no mayor al 20% con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la cláusula 7.3, IEC 62271-100.
- Los valores de tiempo de operación mínimo y máximo obtenidos fueron: operación de cierre 9.35 s y 9.93 s, en la operación de apertura 9.15 s y 9.49 s, respectivamente, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
- Los valores de medición de corriente de consumo en las bobinas y motor mínimo y máximo obtenidos fueron: corriente de cierre 1.01 A y 2.42 A, corriente de apertura 0.89 A y 2.71 A, respectivamente, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
- Las pruebas individuales (SAT) para los transformadores de tensión son: resistencia de aislamiento, factor de potencia y relación de transformación.
 - Los valores de resistencia aislamiento de alta a masa mínimo y máximo obtenidos fueron: 14.4 G Ω y 33.1 G Ω , respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 5.0 G Ω por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5.
 - Los valores de resistencia de aislamiento de baja a masa y entre bornes de los núcleos secundarios fueron: 36.6 G Ω y 49.5 G Ω , respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 100 M Ω por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5.
 - Los valores de factor de potencia mínimo y máximo obtenidos fueron: 0.085% y 0.198%, respectivamente. Dichos valores

son menores o iguales a 0.5% por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.

- Los valores de error en la medición de relación de transformación mínimo y máximo obtenido fueron: 0.10% y 0.20%, por lo tanto cumple con lo indicado en la norma internacional IEC 61869-5; tabla 501 para núcleos de medida; y tabla 502 para núcleos de protección.
- Las pruebas individuales (SAT) para los transformadores de corriente son: resistencia de aislamiento, factor de potencia, resistencia de devanados, curva de saturación, y relación de transformación.
 - Los valores de resistencia aislamiento de alta a masa mínimo y máximo obtenidos fueron: 20.3 G Ω y 35.2 G Ω , respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 5.0 G Ω por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5.
 - Los valores de resistencia de aislamiento de baja a masa y entre bornes de los núcleos secundarios fueron: 194.1 G Ω y 553.5 G Ω , respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 100 M Ω por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5.
 - Los valores de factor de potencia mínimo y máximo obtenidos fueron: 0.317% y 0.361%, respectivamente. Dichos valores son menores o iguales a 0.5% por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.
 - Los valores de resistencia de devanados secundarios mínimo y máximo fueron: 2.626 Ω y 2.800 Ω , respectivamente y guardan similitud con lo medido en las pruebas FAT (2.74 Ω), por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.

- El valor de punto de saturación mínimo y máximo obtenido en los núcleos de medida fueron: (13.97 V, 2.49 mA) y (15.75 V, 2.98 mA), respectivamente, guardando similitud con lo medido en las pruebas FAT (15.50 V y 3.00 mA).
- El valor de punto de saturación mínimo y máximo obtenido en los núcleos de protección fueron: (260.86 V, 23.92 mA) y (270.08 V, 25.80 mA), respectivamente, guardando similitud con lo medido en las pruebas FAT (258.62 V y 25.00mA).
- Los valores de error en la medición de relación de transformación mínimo y máximo obtenido fueron: 0.01% y 0.03%, por lo tanto cumple con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1; tablas 11, 12 y 13 para núcleos de medida; y 14 y 15 para núcleos de protección.
- Las pruebas individuales (SAT) para los pararrayos son: resistencia de aislamiento, capacitancia y corriente de fuga.
 - Los valores de resistencia de aislamiento mínimo y máximo obtenidos fueron: 182.3 GΩ y 185.0 GΩ, respectivamente, los cuales son mayores iguales a 100 GΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1.
 - Los valores de capacitancia mínimo y máximo obtenidos fueron: 170.6 pF y 175.2 pF, respectivamente, dichas variaciones se encuentran dentro del $\pm 5\%$ del valor de las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.

VI. CONCLUSIÓN

- Se presentó a detalle las características y pruebas individuales (SAT) realizadas a cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión (interruptor, seccionador, transformador de corriente, transformador de tensión y pararrayos); indicado el capítulo II. MARCO TEÓRICO.
- Se presentó instructivo de puntos de conexión para la realizar las pruebas individuales (SAT) en cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión; mostrado en las figuras 32, 34, 46, 46, 47, 50, 51, 60, 62, 64, 68, 70, 72, 74, 80, 82 y 84.
- Se determinó y cuantificó los valores de las variables que influyeron en los resultados de las pruebas individuales de equipos de patio realizados en campo; mostrado en las figuras 33, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 48, 49, 52, 53, 64, 55, 56, 57, 63, 71, 73, 75, 76 y 77.
- Los valores mínimos obtenidos en la medición de resistencia de aislamiento fueron: en interruptores de potencia en SF6 (161.7 GΩ), seccionadores Semipantógrafo (137.3 GΩ), seccionadores de doble apertura o rotación central (281.7 GΩ) y pararrayos de óxido de zinc (182.3 GΩ); dichos valores son mayores iguales a 100 GΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1.
- Los valores mínimos obtenidos en la medición de resistencia de aislamiento de alta a masa en transformadores de corriente y transformadores de tensión fueron 20.3 GΩ y 14.4 GΩ, respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 5.0 GΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5.
- Los valores mínimos obtenidos en la medición de resistencia de aislamiento de baja a masa y entre bornes de los núcleos secundarios en transformadores de corriente y transformadores de tensión fueron 194.1 GΩ y 36.6 GΩ, respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 100 MΩ por lo tanto cumplen con lo

indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5.

- Los valores máximos obtenidos en la medición de resistencia de contactos fueron: en el polo completo del interruptor ($58.8 \mu\Omega$), en las cámaras del interruptor ($29.1 \mu\Omega$), seccionadores Semipantógrafo ($119.6 \mu\Omega$) y seccionadores de doble apertura ($104.8 \mu\Omega$). Dichos valores tienen un desviación no mayor al 20% con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la cláusula 7.3, IEC 62271-100.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de factor de potencia, tangente delta, factor disipación o pérdidas fueron: en interruptores (0.456%), en transformadores de corriente (0.361%), en transformadores de tensión (0.198%) y pararrayos (175.2 pF). Dichos valores son menores o iguales a 0.5% y la capacitancia C_p varía menor al $\pm 5\%$ del valor de las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.
- El valor mínimo obtenido en la medición de resistencia de devanados secundarios en los transformadores de corriente fueron: 2.63Ω , guardando similitud con lo medido en las pruebas FAT (2.74Ω), por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.
- El valor de punto de saturación mínimo obtenido en los núcleos de medida en transformadores de corriente fue 13.97 V y 2.49 mA, guardando similitud con lo medido en las pruebas FAT (15.50 V y 3.00 mA).
- El valor de punto de saturación mínimo obtenido en los núcleos de protección en transformadores de corriente fue 260.86 V y 23.92 mA, guardando similitud con lo medido en las pruebas FAT (258.62 V y 25.00mA).

- El valor máximo de error obtenido en la medición de relación de transformación en transformadores de corriente fue 0.01% para el núcleo de medida y 0.03% para su núcleo de protección, por lo tanto cumple con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1; tablas 11, 12 y 13 para núcleos de medida; y 14 y 15 para núcleos de protección.
- El valor máximo de error obtenido en la medición de relación de transformación en transformadores tensión fue 0.20% para el núcleo de protección y medida, por lo tanto cumple con lo indicado en la norma internacional IEC 61869-5; tabla 501 para núcleos de medida; y tabla 502 para núcleos de protección.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de tiempo de operación fueron: operación de cierre en interruptores de 55.5 ms, en la operación de apertura en interruptores de 19.5 ms, en la operación cierre-apertura de 120.2 ms, en la operación cierre-apertura-cierre de 355.7 ms, en la operación de cierre en seccionadores Semipantógrafo de 9.73 s, en la operación de apertura en seccionadores Semipantógrafo de 9.50 s, en la operación de cierre en seccionadores de doble apertura de 9.93 s y en la operación de apertura en seccionadores de doble apertura de 9.49 s, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de corriente de consumo en las bobinas y motor en interruptores de potencia fueron: corriente de cierre (5.50 A), corriente de apertura (5.70 A), corriente de arranque (19.00 A) y corriente constante (5.92 A), cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.

- Los valores máximos obtenidos en la medición de corriente de consumo en las bobinas de cierre y apertura en los seccionadores Semipantógrafo fueron: corriente de cierre (2.50 A) y corriente de apertura (2.58 A), cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de corriente de consumo en las bobinas de cierre y apertura en los seccionadores de doble apertura fueron: corriente de cierre (2.42 A) y corriente de apertura (2.71 A), cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
- Mediante el método inductivo y gráfico se generalizó el comportamiento de los parámetros en cada equipo de patio de una Subestación Eléctrica en Alta y Extra-alta tensión, respecto a la temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar lineamientos en pruebas individuales en equipos inductivos (autotransformadores, transformadores, reactores, reactancia de neutro), para la puesta en servicio de una subestación eléctrica en Alta y Extra-Alta Tensión.
- Realizar lineamientos en pruebas individuales en equipos del sistema de control, protección, medición, servicios auxiliares y telecomunicaciones, para la puesta en servicio de una subestación eléctrica en Alta y Extra-Alta Tensión.
- Realizar lineamientos en pruebas funcionales en equipos del sistema de control, protección, medición, servicios auxiliares y telecomunicaciones, para la puesta en servicio de una subestación eléctrica en Alta y Extra-Alta Tensión.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/NETA ATS-2009. American National Standards Institute/ International Electrical Testing Association. Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems. Edit. Copyright© 241 pp.

García, G. 1997. Diseño de Protocolos de Pruebas a Equipos en la Salida de los Tramos de Líneas de Transmisión de la Subestación el Macaro 230/115 KV. 178 pp.

IEC 60044-1. 2003. International Electrotechnical Commission. Instrument transformers – Part 1: Current transformers. Edic. 2003-02. Edit. Copyright©. 111 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 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 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. 2008. International Electrotechnical Commission. High voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating current circuit breakers. Edic. 2008-04. Edit. Copyright©. 695 pp.

IEC 62271-102. 2001. International Electrotechnical Commission. High voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current Disconnectors and earthing switches. Edic. 2001-12. Edit. Copyright©. 90 pp.

Megger. 2006. Evaluación de Estado de Equipo de Subestación. 40 pp.

Megger. 2012. Pruebas de Factor de Potencia / Disipación. 66 pp.

Mejía, V. 2003. Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión. 2da Edic. HMV Ingenieros Ltda.

IX. ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

OFICINA CENTRAL DE INVESTIGACION



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

"CATALOGO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN –TIPO" Resolución N° 1562-2006-ANR

REGISTRO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN FACULTAD DE INGENIERIA

I. DATOS GENERALES (TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR DOCENTES INVESTIGADORES DE LA UNIVERSIDAD):

- Universidad: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
- Centro o Instituto de Investigación: Escuela Profesional de Ingeniería En Energía
- Título del Trabajo: *"Lineamientos en pruebas individuales de equipos de patio, para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta Tensión"*
- Línea de Investigación: Transporte de Energía
- Autor(es):
DNI Apellidos y Nombres
46306669 Rivera Corzo, Oscar Jonathan
- Publicado en: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
- Patente(s) obtenida(s):
- Año de ejecución y culminación: Enero 2012 – Septiembre 2014

II. CONTENIDO DEL RESUMEN

- **Resumen**

El presente trabajo de investigación titulado "Lineamientos en pruebas individuales de equipos de patio, para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta Tensión", tiene por finalidad brindar lineamientos sobre las clases de equipos, especificaciones técnicas, conexiones eléctricas y pruebas individuales (SAT) aplicadas a cada uno de los equipos de patio que conforman una Subestación de Energía en Alta y Extra-Alta Tensión, equipos tales como: Interruptores de Potencia, Seccionadores, Transformador de Tensión, Transformador de Corriente y Pararrayos. Con esto se facilitará el acceso de información de las normas internacionales (ANSI, IEC, IEEE), ya que el acceso a estas normas es limitado debido al elevado precio y carácter confidencial de las empresas del sector eléctrico. Se tomaron como muestra los equipos instalados en la Subestación Chimbote

Nueva 500/220 kV, los cuales fueron sometidos a pruebas en sitio bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, de esta manera se analizaron el comportamiento de los valores obtenidos respecto a estas variables. La prueba en común que tienen todos los equipos indicados es la medición de resistencia de aislamiento, en la cual se obtuvieron los siguientes valores mínimos: interruptor (161.7 GΩ), seccionador semipantógrafo (137.3 GΩ), seccionador de doble apertura (281.7 GΩ), transformador de corriente (20.3 GΩ), transformador de tensión (14.4 GΩ) y pararrayo (182.3 GΩ), esta prueba al igual que las demás pruebas que forman parte del presente informe, cumplen con las normas internacionales antes mencionadas, garantizando que los equipos se encuentran aptos para la puesta en servicio de una Subestación de Energía de Alta y Extra-Alta Tensión.

- **Abstract**

This research paper entitled "Guidelines in individual tests yard equipment, for the putting in service of a substation of energy in high and extra-high tension", has for purpose offer guidelines on the classes of equipment, technical specifications, electrical connections and individual tests (SAT) applied to each of the equipment of court who shape a Substation of Energy in High and Extra-high Tension, such equipment as: Switches of Power, Disconnectors, Voltage Transformer, Current Transformer and Arrester. With this information access of international standards (ANSI, IEC, IEEE), since the access to these procedure is limited due to the high price and confidential character of the companies of the electrical sector. They took as it shows the installed teams in the Chimbote Nueva 500/220 kV substation, which were subjected to proofs in different low place conditions of temperature and relative humidity, of this way analyzed the behavior of the values obtained with regard to these variables. The test in common with all the teams indicated is the measurement of insulation resistance, in which the following minimum values were obtained: switch (161.7 GΩ) , semi pantograph disconnect (137.3 GΩ), double-break disconnect (281.7 GΩ), current transformer (20.3 GΩ), voltage transformer (14.4 GΩ) and arrester (182.3 GΩ), this test like the other tests that are part of this report, comply with the international standards mentioned above, ensuring that the equipment is are suitable for the commissioning of Substation Energy High and Extra – High Voltage.

- **Planteamiento del problema.**

¿Cómo garantizamos que los equipos de patio se encuentren aptos, para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta?

- **Objetivos.**

- **Objetivo General:**

- Presentar los lineamientos en pruebas individuales de equipos de patio, para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta tensión.

- **Objetivo Específicos:**

- Presentar a detalle las características y pruebas individuales (SAT) realizadas a cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión (interruptor, seccionador, transformador de corriente, transformador de tensión y pararrayos).
- Presentar instructivo de puntos de conexión para la realizar las pruebas individuales (SAT) en cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión.
- Determinar y cuantificar los valores de las variables que influyen en los resultados de las pruebas individuales de equipos de patio realizados en campo.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos y citar recomendaciones a tener en cuenta, durante la realización de estas pruebas.
- Mediante el método inductivo y gráfico generalizar el comportamiento de los parámetros en cada equipo de patio de una Subestación Eléctrica en Alta y Extra-alta tensión, respecto a la temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

- **Hipótesis.**

Siguiendo los lineamientos en las pruebas individuales de equipos de patio, garantizamos que los resultados obtenidos serán satisfactorios; cumpliendo con lo requerido en las normas internacionales (ANSI, IEEE, IEC), por lo tanto los equipos estarán aptos para la puesta en servicio de una subestación de energía en alta y extra-alta tensión.

- **Breve referencia al marco teórico**

Se presentan las características técnicas y las pruebas individuales (SAT) realizadas a cada equipo de patio de patio de alta y extra-alta tensión (interruptor, seccionador, transformador de corriente, transformador de tensión y pararrayos).

- **Conclusiones**

- Se presentó las características, puntos de conexión de las pruebas individuales (SAT) realizadas a cada equipo de patio de alta y extra-alta tensión (interruptor, seccionador, transformador de corriente, transformador de tensión y pararrayos).

- Se determinó y cuantificó los valores de las variables que influyeron en los resultados de las pruebas individuales de equipos de patio realizados en campo.
- Los valores mínimos obtenidos en la medición de resistencia de aislamiento fueron: en interruptores de potencia en SF6 (161.7 GΩ), seccionadores Semipantógrafo (137.3 GΩ), seccionadores de doble apertura o rotación central (281.7 GΩ) y pararrayos de óxido de zinc (182.3 GΩ); dichos valores son mayores iguales a 100 GΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.1. Por otra parte, los valores mínimos obtenidos en la medición de resistencia de aislamiento de alta a masa en transformadores de corriente y transformadores de tensión fueron 20.3 GΩ y 14.4 GΩ, respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 5.0 GΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5. Adicionalmente, los valores mínimos obtenidos en la medición de resistencia de aislamiento de baja a masa y entre bornes de los núcleos secundarios en transformadores de corriente y transformadores de tensión fueron 194.1 GΩ y 36.6 GΩ, respectivamente. Dichos valores son mayores iguales a 100 MΩ por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional ANSI/NETA ATS - 2009 Tabla 100.5.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de resistencia de contactos fueron: en el polo completo del interruptor (58.8 μΩ), en las cámaras del interruptor (29.1 μΩ), seccionadores Semipantógrafo (119.6 μΩ) y seccionadores de doble apertura (104.8 μΩ). Dichos valores tienen un desviación no mayor al 20% con respecto al valor obtenido en las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la cláusula 7.3, IEC 62271-100.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de factor de potencia, tangente delta, factor disipación o pérdidas fueron: en interruptores (0.456%), en transformadores de corriente (0.361%), en transformadores de tensión (0.198%) y pararrayos (175.2 pF). Dichos valores son menores o iguales a 0.5% y la capacitancia Cp varía menor al ± 5% del valor de las pruebas FAT por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.
- El valor mínimo obtenido en la medición de resistencia de devanados secundarios en los transformadores de corriente fueron: 2.63 Ω, guardando similitud con lo medido en las pruebas FAT (2.74 Ω), por lo tanto cumplen con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1.
- El valor de punto de saturación mínimo obtenido en los núcleos de medida en transformadores de corriente fue 13.97 V y 2.49 mA, guardando similitud con lo medido en

las pruebas FAT (15.50 V y 3.00 mA). El valor de punto de saturación mínimo obtenido en los núcleos de protección en transformadores de corriente fue 260.86 V y 23.92 mA, guardando similitud con lo medido en las pruebas FAT (258.62 V y 25.00mA).

- El valor máximo de error obtenido en la medición de relación de transformación en transformadores de corriente fue 0.01% para el núcleo de medida y 0.03% para su núcleo de protección, por lo tanto cumple con lo indicado en la norma internacional IEC 60044-1; tablas 11, 12 y 13 para núcleos de medida; y 14 y 15 para núcleos de protección. Mientras que el valor máximo de error obtenido en la medición de relación de transformación en transformadores tensión fue 0.20% para el núcleo de protección y medida, por lo tanto cumple con lo indicado en la norma internacional IEC 61869-5; tabla 501 para núcleos de medida; y tabla 502 para núcleos de protección.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de tiempo de operación fueron: operación de cierre en interruptores de 55.5 ms, en la operación de apertura en interruptores de 19.5 ms, en la operación cierre-apertura de 120.2 ms, en la operación cierre-apertura-cierre de 355.7 ms, en la operación de cierre en seccionadores Semipantógrafo de 9.73 s, en la operación de apertura en seccionadores Semipantógrafo de 9.50 s, en la operación de cierre en seccionadores de doble apertura de 9.93 s y en la operación de apertura en seccionadores de doble apertura de 9.49 s, cumpliendo con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
- Los valores máximos obtenidos en la medición de corriente de consumo en las bobinas y motor en interruptores de potencia fueron: corriente de cierre (5.50 A), corriente de apertura (5.70 A), corriente de arranque (19.00 A) y corriente constante (5.92 A); mientras que en el caso de los seccionadores Semipantógrafo fueron: corriente de cierre (2.50 A) y corriente de apertura (2.58 A); y en los seccionadores de doble apertura fueron: corriente de cierre (2.42 A) y corriente de apertura (2.71 A), todas estas cumplen con las tolerancias indicadas en las pruebas FAT y placa característica.
- Mediante el método inductivo y gráfico se generalizó el comportamiento de los parámetros en cada equipo de patio de una Subestación Eléctrica en Alta y Extra-alta tensión, respecto a la temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

- **Recomendaciones.**

- Realizar lineamientos en pruebas individuales en equipos inductivos (autotransformadores, transformadores, reactores, reactancia de neutro), para la puesta en servicio de una subestación eléctrica en Alta y Extra-Alta Tensión.
- Realizar lineamientos en pruebas individuales en equipos del sistema de control, protección, medición, servicios auxiliares y telecomunicaciones, para la puesta en servicio de una subestación eléctrica en Alta y Extra-Alta Tensión.
- Realizar lineamientos en pruebas funcionales en equipos del sistema de control, protección, medición, servicios auxiliares y telecomunicaciones, para la puesta en servicio de una subestación eléctrica en Alta y Extra-Alta Tensión.

- **Bibliografía.**

ANSI/NETA ATS-2009. American National Standards Institute/ International Electrical Testing Association. Acceptance Testing Specifications for Electrical Power Equipment and Systems. Edit. Copyright© 241 pp.

García, G. 1997. Diseño de Protocolos de Pruebas a Equipos en la Salida de los Tramos de Líneas de Transmisión de la Subestación el Macaro 230/115 KV. 178 pp.

IEC 60044-1. 2003. International Electrotechnical Commission. Instrument transformers – Part 1: Current transformers. Edic. 2003-02. Edit. Copyright©. 111 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 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 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. 2008. International Electrotechnical Commission. High voltage switchgear and controlgear - Part 100: Alternating current circuit breakers. Edic. 2008-04. Edit. Copyright©. 695 pp.

IEC 62271-102. 2001. International Electrotechnical Commission. High voltage switchgear and controlgear - Part 102: Alternating current Disconnectors and earthing switches. Edic. 2001-12. Edit. Copyright©. 90 pp.

Megger. 2006. Evaluación de Estado de Equipo de Subestación. 40 pp.

Megger. 2012. Pruebas de Factor de Potencia / Disipación. 66 pp.

Mejía, V. 2003. Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión. 2da Edic. HVM Ingenieros Ltda.