

SISTEMA DE  
COMPENSACIÓN  
DE FACTOR DE  
POTENCIA  
EN SEAT DEL METRO DE  
SANTIAGO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS  
DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS

# 1 Información General

## 1.1 ANTECEDENTES GENERALES

El presente documento tiene el objetivo de entregar la descripción de los componentes principales para dos sistemas de compensación idénticos para las barras de 20,4[kV] de los alimentadores S/E Renca y S/E Ochagavía compuesto por un banco de filtro de armónicas de 4,5[MVAr] @ 20,4[kV] de tres etapas y un sistema autotransformador-reactor de 5[MVAr] @ 20,4[kV] controlado por tiristores. Toda la información relativa a cambio de componentes y mantención del equipo de compensación de reactivos, se encuentra detallada en el *manual de mantención*.

## 2 Descripción General

El equipo de compensación de reactivos está compuesto por un filtro armónicos 4,5 [MVAr] @ 20,4 [kV] de 3 etapas sintonizados para la 5<sup>ta</sup> armónica y para 7<sup>ma</sup> armónica, un equipo TCR el cual posee un autotransformador de 20.4 / 4.16 [kV] y un equipo reactor de 5 [MVAr] @ 4,16 [kV] controlado por tiristores.

La compensación de reactivos se realiza en dos sistemas idénticos e independientes, para las barras de 20,4 [kV] de los alimentadores S/E Renca y S/E Ochagavía.

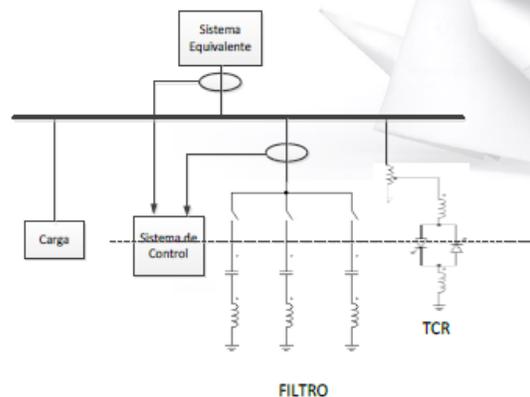


Figura: Sistema Representativo del Conjunto

## 2.1 DISEÑO

### 2.1.1 Filtro de armónicas

El equipo filtro de armónicas está compuesto por tres etapas, cada una de ellas sintonizada a diferentes armónicas y con distintos niveles de compensación de reactivos a frecuencia fundamental. Cada etapa a su vez está compuesta por un grupo de condensadores monofásicos y cada conjunto de condensador, a su vez, está conectado con un reactor en serie el cual proporciona la sintonía deseada. El equipo además posee los elementos de medida y protección necesarios para su correcta y segura operación; a saber: TT.PP. y TT.CC, desconectador principal y de tierra, pararrayos, fusibles (para línea principal y cada etapa), switches de vacío y elementos de protección de sobrecargas en cada etapa.

Se incluye en el suministro, un compartimento de gabinete donde se alojan los equipos de control, monitoreo y protección del banco de filtro de armónicas. Este equipo cuenta con relés de sobrecarga para corrientes armónicas en cada una de las etapas y también en la línea principal del equipo

Fabricado por NorthEast Power Systems Inc. (NEPSI), diseñado principalmente en módulos compactos de rápida instalación y de puesta en marcha en faena.

La tabla 1.1 muestra la distribución de la compensación de reactivos en el filtro a través de las etapas y también la sintonización de cada una de ellas a los diferentes armónicos del sistema.

Etapas	Punto de sintonía	Potencia efectiva [kVAr]
1	4.8 <sup>th</sup>	2250
2	6.8 <sup>th</sup>	1125
3	4.8 <sup>th</sup>	1125

Tabla 3.1 Compensaciones y sintonías de las etapas.

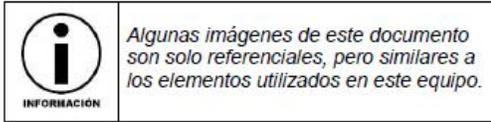
### 2.1.2 Reactor controlado por Tiristores (TCR).

En general el conjunto del TCR está compuesto por un autotransformador, un reactor y un convertidor CA/CA compuesto por un conjunto de tiristores en antiparalelo por fase. Mediante el control del ángulo de disparo se ajusta el nivel de reactivos inyectados al sistema. De esta forma se controla el valor de la corriente que pasa a través del reactor y con ello la potencia reactiva inyectada al sistema.

Este conjunto está formado por un autotransformador en serie con un reactor conectado al gabinete de tiristores, desconectador principal y de puesta a tierra, fusibles, pararrayos, además de los elementos necesarios para su correcto funcionamiento y protección.

Fabricado por IDT. SA, este reactor en conjunto con el filtro de armónicas se ajustan para a maximizar su confiabilidad y rendimiento en atención a su importancia operacional y a la valorización de las pérdidas asignadas por el cliente.

## 2.3 PRINCIPALES COMPONENTES



### 2.3.1 Filtro de Armónicas

#### 2.3.1.1 Transformador de Corriente

Este banco cuenta con transformadores de corriente (TC) en la etapa principal cada una de las etapas del filtro. La figura 3.2 muestra un prototipo típico.



Figura 2.2 Transformador de corriente.

Las características se detallan a continuación.

TC para las etapas:

Fabricante:	ABB
Tipo:	Toroide
Modelo:	SCH-3
Razón:	100:5
Style number:	7525A33G03
Serial N°:	1VAP61205385
Clase de aislación:	60[kV]
BIL:	10[kV]

TC en etapa principal

Fabricante:	ABB
Tipo:	Toroide
Modelo:	SCH-3
Razón:	200:5
Style number:	7525A33G05
Serial N°:	1VAP51228106
Clase de aislación:	60[kV]
BIL:	10[kV]

#### 2.3.1.2 Transformador de Potencial

Este banco cuenta con dos tipos de transformador de potencial monofásicos.

Uno conectado, por etapa, al relé de sobretensión en el neutro BASLER y otro cuya conexión es delta abierto, localizado en la entrada principal del filtro cuya salida es la entrada del PQM II. En el secundario de este transformador se encuentran los fusibles de protección SIBA 6,3 [A].



Figura 2.3 Transformador de potencial

Este transformador de potencial posee las siguientes características:

Fabricante:	Beijing Nobbel Electric Tech Development
Modelo:	JDZ11-20
Razón:	20,4/0,12 [kV]
Clase	0,5
Potencia:	50 [VA]
Limite Térmico	500[VA]
Frecuencia:	50 [Hz]

#### 2.3.1.3 Desconectador principal

Se encuentra localizado en un compartimento separado lo que permite una "interrupción visible" y una entrada segura al filtro durante el mantenimiento. Su accionamiento es manual, desde el exterior del gabinete a través de una palanca de accionamiento. Esta palanca puede ser operada una vez que se han desenergizado todas las etapas del banco de filtros. A pesar que este desconectador puede interrumpir corrientes de carga, la secuencia de operación obliga a operar este desconectador sin carga. Sus características eléctricas se detallan a continuación:

Fabricante:	ABB
Voltaje nominal	23.9-24.9 [kV]
Voltaje máximo	27[kV]
BIL:	125 [kV]
Corriente nominal:	1200 [A]
Corriente de ruptura:	40 [kA]



Figura 2.4 Desconector principal.

Este desconector utiliza el mecanismo de operación de rápida acción K, mayores detalles sobre su funcionamiento ver anexo al final de este documento.

### 2.3.1.4 Desconector de puesta a tierra

Enclavado con el desconector principal, se conecta de manera complementaria; es decir, cuando uno de ellos está conectado, el otro permanece desconectado y viceversa (sistema de seguridad).

Una vez desenergizadas las barras de distribución del equipo, a través del desconector principal, el desconector de puesta a tierra permite aterrizar todas las barras de media tensión al interior del equipo, permitiendo que los condensadores de las etapas sean descargados para posteriores aperturas de puertas. De esta manera se puede obtener una manutención segura.

El desconector de puesta a tierra empleado tiene accionamiento manual desde el interior del gabinete a través de una palanca de accionamiento externa. Esta palanca sólo puede ser accionada una vez que el desconector principal se encuentra en estado "Abierto". Sus características son:

Fabricante:	ABB
Voltaje Máximo:	24 [kV]
Tipo	E-EB24
BIL:	125 [kV]
Corriente nominal:	600 [A]
Corriente de ruptura:	40 [kA]
N° Polos	3
Configuración:	Trifásico



Figura 3.5 Desconector de puesta a tierra.

A continuación se muestra una imagen del conjunto desconector principal-puesta a tierra.

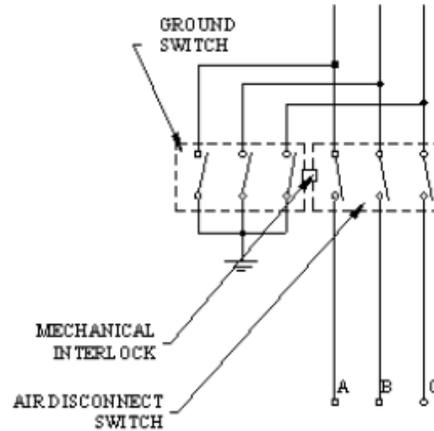


Figura 3.6: Desconector principal y puesta a tierra.

### 2.3.1.5 Fusibles

Estos elementos se utilizan para entregar protección a la entrada del equipo (barras de distribución) y a cada una de las unidades de condensadores que forman las etapas del filtro de armónicas. Cada unidad de condensador tiene un fusible asociado.

Por construcción, el equipo tiene cuatro grupos de fusibles instalados con tres modelos diferentes (ratings); un modelo para la línea principal y los otros tres modelos para cada una de las etapas de filtro.

La figura 3.7 muestra fusibles típicos SIBA. Para mayor información, referirse a las hojas de datos.



Figura 2.7 Fusibles de protección.

Las características de cada grupo se detallan a continuación:

Grupo de fusibles línea alimentación uno por fase:

Fabricante:	SIBA
N° Parte:	30 022 14.200
Corriente:	200 [A]
C. Ruptura:	63 [kA]
Voltaje nominal:	10/24 [kV]
Largo:	292 [mm]

Grupo de fusibles por etapa 1, 2 y 3:

Fabricante: SIBA  
 N° Parte: 30 225 13.63  
 Corriente: 63 [A]  
 C. Ruptura: 63 [kA]  
 Voltaje nominal: 10/24 [kV]  
 Largo: 292 [mm]

Fusible en transformador de potencial

Fabricante: SIBA  
 N° Parte: 30 181 113.6,3  
 Corriente: 6,3 [A]  
 C. Ruptura: 20 [kA]  
 Voltaje nominal: 20/36 [kV]  
 Largo: 292 [mm]

### 2.3.1.6 Pararrayos (Surge Arrester)

Este elemento es utilizado para proveer protección contra sobre-voltajes producido por rayos o condiciones inesperadas del circuito.

El banco cuenta con tres pararrayos del tipo polímero, conectados en estrella con neutro aterrizado, clase DISTRIBUTION. Sus datos técnicos se entregan a continuación:

Fabricante: GE  
 Modelo: Polymer Distribution Class  
 Tensión nominal: 27 [kV]  
 Capacidad máxima voltaje continuo (MCOV): 22 [kV]  
 Pressure relief capability: 40 [kA]  
 Product number: 9L11XPM027S

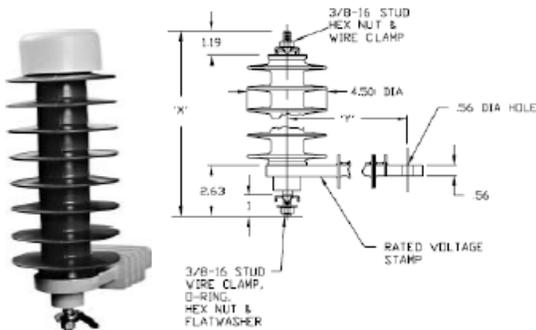


Figura 2.8 Pararrayos (3 [kV] a 72 [kV]).

### 2.3.1.7 Switch de vacío

Realizan la conexión y desconexión de las etapas del filtro según los requerimientos de potencia reactiva del sistema. Estos switches están diseñados para cargas capacitivas, minimizando los fenómenos de restrike al compararlos con dispositivos de maniobra tradicionales.

Los datos técnicos de los switches empleados se presentan a continuación:

Fabricante: ABB.  
 Configuración: Monofásico  
 Voltaje Máximo: 25 [kV]  
 BIL: 150 [kV]  
 Corriente nominal: 200 [A]  
 Tensión control: 120[VAC]  
 Modelo: PS15-1AMB-2121S

La expectativa de vida de estos dispositivos (Cierre-Apertura) es de 25000 operaciones.



Figura 3.9 Vacuum Switch ABB PS15.

### 2.3.1.8 Reactor de sintonía

Este reactor, instalado en cada una de las etapas, permite transformar la rama reactor-capacitor en un filtro de armónicas, sin perder la capacidad de los condensadores de proveer reactivos al sistema cuando se requiera. Ya que la inductancia se opone a cambios bruscos de corriente, en cierto modo este elemento también atenúa la magnitud de la corriente de conexión.

Etapa 1

Fabricante: Power Magnetics Inc.  
 Voltaje Nominal: 25 [kV]  
 BIL: 125[kV]  
 Sintonía 4,8<sup>th</sup>  
 Inductancia: 26,7 [mH]  
 Frecuencia: 50 [Hz]  
 N° Serie: 11147

## Etapa 2

Fabricante: Power Magnetics Inc.  
Voltaje Nominal: 25 [kV]  
BIL: 125[kV]  
Sintonía 6,8<sup>th</sup>  
Inductancia: 26,6 mH  
Frecuencia: 50 Hz  
N° Serie: 11149

## Etapa 3

Fabricante: Power Magnetics Inc.  
Voltaje Nominal: 25 [kV]  
BIL: 125[kV]  
Sintonía 4,8<sup>th</sup>  
Inductancia: 53,5 mH  
Frecuencia: 50 Hz  
N° Serie: 11148



Figura 3.10: Reactor de sintonía

### 2.3.1.9 Condensadores

Los condensadores son una de las piezas fundamentales dentro del equipo. Son los encargados de proveer los reactivos necesarios cuando la red se toma mayoritariamente inductiva haciendo disminuir el factor de potencia. Su entrada/salida al/desde la red dependerá del controlador de factor de potencia y el PLC encargado del funcionamiento de los equipos.

El diseño indica que sus capacidades, en términos de reactivos, son diferentes. La conexión de cada banco (en cada etapa) es en estrella con neutro flotante

A continuación, se resumen las características de las etapas

#### Etapa 1:

Fabricante: Cooper industries  
Configuración: Monofásicos, de dos bushing.  
Numero por fase: 2  
Potencia nominal: 660 [kVAr]

Tensión nominal: 16 [kV]  
BIL: 125 [kV]  
Frecuencia: 50 [Hz]  
Product number: CEP1219A1

#### Etapa 2:

Fabricante: Cooper industries  
Configuración: Monofásicos, de dos bushing.  
Numero por fase: 1  
Potencia nominal: 660 [kVAr]  
Tensión nominal: 16 [kV]  
BIL: 125 [kV]  
Frecuencia: 50 [Hz]  
Product number: CEP1219A1

#### Etapa 3:

Fabricante: Cooper industries  
Configuración: Monofásicos, de dos bushing.  
Numero por fase: 1  
Potencia nominal: 660 [kVAr]  
Tensión nominal: 16 [kV]  
BIL: 125 [kV]  
Frecuencia: 50 [Hz]  
Product number: CEP1219A1



Figura 3.11 Condensador monofásico de media tensión de Cooper Industries.

Cada uno con resistencia de descarga (50 [V], 5 minutos)

### 2.3.1.10 PQM II

Por cada sistema existen dos PQM II (Power Quality Metter) conectados.

El primero recibe las señales de tensión y corriente en la línea principal en la barra de 110[kV] del SEAT del metro, inmediatamente aguas arriba de los transformadores principales

El otro PQMII se encuentra en la etapa del filtro a 20,4[kV].

Estas señales son enviadas mediante un protocolo de información MODBUS RS-485 al PLC principal.



Figura 3.12: PQM II General Electric

Las mediciones son monitoreadas a través del panel frontal

Las teclas de navegación son usadas para observar la variable bajo medición o realizar ajustes en la configuración.

Características

Fabricante	General Electric.
Corriente de entrada	1 a 5 [A] secundarios
Tensión de entrada	40 a 600 [V]

### 2.3.1.11 Multinet

La conexión del PQM II con la red se hace por medio del adaptador MULTINET General Electric el que traspa la información desde un protocolo ModBus RS-485 a ModBus TCP/IP.



Figura 3.13: Multinet General Electric

Más información respecto a la indicación de LED ver manual de mantención.

Fabricante	General Electric
Alimentación	90-300 VDC

### 2.3.1.12 Controlador de Factor de Potencia, Tarjeta ELO-PL-220

El controlador de factor de potencia indica, al PLC, cuáles son las etapas que deben entrar o salir del sistema, según el factor de potencia medido. El controlador recibe la señal de corriente y tensión a través del PQM II y determina el factor de potencia actual; según aquél, se activan/desactivan las etapas del banco de filtros y controla la corriente por el reactor. Para esto último se envía las señales de control a la tarjeta ENERPRO FCOG6100 (ver figura), la cual realiza la sincronización y ajusta el ángulo de disparo de los tiristores según el requerimiento de potencia reactiva inductiva del sistema. La conexión entre esta última tarjeta y la que realiza finalmente el disparo de los tiristores (ENERPRO MTVB4-1) se realiza mediante fibra óptica.

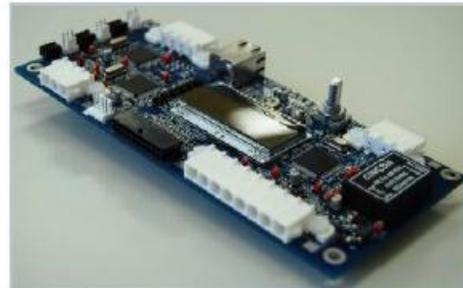


Figura 2.14 Tarjeta de control digital IDT ELO-PL220

La tarjeta ELO-PL220 cuenta con salidas digitales y analógicas y capacidad de comunicación RS232 y Ethernet lo que le permiten interactuar con dispositivos externos.

### 2.3.1.13 ENERPRO FCOG6100

Localizada en el filtro de armónicas, esta tarjeta realiza la sincronización y el control del ángulo de disparo según los requerimientos de potencia reactiva del sistema. Se encuentra conectada mediante fibra óptica a la tarjeta ENERPRO MTVB4-1.



Figura 2.15 Imagen referencial Tarjeta de Control digital

### 2.3.1.14 ENERPRO MVTB4-1

Tarjeta que se encuentra localizada en el gabinete de tiristores. Realiza el disparo de los tiristores mediante transformadores de pulso aislando el circuito eléctrico. Se encuentra conectada a la tarjeta FCOG6100 por fibra óptica.



Figura 2.16 Imagen referencial Tarjeta ENERPRO MVTB4-1

### 2.3.1.15 PLC

El equipo está compuesto por dos PLC, uno principal y esclavo que controlan las etapas del filtro de armónicas y el conjunto del reactor controlador por tiristores respectivamente.

#### 2.3.1.15.1 Principal

El PLC PACSystems RX3i de General Electric habilitará/deshabilitará las etapas correspondientes, por medio de las señales que recibirá del controlador de factor de potencia.

El módulo IC694MDL240 corresponde al módulo de entradas discretas, que es el que recibe las señales de comando desde el controlador de factor de potencia, las señales de fusible quemado de las etapas, los *trip* de cada una de las etapas y el *trip* del controlador de factor de potencia. También se recibe la señal de habilitación de bloqueo de llave.

El módulo IC694MDL350 es el de salidas discretas. Controla la apertura y cierre de las etapas, indica cuando un fusible, sea de etapas o línea principal, ha actuado y también indica el *trip* del controlador de factor de potencia.



Figura 3.17: Controlador serie PACSystems RX3i (General Electric).

Marca	General Electric
CPU	IC695CPU315
Entradas Discretas	IC694MDL240
Salidas Discretas	C694MDL350
Fuente de Alimentación	IC695PSA140

#### 2.3.1.15.2 Esclavo

La función de este PLC es enviar las señales al PLC principal sobre el estado del gabinete de tiristores.



Figura 2.18 PLC Esclavo

Marca	General Electric
CPU	IC693NIU004
Fuente de Alimentación	IC695PWR130

### 2.3.1.16 Fuentes

#### 2.3.1.16.1 DC-DC

Conectado desde la fuente de alimentación de 125 Vdc provista por METRO SA, esta fuente provee alimentación en 24Vdc a la tarjeta de control ELO-PL-220.

Fabricante	Wilmore
Modelo	1605-130-24-30
Voltaje Entrada	130 VDC
Voltaje Salida	24 VDC



Figura 3.19: Fuente de alimentación DC-DC Wilmore

#### 2.3.1.16.2 DC-AC

Conectado desde la fuente de alimentación de 125 VDC provista por el METRO SA, esta fuente provee alimentación al PLC principal en 115Vac

Fabricante	Wilmore
Modelo	1702-130-115-60
Entrada	130 VDC
Salida	115 VAC



Figura 3.20: Inversor DC-AC Wilmore

## 2.3.2 Reactor Controlado por Tiristores

### 2.3.2.1 Autotransformador

Conectado en la etapa del TCR, este autotransformador disminuye la tensión de entrada a los reactores bajando de 20,4 [kV] a 4,16[kV]. De esta manera se puede realizar un control de la potencia reactiva inyectada al sistema a menor tensión.

Fabricante	TUSAN
Norma de fabricación	IEC-ANSI
Número de fases	3
Numero de enrollados	2
Grupo de Conexión	Yna0
Potencia Nominal AT/BT	5500kVA
Tipo de Refrigeración	ONAN
Tensión Nominal AT/BT	20400/4160 V
BIL AT/BT	125/60 kV
Frecuencia Nominal	50Hz
Tipo de Aislante	Silicona
Tipo de preservación liquido aislante	Estanque Sellado

#### Elementos de protección del autotransformador

- Indicador de nivel del líquido aislante
- Termómetro del líquido aislante
- Relé Bucholz
- Válvula de alivio de presión
- Manómetro

#### Elementos de protección del autotransformador

- Indicador de nivel del líquido aislante
- Termómetro del líquido aislante
- Relé Bucholz
- Válvula de alivio de presión
- Manómetro



Figura 3.21: Autotransformador utilizado

### 2.3.2.2 Reactor

Conectado en Delta, el conjunto reactor - grupo de tiristores, entregan la potencia reactiva necesaria según requerimientos del sistema.

Fabricante GBE

Potencia Nominal AT/BT	5000kVA
Tipo de Refrigeración	ONAN
Tensión Nominal	4600 V
BIL	125 kV
Frecuencia Nominal	50Hz
Tipo de Aislante	Silicona

A continuación se muestra una imagen del conjunto TCR.

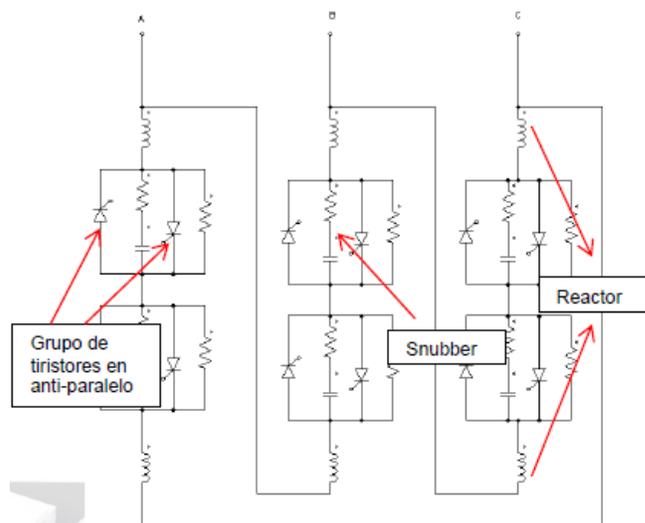


Figura 3.22: Diagrama de conexión del TCR.

### 2.3.2.3 Tiristores

El conjunto de tiristores, conectados en anti-paralelo y en serie con cada fase de bobinas del reactor (ver figura), controlan según el ángulo de disparo, la potencia reactiva inyectada al sistema y con ello, el factor de potencia.

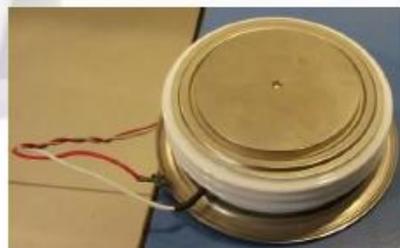


Figura 3.23: Tiristores ABB

Fabricante	ABB
Modelo	5STP 12K6500
VDRM	6500 V
$I_{TAV}$	1370 V
$I_{TSM}$	21,9 kA

### 2.3.2.4 Pararrayos

De la misma manera que el filtro, se requiere de un pararrayos para la protección por sobretensiones transitorias de esta etapa.

A continuación ser entregan sus datos de placa.

Fabricante:	Bowthorpe
Modelo:	Bow-I-PAA1-24L5E2M7
Tensión nominal:	24 [kV]
Capacidad máxima voltaje continuo (MCOV):	19 [kV]
Pressure relief capability:	40 [kA]



Figura 3.24: Pararrayos conjunto autotransformador-reactor

### 2.3.2.5 Transformador de corriente

Esta etapa cuenta con un TC conectado al gabinete de tiristores. Sirve para enviar magnitudes de corriente al relé de protección por desbalance de corrientes en caso de falla en los tiristores.



Figura 3.25: Transformador de corriente ISOLET

Fabricante:	ISOLET
Modelo:	BDE-2100
Razón:	500:5
Precisión:	0,5
BIL:	60[kV]

### 2.3.2.6 Snubber

Utilizado como protección del semiconductor, protege al semiconductor de sobretensiones en el arranque. Ver figura 3.22

Datos:

Resistencias	Vishay	4 en total ; 47 ohm , 800 W c/u
Condensador	Techcap	4 en serie 4,5 $\mu$ F c/u



Figura 3.26: Resistencias y condensadores tipo utilizados en Snubber

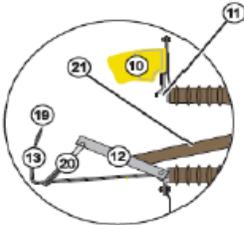
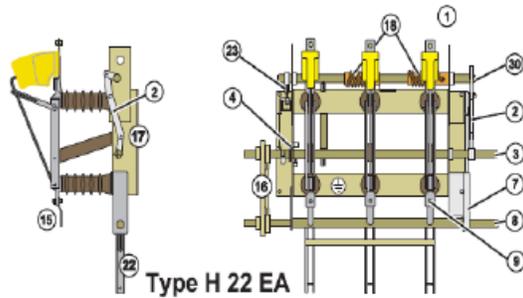
### 2.3.2.7 Desconectador principal y de puesta a tierra

Este desconectador es fabricado por DRIESCHER, instalado aguas arriba del sistema autotransformador-reactor

La operación de cierre y apertura son efectuados a través la fuerza de los resortes de torsión del mecanismo de almacenamiento de energía (18), que se aplican cuando se opera el eje de accionamiento del desconectador principal (3).

Si está el interruptor de puesta a tierra (C) en la posición ON, el enclavamiento mecánico (16) impide el cierre del desconectador principal. De la misma manera, la operación del eje de accionamiento del seccionador de tierra (8) sólo es posible, si el switch está en la posición OFF.

Fabricante:	Driescher
Voltaje Nominal:	24 [kV]
Tipo	H22EA
BIL:	125 [kV]
Corriente nominal:	630 [A]
Corriente de cortocircuito:	20 [kA]



Operating position OFF

Figura 3.27 Conexión del desconectador principal y de puesta a tierra.

### 2.3.2.8 Fusible de Media Tensión

Un fusible por fase en la etapa principal, marca SIBA, características se indican a continuación.

Fabricante:	SIBA
N° Parte:	30 022 14.200
Corriente:	200 [A]
C. Ruptura:	63 [kA]
Voltaje nominal:	10/24 [kV]
Largo:	292 [mm]

### 2.3.2.9 Ventiladores

El arranque de los ventiladores es directo, de la misma manera que el apagado, es decir no necesita de un sensor de temperatura para operar.



Figura 3.28: Ventiladores utilizados en el gabinete.

### 2.3.2.10 Sensor de Temperatura

Utilizado para la medición, monitoreo, visualización y regulación de la temperatura.

Se encuentran tres sensores por gabinete ubicados en cada pierna del reactor y uno en la base del gabinete de tiristores.



Figura 3.29: Sensor de temperatura

#### Características

Marca	Allen-Bradley
Número de Catálogo	837E-DC1BN1A1D4
Modelo	837E
Voltaje de operación	12-30 VDC
Corriente de Salida	< 250 [mA]
Temperatura de funcionamiento	-40 [°C] a 85 [°C]

### 2.3.2.11 Sensor flujo de aire

Una paleta flexible es impulsada por el flujo de aire proveniente de los ventiladores, accionando un contacto eléctrico. Este contacto puede indicar el flujo mínimo y máximo de aire indicando en que condición de funcionamiento se encuentra el ventilador (Encendido /Apagado). Esta se indica en la pantalla principal.



Figura 3.30: Sensor flujo de aire

#### Características

Marca	Fantini Cosmi
Modelo	FF71A
Voltaje Máximo	380 V
Corriente Nominal	10 A

### 2.3.2.12 Pantalla (HMI)



FIGURA 3.31: Pantalla de navegación

Fabricante	General Electric.
Modelo	IC754VSI06STD-KH
Tipo	6" Color -STN
DRAM	32MB
Dimensiones	158 mm x 126 mm x 70 mm

Ubicada en el gabinete de tiristores, esta pantalla proporciona información referente a estado del sistema de operación tanto del filtro de armónicas como el conjunto del reactor controlado por tiristores.

### 2.3.2.13 Sistema de seguridad por llaves

El sistema de seguridad que se utiliza, para energizar/desenergizar el banco, se basa en *llaves de seguridad*. Cada una de las llaves, que permite el acceso a uno de los compartimentos del banco, es dependiente de la puerta anterior, lo que significa que el proceso de habilitación/deshabilitación es secuencial-dependiente. Cada llave muestra el número de cerradura a la cual corresponde.

La figura 4.2 muestra las llaves a utilizar.



Figura 4.2: Llaves de cerradura en el banco.

## 2.4 SISTEMA DE PROTECCIÓN

El sistema de protección consta de varios elementos que proporcionan la protección necesaria a los equipos de potencia presentes tanto en el filtro de armónicas como en el reactor controlado por tiristores.

La protección principal se realiza mediante fusibles SIBA (cuyas características ya fueron descritas).

Para la protección ante sobrecargas y/o desbalances se emplea el relé de Benshaw, instalado en cada una de las ramas del filtro y utilizado para las protecciones de los tiristores del gabinete. Además cuenta con relés de sobretensión BASLER ELECTRIC en el neutro en los condensadores para la protección de estos mediante la medición de desplazamiento de la tensión de neutro.

La protección general de las unidades ante posibles sobretensiones transitorias, la proporciona los pararrayos en cada una de las unidades.

Las protecciones tanto de las etapas de autotransformador como las del reactor se basan principalmente en el estado de presión y temperatura de estos.

A continuación se mencionan los componentes más importantes utilizados para la protección.

### 2.4.1 Relé 59NC

El relé BASLER ELECTRIC BE1-59NC es un relé de tensión en el neutro que provee la protección para los bancos de condensadores. Hay tres tipos comunes de falla que este relé reconoce. Ellas son:

- Una falla en el material dieléctrico
- Falla en el aislamiento del banco de condensadores
- Fusibles fundidos

Como se ven en la figura, para la indicación de presencia de tensión el neutro, el LED (B) se ilumina en color rojo.



Figura 4.4: Relé 59NC

#### Ajustes

Etapas	Alarma [V]	Disparo [V]
1	5	10
2	12,5	25
3	12,5	25

Tabla 4.1: Ajustes de la protección de desbalance de tensión de neutro.

### 2.4.2 Relé de Sobrecarga BENSRAW

El relé de sobrecarga de la serie SPD se utiliza para protección en el filtro de las etapas 1, 2 y 3 y por desbalance en el gabinete de tiristores. Además del ajuste de corriente, este relé cuenta con diversas opciones, entre ellas: detección de falla de fase, detección de inversión de fase y detección de desbalance de fases.

En el filtro se utiliza para la detección de posibles sobrecargas en los reactores de las etapas producto de la inyección de corrientes armónicas. En este caso el valor RMS total de corriente es medido; es decir, este considera el valor RMS de

la fundamental más los valores RMS de cada componente armónica. De esta manera, los ajustes son:

Ajuste etapa 1	Ajuste etapa 2	Ajuste etapa 3
86[A]	43[A]	43[A]

Tabla 4.2 muestra el equipo de protección a emplear.



Figura 4.5: Relé Sobrecarga BENSCHAW SPD06S.

Mediante la apertura de los contactos inferiores se indica al PLC que el relé detecta alguna falla en el sistema.

### 2.4.3 Relé 86 de Enclavamiento

Utilizado en ambos gabinetes (tiristores y del filtro), el relé de enclavamiento Electroswitch Series 24 LOR, indica al usuario la presencia de falla en el sistema, activando el interruptor aguas arriba del equipo (propiedad del cliente) dejándolo enclavado para evitar su reconexión. Después de verificar la causa del disparo, sólo el control manual de este relé de enclavamiento puede habilitar nuevamente el sistema para el posterior cierre del interruptor principal (Desde la posición TRIP a RESET).



Figura 4.6: Relé de enclavamiento serie 24 LOR.