

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**MÉTODOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA Y OPTIMIZACIÓN
EN SISTEMAS ELÉCTRICOS APLICADO A LA OPERACIÓN DE
UN COMPLEJO MINERO**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

WILSON ABAL ALONZO RONQUILLO

PROMOCIÓN

1996 – I

LIMA – PERÚ

2006

**“MÉTODOS DE COMPENSACIÓN REACTIVA Y
OPTIMIZACIÓN EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
APLICADO A LA OPERACIÓN DE UN
COMPLEJO MINERO”**

Este trabajo está dedicado a mis queridos padres
y a mi esposa, quienes en todo momento
me apoyaron para concluirlo.

SUMARIO

El objetivo del presente trabajo es analizar las consideraciones de concepción de los Sistemas de Compensación para mantener un perfil de tensión exigido por las Normas Nacionales e Internacionales de Calidad de Energía, incluyendo la Filosofía de control del filtrado de armónicas y la corrección del factor de potencia. Es importante destacar la importancia que tiene el nivel de cortocircuito en barras de 220 KV para garantizar la operación normal de las cargas del complejo minero que tiene gran parte de estas conformados por electrónica de potencia.

En este estudio se detallará el modo de operación de los Sistemas de Compensación necesario para la operación normal de las cargas del complejo minero, que en su gran mayoría se trata de cargas no lineales y con exigencia de respuesta rápida ante una variación brusca de tensión.

Se describe también el comportamiento y la filosofía de control de los sistemas de compensación ante situaciones transitorias que se presentan por perturbaciones en el sistema de transmisión que convergen en el anillo de 220 kV de la Subestación Vizcarra y otras que se presentan en el sistema de distribución de 23 kV.

Se presenta conclusiones y recomendaciones sobre algunas mejoras a ser consideradas para aumentar la continuidad y confiabilidad de la operación a plena carga del complejo minero.

En cuanto a las condiciones de contingencia que se pueden presentar, éstas son analizadas y se establecen los procedimientos de operación para los Sistemas de Potencia.

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
SISTEMAS DE POTENCIA Y COMPENSACIONES ELÉCTRICAS	3
1.1 Introducción	3
1.2 Definiciones	3
1.2.1 Sistema de potencia	3
1.2.2 Estabilidad de sistemas de potencia	4
1.2.3 Características de los sistemas eléctricos de potencia	4
1.2.4 Operación sincrónica del sistema	5
1.2.5 Perturbación	5
1.2.6 Razones para la incorporación de la compensación en sistemas de potencia	5
1.3 Descripción de los sistemas de compensación	6
1.3.1 Elementos pasivos: condensadores y reactores	6
1.3.2 Compensación Estática Var (Static Var Compensation: SVC)	6
1.3.3 Filtros de armónicos	7
1.3.4 Compensadores síncronos	8
1.3.5 Condensadores síncronos	9
1.3.5,a Método de excitación Brushless	11
1.3.6 Sistemas corrección factor de potencia	11
1.4 Aplicaciones y tipos de SVC	11
1.4.1 TCR (Tryristor Control Reactor)	12
1.4.2 TCR/FC (Tryristor Control Reactor & Filter Harmonic)	12
1.4.3 TSC (Tryristor Shunt Capacitor)	13
1.4.4 TSC/TCR	14
1.4.5 SVC Technology	15
1.5 STATCOM	17

1.5.1	Comportamiento general	17
1.5.2	Características del STATCOM	18
1.5.3	Componentes del STATCOM	18
1.5.4	Principales objetivos del STATCOM	20

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE POTENCIA DE COMPLEJO MINERO	21	
2.1	Introducción	21
2.2	Subestación Vizcarra	22
2.2.1	Criterios de diseño eléctrico	22
2.3	Subestación Antamina	24
2.3.1	Diseño eléctrico	24
2.3.2	Coordinación de aislamiento	24
2.3.3	Protección contra descargas atmosféricas	25
2.3.4	Malla a tierra	25
2.3.5	Sistema de control	25
2.3.6	Sistemas de protección principal	25
2.3.7	Sistema de 125 Vcd aislado a tierra	26
2.3.8	Sistema de 48 Vdc – positivo puesta a tierra	26
2.3.9	Configuración eléctrica	26
2.4	Estudios y dimensionamiento del SVC de Vizcarra	28
2.4.1	Base de datos analizados	28
2.4.2	Objetivo del SVC	28
2.4.3	Diseño eléctrico y rango del SVC	29
2.4.4	Operación en estado estacionario	31
2.4.4,a	Rango capacitivo	31
2.4.4,b	Rango inductivo	32
2.4.5	Operación ante grandes perturbaciones	32
2.4.5,a	Rango capacitivo	33
2.4.5,b	Rango inductivo	34
2.4.5,c	Protección (o estrategia) de mínima tensión	35

2.4.6	Operación en el sistema Interconectado Nacional	35
2.4.6,a	Operación en estado estacionario	36
2.4.6,b	Análisis de estabilidad transitoria	36
2.4.7	Consideraciones de funcionamiento aislado	37
2.4.8	Conclusiones	38
2.5	Performance con armónicas	39
2.5.1	Análisis y modelamiento de los armónicos existentes del SINAC	39
2.5.2	Armónicas de corriente y tensión en los filtros del SVC Vizcarra	42
2.5.3	Armónicas de corriente y tensión en los filtros de Antamina	43
2.6	Condiciones críticas de operación del sistema	46
2.7	Operación trifásica del SVC	48

CAPÍTULO III

COMPENSACION REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICAS	50	
3.1	Introducción	50
3.2	Fuentes principales de armónicos	51
3.2.1	Corrientes armónicas generadas por los cicloconvertidores	51
3.2.2	Corrientes armónicas generadas por variadores de velocidad y otras cargas	54
3.2.3	Corrientes armónicas generadas por el SVC	54
3.2.4	Corrientes armónicas generadas por cargas externas	54
3.3	Sistema Power Factor Correction (PFC)	54
3.3.1	Operación normal del PFC	55
3.3.2	Componentes del PFC	56
3.3.3	Condensador síncrono	56
3.3.3,a	Sobre excitación y sub excitación	57
3.3.3,b	Proceso de arranque del condensador síncrono	57
3.3.3,c	Módulo de excitación Unitrol F	58
3.3.3,d	Límites del condensador síncrono	58
3.3.4	Filtros de armónicos	59
3.3.3,a	Factor de calidad de filtros	59

3.3.3,b	Aplicación de filtros	59
3.4	Influencia de la red topología en la estabilidad	61
3.4.1	Escenarios de importancia	61
3.5	Influencia de la red topología en los niveles de armónicos	67
3.5.1	Análisis de frecuencia y armónicos	67
3.5.2	Resultados de THD y armónicos individuales	68
3.6	Energización de transformador de potencia	70
3.7	Energización de los filtros en Antamina	70
3.8	Conclusiones	70

CAPÍTULO IV

COMPORTAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA DE POTENCIA DEL COMPLEJO MINERO

		71
4.1	Introducción	71
4.2	Localización e importancia de subestación Vizcarra	71
4.3	Localización e importancia de la subestación Antamina.....	72
4.4	Condiciones de operaciones de las cargas importantes	76
4.5	Procedimiento de maniobras de Power Systems	78
4.6	Problemas que se presentan en Power Systems	78
4.6.1	Problemas resaltantes durante el periodo de arranque de planta	79
4.6.2	Descargas atmosféricas en 220 kV	81
4.6.3	Robos de los sistemas de puesta a tierra de la línea L2255	82
4.6.4	Fallas en las líneas y equipos involucrados al anillo Vizcarra	83
4.6.5	Descargas atmosféricas en 23 kV	84
4.6.6	Fallas por cortocircuitos producidos por aves en 23 kV	84
4.6.7	Problemas de sobretensiones ocasionadas por maniobras y/o resonancias	85
4.6.8	Sensibilidad de los equipos de electrónica de potencia	87
4.6.9	Riesgos causados por fluctuaciones en la red	88
4.6.10	Fallas de los molinos por pérdida de aislamiento	88
4.6.11	Importancia de los condensadores síncronos en la estabilidad	

	de los Sistemas de potencia	89
4.6.12	Comportamiento del sistema PFC ante variaciones bruscas de Potencias	89
4.6.13	Comportamiento del SVC ante fallas	90

CAPÍTULO V

	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES	92
5.1	Introducción	92
5.2	Oportunidades de mejoras	92
5.3	Línea L2255 – 220 KV (Vizcarra – Antamina)	93
5.3.1	Descargas atmosféricas en 220 KV	93
5.3.2	Mejoramamiento de la puesta a tierra en línea en 220 KV	98
5.3.3	Torres de emergencia para contingencia en línea en 220 KV	99
5.4	SVC – Subestación Vizcarra	99
5.4.1	SVC – Sistema de control Mach2 y OWS (Operador Work Station).....	100
5.4.2	Estudio actualizado del sistema de potencia sin SVC	101
5.5	Mejora en la filosofía de control del PFC – Subestación Antamina	102
5.5.1.	Mejora en el comportamiento del condensador síncrono ante perturbaciones.....	104
5.5.2	Mejora en la sincronización de los condensadores síncronos	110
5.6	Propuesta de implementación de fusiles de potencia ultrarrápidos en circuito mina	112
5.7	Revisión y corrección a los sistemas de protecciones Subestación Antamina.....	127
5.8	Modelamiento del sistema de potencia de Antamina	127
5.9	Análisis del comportamiento de armónicos	128
5.9.1	En las subestaciones Antamina y Vizcarra	128
5.9.2	En los circuitos de las palas y perforadoras de la mina	134
5.10	Línea de distribución 23 KV – circuitos mina / otros	136
5.11	Instalación de apartarrayos activos – Mejora de protección contra descargas atmosféricas	137

5.12 Análisis de los problemas de aislamiento en los motores importantes ... 140

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA 142

6.1 Introducción 142

6.2 Parámetro medibles 142

6.3 Parámetros no medibles 142

6.4 Análisis de las inversiones 143

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 146

ANEXO A

ESCENARIOS ANALIZADOS PARA FLUJO DE CARGA Y CORTOCIRCUITO 149

ANEXO B

ESCENARIOS ANALIZADOS EN ESTADO DINÁMICO PARA DISEÑO DEL SVC 156

ANEXO C

ESCENARIOS ANALIZADOS DE LOS ARMÓNICOS 162

ANEXO D

NIVELES DE ARMÓNICOS DE ANTAMINA Y SISTEMA EXTERNOS 168

ANEXO E

VALORES DE V_{THD} MEDIDOS Y CALCULADOS CONSIDERADOS POR ABB 174

ANEXO F

MEDICIONES DE LOS NIVELES ARMÓNICOS ACTUALIZADOS AL2006 183

ANEXO G

EFFECTOS DE ENERGIZACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES Y FILTROS 198

ANEXO H

PROCEDIMIENTO DE MANIOBRAS DE SISTEMA DE POTENCIA 205

ANEXO I

ESTADÍSTICA DE FALLAS DEL 2002 AL 2006 221

ANEXO J

PAPERS DE APLICACIONES DE PARARRAYOS TLA 230

BIBLIOGRAFÍA..... 237

PRÓLOGO

El presente trabajo tiene por finalidad el análisis de los diferentes modos de compensación en Sistemas de potencia, los cuales fueron diseñados y dimensionados para el funcionamiento de las cargas basadas en aplicaciones de Electrónica de Potencia que forman parte del control y conversión de la energía eléctrica por medio de dispositivos semiconductores de potencia que trabajan como interruptores controlados.

Sabemos que las funciones de los sistemas de compensación son importantes para garantizar las operaciones de los sistemas eléctricos en los cuáles se necesita estabilidad transitoria y mantener perfiles de tensiones aceptables que cumplan con las exigidas por la Norma de Calidad de Energía. Además de compensar el factor de potencia para tener mayor disponibilidad de carga y disminuir las pérdidas

Asimismo se analizará las respuestas de potencia reactiva dinámica, según las contingencias que se presentan en el sistema los cuales revelan que muchas perturbaciones no pueden ser mitigadas ocasionando la caída de tensión transitoria en la subestación Antamina. La importancia de los niveles de potencia de cortocircuito y estabilidad de tensión tiene relación directa con los equipos de compensación que se encuentran en servicio en el Sistema de Potencia.

Se detallan también las limitaciones actuales de los sistemas de compensaciones (SVC: Static Var Compensation y PFC: Power Factor Correction) con relación a las perturbaciones transitorias presentadas en el sistema de 220 kV y 23 kV y las respuestas de las protecciones de las cargas no lineales instaladas en el complejo minero.

En el Capítulo I: “Sistemas de Potencia y Compensaciones Eléctricas”, se detallan los conceptos fundamentales y los diferentes sistemas de compensaciones.

En el Capítulo II: “Sistemas de Potencia del Complejo Minero”, se detallan los componentes que constituyen el Sistema de Potencia que convergen en el anillo de la subestación Vizcarra y las instaladas en la subestación Antamina.

En el Capítulo III: “Compensación Reactiva y Filtrado de Armónicas”, se detalla el diseño y dimensionamiento de los equipos de compensación y filtrado.

En el Capítulo IV: “Comportamiento actual del Sistema de Potencia del Complejo Minero”, se detallan las perturbaciones y limitaciones de los sistemas de compensación.

En el Capítulo V: “Planteamiento de alternativas de soluciones”, se analizan y plantean alternativas de soluciones a los casos estudiados para mitigar las perturbaciones que se encuentran presentes en la actual topología del Sistema de Potencia.

En el Capítulo VI: “Evaluación Económica”, se detallan los análisis costo beneficio de los diferentes proyectos de mejoras continuas.

Quiero agradecer a la compañía minera Antamina por permitirme realizar el presente trabajo con fines de investigación académica y de desarrollo profesional.

CAPÍTULO I

SISTEMAS DE POTENCIA Y COMPENSACIONES ELÉCTRICAS

1.1 Introducción

La Potencia Reactiva esta presente en todo sistema de potencia de corriente alterna. Esta potencia deberá ser controlada y/o compensada para que no cause inestabilidad, desbalance y pérdidas.

En los sistemas eléctricos de potencia que están conectados por líneas relativamente débiles los problemas de oscilaciones de potencia resultan frecuentes. El amortiguamiento y/o compensación es uno de los factores que determina la capacidad de transmisión. La compensación de la potencia reactiva reduce la distancia de la generación y el último consumidor e incrementa la acción de amortiguamiento de manera que más potencia pueda ser transmitida evitando o posponiendo la instalación de nuevas líneas.

Los sistemas de potencia fuertes se distinguen por una respuesta rápida a la estabilidad de potencia y por un factor de potencia cercano a la unidad que da capacidad al sistema de potencia de transmitir mayores potencias y por ende mayor energía.

En el presente capítulo se definirá los conceptos generales que determinan las cualidades de los Sistemas de Potencia con relación a los equipos de compensación, los cuales tienen su importancia en el comportamiento de dicho sistema.

1.2 Definiciones

Se definen los siguientes puntos:

1.2.1 Sistema Eléctrico de Potencia

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) es el conjunto de unidades de generación con sus respectivos controladores, transformadores de todos los tipos,

líneas de transmisión, cargas, equipos de compensación reactiva (fijos y controlados), equipos de protección y maniobra, etc.

1.2.2 Estabilidad de Sistemas de Potencia

La estabilidad de los sistemas de potencia es una característica o propiedad que le permite permanecer en un estado de operación o de equilibrio bajo condiciones normales de operación y recuperar este estado de equilibrio aceptable después de haber sido sometido a una perturbación.

Un sistema de potencia se dice que está operando en un estado "estable" si permanece funcionando en un estado operativo de régimen aceptable (las variables eléctricas del sistema: tensión, corriente, etc.) y se mantiene constante al pasar el tiempo y dentro de un rango de valores aceptables. Cuando es perturbado desde un estado operativo de régimen aceptable es capaz de retornar en un tiempo aceptable a un estado operativo de régimen estable.

La selección clásica de las variables que se monitorean para decidir si el estado del sistema es estable son las siguientes:

- Ángulos (posición) de los rotores de las máquinas (estabilidad "de ángulo").
- Tensión de las barras de la red (estabilidad "de tensión").

1.2.3 Características los de Sistema Eléctricos de Potencia

Los Sistemas Eléctricos de Potencia se caracterizan por lo siguiente:

- Modelos matemáticos del sistema eléctrico, componentes y estructuras.
- Técnicas de cálculo y modelos de solución.
- Estudios de flujo de cargas, estudios de cortocircuito, sistemas de protección, regulación de tensión y consideraciones económicas.
- Regulación de frecuencia: primaria, secundaria y estrategias de control.
- Estabilidad sincrónica de sistemas: estática, dinámica y transitoria (efecto de reguladores automáticos).
- Transitorios electromagnéticos y sobre tensiones: temporarias, transitorias y del tipo atmosféricas.

1.2.4 Operación Síncrona del Sistema

Una máquina está en operación síncrona con la red o con otra máquina síncrona a la cual está conectada si su velocidad angular eléctrica promedio es igual a la frecuencia angular eléctrica de la tensión de la red alterna o a la velocidad angular eléctrica de la otra máquina.

Un SEP está en operación sincrónica si todas las máquinas síncronas conectadas están en operación síncrona (en paralelo: tensión y frecuencia iguales) con la red alterna y con cada una de ellas.

1.2.5 Perturbación

Una perturbación en un SEP es un cambio o consecuencia de cambios en uno o más parámetros del sistema, o en una o más cantidades físicas.

Pequeñas perturbaciones son eventos de pequeña magnitud, que pueden considerarse como normales dentro de la operación de estado estacionario del sistema. Asimismo, estos eventos pueden linealizar sus ecuaciones diferenciales que describen el SEP para propósitos de análisis.

Grandes perturbaciones son eventos de gran magnitud como por ejemplo cortocircuitos, salida intempestiva de la línea o transformador, pérdida del campo en un generador de una central, pérdida del grupo de generación, pérdida de un bloque importante de carga, etc. Son eventos para los cuales las ecuaciones diferenciales que describen al SEP no pueden ser linealizadas para propósitos de análisis.

1.2.6 Razones para la incorporación de compensación en Sistemas de Potencia

Las razones consideradas son las siguientes:

- Estabiliza la tensión en sistemas eléctricos débiles.
- Reduce las pérdidas en los sistemas de transmisión
- Incrementa la capacidad de transmisión postergando la necesidad de nuevas líneas.
- Incrementa el límite de estabilidad transitoria.
- Mejora el control de tensión y de la estabilidad.

- Amortigua las oscilaciones de potencia y responde en forma rápida.

1.3 Descripción de los Sistemas de compensación

Los Sistemas de compensaciones tienen por objetivo fortalecer los sistemas eléctricos débiles para mantener un perfil de tensión estable y una potencia de cortocircuito elevada. También los sistemas de compensaciones tratan de compensar las potencias reactivas aumentando la capacidad de disponibilidad de potencia activa de los sistemas eléctricos, mejorando la calidad de energía por los controles de las distorsiones de parámetros eléctricos.

Se definirán a continuación los diferentes tipos de sistemas de compensación que se aplican en los Sistemas de Potencia

1.3.1 Elementos Pasivos: Condensadores y Reactores

Los Elementos pasivos de compensación son aquellos que al paso de la corriente y sometidos a una tensión entregan o consumen energía reactiva.

- Condensadores: Son los que generan potencia reactiva, debido a que la corriente que circula se encuentra en adelanto respecto a la tensión que es sometida. En los sistemas eléctricos de potencia ayudan a mejorar el perfil de tensión (elevan las tensiones) y son puestos en servicio para compensar las caídas de tensión y asegurar la operación de las cargas con los límites permitidos por los fabricantes.
- Reactores: Son los que consumen potencia reactiva, debido a que la corriente que circula se encuentra en atraso respecto a la tensión que es sometida. En los sistemas eléctricos de potencia ayudan a mejorar el perfil de tensión (controlan las sobre tensiones) y son puestos en servicio antes de tensionar líneas largas de transmisión.

1.3.2 Compensación Estática Var (Static Var Compensation:SVC)

El SVC es un equipo estático de compensación que ayuda a regular y compensar los parámetros eléctricos (tensión, potencia reactiva, perturbaciones transitorias del sistema de potencia, etc), que está constituido por reactores controlados y condensadores filtros de armónicos

El SVC podrá parecerse como una fuente dinámica de corriente teniendo reacción en periodos de sub ciclos (ms). El uso de las válvulas de tiristores permite un rápido “switching” (disparos: conducción y no conducción) y paso de corriente por los reactores que consumen potencias reactivas inductivas. La parte de condensadores esta normalmente en servicio generando potencias reactivas capacitivas por el paso de corrientes a frecuencia industrial.

En los SVC la configuración puede tener a los bancos de capacitores conmutados (controlados por medio de tiristores) y otros directamente por medio de los interruptores de potencia (paso directo de corriente).

Los controles de las válvulas de los tiristores están controlados por medio de modulación de ángulos (PWM: Modulación por ancho de pulso) y pasan corriente controladas directamente a los reactores de aire.

La combinación de las potencias reactivas inductivas y reactivas capacitivas son controlados por un control computarizado que en el caso de ABB lo ha denominado MACH2 que en todo momento tiene la premisa de controlar la tensión a 1.02pu (224.4 KV) contando con un rango de acción de +90 MVAR a -45 MVAR.

Es conocido que los “switching” (conmutación) de los tiristores producen corrientes armónicas del orden impar dependiendo de los números de pulsos de los tiristores.

A continuación se enumera los propósitos del SVC:

1. Regular los __ KV de voltaje de línea en transmisión por suministros: Lagging (atrasado) o leading (adelantado) Vars dentro del rango de operación del SVC.
2. Reduce las sobre tensiones en las líneas de transmisión causadas por switching (conmutación) y reconexión de cargas.
3. Provee respuestas dinámicas ante sobre tensiones y sub tensiones.
4. Performance (comportamiento) de otras funciones como fueron especificados por el usuario.

1.3.3 Filtros de armónicos

Los filtros de armónicos son aquellos componentes pasivos que cumplen con la eliminación de corrientes armónicas por el método resonancia en serie para el atrapamiento de dichas corrientes. Los filtros de armónicos son diseñados de

acuerdo a los niveles de distorsiones de corrientes armónicas para su dimensionamiento y sintonización (frecuencia de resonancia). Es importante mencionar que los niveles de las distorsiones de las tensiones son perjudiciales para la operación de los equipos de características no lineales (constituidos por componentes de electrónica de potencia).

Para evitar la distorsión armónica en la red de 220KV el SVC contiene filtros de armónicos internos de los ordenes de 5th, 7th y 11th armónica. Estos filtros proveen parte de reactivos capacitivos a frecuencia industrial (60Hz). En los sistemas de transmisión son a menudo usados para el control del voltaje en la barra donde son conectados. El control de voltaje es típicamente trifásico dentro de un set de control de lazo cerrado y en algunos casos el control es monofásico lo que permite contrarrestar a un sistema de transmisión desbalanceado.

Para la barra de 23 KV, se cuenta con filtros de armónicos diseñados y dimensionados para filtrar los armónicos que se producen en el sistema eléctrico del complejo minero.

1.3.4 Compensadores Síncronos

Llamados también motores síncronos que son convertidores electromecánicos de energía con una pieza giratoria denominada rotor o campo, cuya bobina se excita mediante la inyección de una corriente continua. Las corrientes alternas que circulan por los devanados del estator producen un campo magnético rotatorio que gira entre el entrehierro de la máquina con la frecuencia angular de las corrientes de armadura. El Rotor debe girar a la misma velocidad del campo magnético rotatorio producido en el estator para que el torque eléctrico medio pueda ser diferente de cero. Por esta razón a esta máquina se la denomina sincrónica; el rotor gira mecánicamente a la misma frecuencia del campo magnético rotatorio del estator durante la operación en régimen permanente.

Por las características de reversibilidad, la máquina sincrónica se utiliza como elemento motriz o como generador.

Por las ventajas que presentan estas máquinas se ha incrementado el número de aplicaciones en las cuales son utilizadas por medio de dispositivos controlables modernos de fuentes de frecuencia y tensión variables a este tipo de máquina.

Una de las aplicaciones más comunes son los compensadores de factor de potencia.

1.3.5 Condensadores Síncronos

Los condensadores síncronos son dispositivos que ajustan el factor de potencia del circuito a la unidad, aumentando la capacidad del circuito gracias a minimizar la potencia aparente requerida para una potencia activa determinada, a la vez que mejoran la estabilidad del sistema.

Los condensadores síncronos son utilizados netamente para la corrección de factor de potencia y trabajan en vacío. Estas máquinas tienen ejes que ni siquiera van de un lado al otro del armazón del motor, o sea, que ninguna carga (de trabajo) se les podría acoplar, tales motores síncronos de destinación específica se han denominado frecuentemente condensadores síncronos.

Los Condensadores Síncronos son esencialmente proyectados para funcionar con un factor de potencia nulo sin carga mecánica conectada. Graduando la excitación, un condensador síncrono puede suministrar tanto potencia inductiva como capacitiva. Cuando se conecta a un circuito en el que la corriente esta retrasada respecto a la tensión, es decir en donde la carga media es inductiva, el condensador se hace funcionar sobre excitado de modo que suministra parte de la potencia reactiva inductiva y ajusta el factor de potencia hacia la unidad. Si por el contrario la carga media del circuito es capacitiva y la corriente adelanta a la tensión, el condensador síncrono se hace funcionar sub excitado, de modo que consume parte de la potencia reactiva a fin de ajustar el factor de potencia a la unidad. Puesto que normalmente se necesita que los condensadores síncronos suministren potencia reactiva inductiva, se proyectan su capacidad de potencia en sobre excitado (como condensador) sea aproximadamente el doble que su potencia en sub excitación (como motor).

El gráfico 1.1 muestra curvas características típicas de un condensador síncrono refrigerado por aires.

La familia de curvas en V (tensión) del gráfico 1.2 ilustra la forma en la que un condensador síncrono mejora la estabilidad del sistema. A excitación constante, una

caída en la tensión del sistema aumentará la salida de potencia reactiva del condensador si esta funcionando sobre excitado y la disminuirá si esta funcionando sub excitado. Ambos efectos tienden a mantener constante la tensión del sistema. La magnitud del cambio en la salida de potencia reactiva para un cambio dado en la tensión del sistema depende del grado de saturación del circuito magnético en el condensador

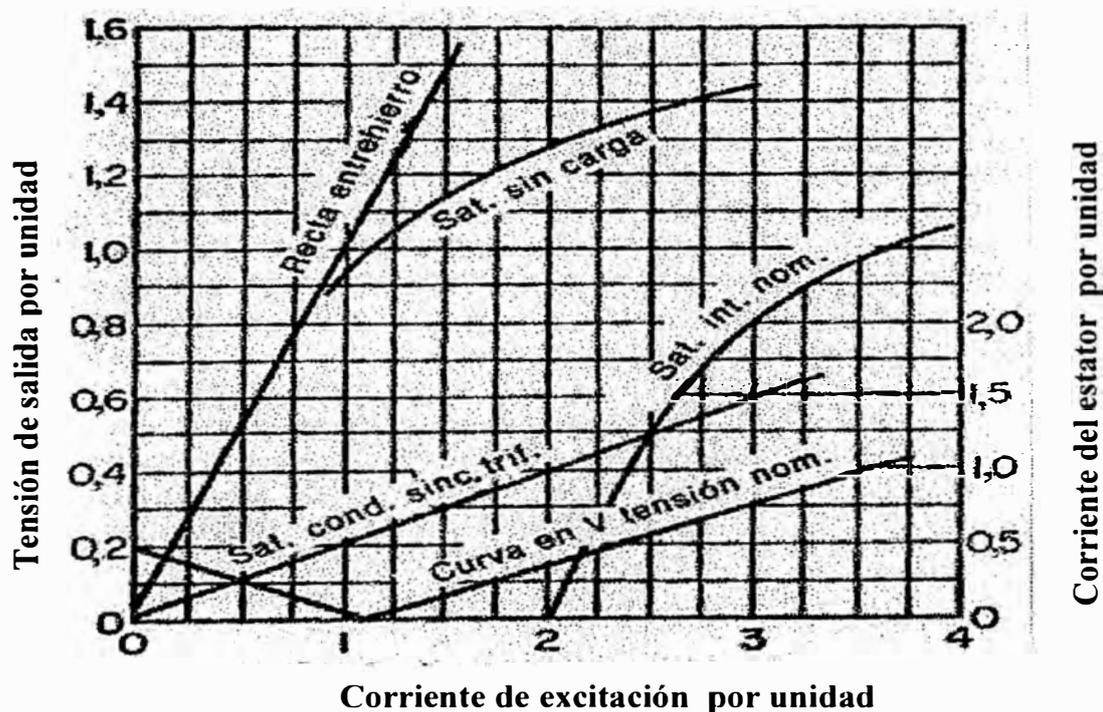


Gráfico 1.1 – Curvas características típicas de un condensador síncrono refrigerado por aires

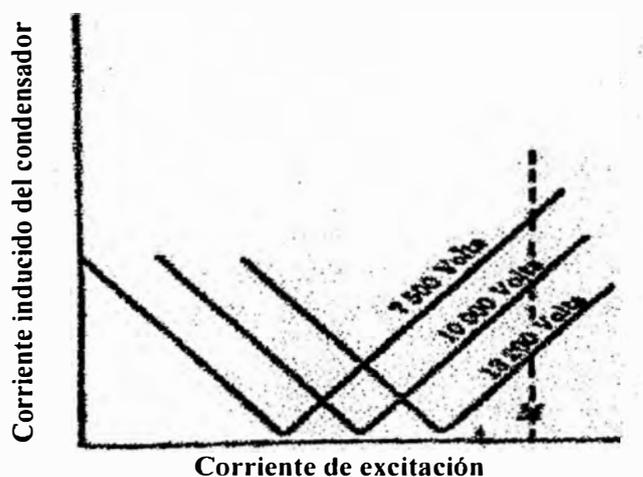


Gráfico 1.2 – Curvas en V típicas de un condensador síncrono

1.3.5.a. Método de Excitación Brushless

Una excitatriz sin escobillas (excitación Brushless) es un generador de Corriente Alterna (CA) pequeño con su circuito de campo montado sobre el estator y su circuito de inducido montado sobre el eje del rotor. La salida trifásica de la excitatriz (del circuito inducido) se rectifica a corriente continua con un circuito rectificador trifásico, montado también sobre el eje del generador y luego inyectado al circuito de campo principal de la máquina síncrona. Controlando la escasa corriente continua en la excitatriz (localizada en el estator), es posible ajustar la corriente de campo en la máquina principal sin anillos rozantes ni escobillas. Puesto que nunca ocurre un contacto mecánico entre el rotor, una excitatriz sin escobillas, requiere mucho menos mantenimiento que los anillos y las escobillas

1.3.6 Sistemas Corrección de Factor de Potencia (PFC)

Es un sistema de Corrección del Factor de Potencia(PFC) automática, que está constituido por máquinas rotativas de compensación reactiva y elementos pasivos del tipo filtros de armónicos con predominancia capacitiva.

El control es gobernado por un PLC (control lógico programable) que permanentemente tiene las lecturas de potencias activas, potencias reactivas y ordena al Unitrol (control de corriente de excitación) manteniendo el factor de potencia en un valor establecido (para el caso de esta aplicación este valor es 0.96).

La regulación fina lo realizan los condensadores síncronos (motores síncronos sin carga acoplada) y la regulación gruesa lo realizan los bancos de filtros que ingresan por pasos del orden promedio de 5MVar capacitivo.

1.4 Aplicaciones y tipos de SVC

Los diferentes avances en materia de sistemas de compensación y en especial desarrollados en materia del SVC han dado lugar a diferentes configuraciones y tipos las cuales se resumen a continuación:

1.4.1 TCR (Thyristor Control Reactor)

Este tipo de SVC tiene los tiristores que controlan el paso de la corriente por el reactor (parte inductiva).

Un reactor y válvulas de tiristores son incorporados en cada fase y la potencia es controlada por medio de la corriente a través del reactor con válvulas de tiristores. El control es por disparos en los tiristores y por el natural bloqueo cuando la onda de corriente pasa por cero. El tipo TCR comúnmente es usado con un banco de capacitores (filtros) que genera reactivos capacitivos.

Sus principales características son:

- Control continuo.
- No transitorios (no son significativos cuando se realiza el switching).
- Generación de armónicos.

A continuación se muestra la configuración de este tipo de SVC

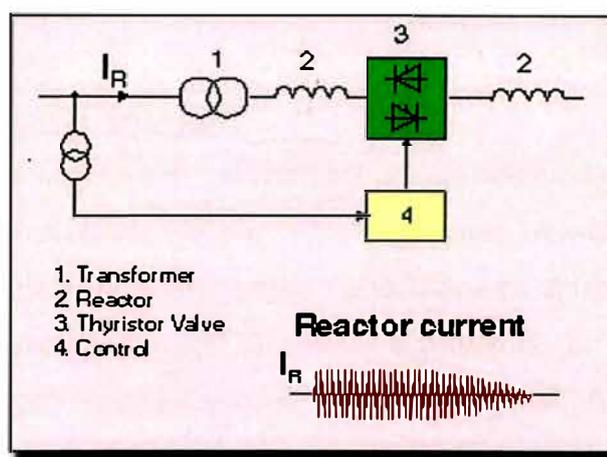


Gráfico 1.3 – Configuración del SVC tipo TCR

1.4.2 TCR/FC (Thyristor Control Reactor & Filter Harmonic)

Un tiristor controlado por reactor es usado en combinación con arreglos de banco de capacitores cuando las potencias reactivas generadas son requeridas. Esta es siempre una solución para los sistemas de sub transmisión que suministran a las cargas industriales como cargas de fundición, molinos de rodamientos y procesos mineros.

Las características son:

- Control continuo.
- No transitorios (no son significativos cuando se realiza el switching).

- Eliminación de corrientes armónicas por sintonización de filtros y diseños compactos.

A continuación se muestra la configuración de este tipo de SVC

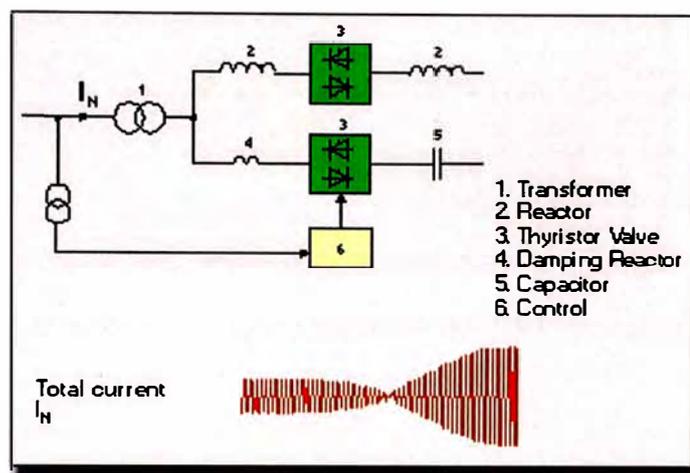


Gráfico 1.4 – Configuración del SVC tipo TCR + FC

1.4.3 TSC (Thyristor Shunt Capacitor)

Un banco shunt de capacitores es dividido por un adecuado número de ramas de banco de condensadores. Cada rama es individualmente switchheado (conmutado) en o por medio de una válvula con tiristores conectados en antiparalelo. Todos las conmutaciones toman lugares cuando el voltaje a través de la válvula de tiristor pasa por cero y provee conmutaciones libres de transitorios trifásicos. La desconexión es afectada por supresión de pulsos de disparos de los tiristores, los cuales se bloquearían cuando la corriente es cero.

Las características de un TSC son:

- Control de paso a paso.
- No transitorios.
- No armónicos.
- Bajas pérdidas, redundancias y flexibilidad.

A continuación se muestra la configuración de este tipo de SVC

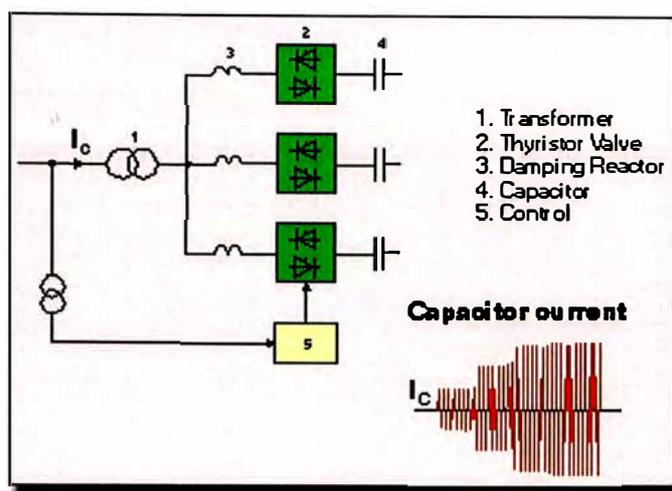


Gráfico 1.5 – Configuración del SVC tipo TSC

1.4.4 TSC/TCR

Una combinación de TSC y TCR en la mayoría de los casos es una solución óptima para los sistemas. Con la combinación TSC/TCR la variable de potencia reactiva continuamente es obtenida por todo el complemento del rango de control (puede compensar eficientemente al límite máximo inductivo como al límite máximo capacitivo). Es decir se tiene full control de ambos lados de la inductiva y capacitiva.

Con un compensador combinado continuamente la potencia reactiva es obtenida con un mejor rango INDUCTIVO y CAPACITIVO. Esta es una ventaja que permite un comportamiento óptimo durante largos disturbios en Sistemas de Potencia.

Las características de un TSC/TCR combinado son:

- Control continuo
- No transitorios.
- Baja generación de armónicos.
- Baja pérdida
- Redundancia

- Flexibilidad en el control y operación

A continuación se muestra la configuración de este tipo de SVC

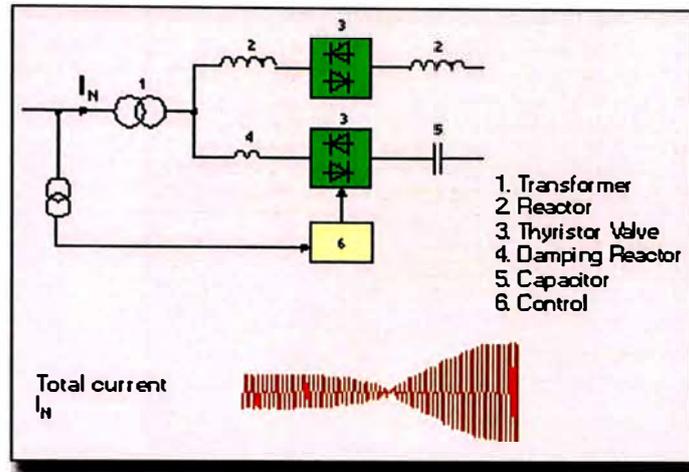


Gráfico 1.6 – Configuración del SVC tipo TSC / TRC

1.4.5 SVC Technology

Las instalaciones de SVC consisten de un número de bloques de construcciones (E-House). El más importante es la válvula del tiristor, es decir los ensambles de una serie de tiristores conectados en antiparalelo proporcionan la controlabilidad. Los reactores de núcleo de aire y los capacitores de altos voltajes AC son los elementos de potencia reactiva usados conjuntamente con las válvulas del Tiristor. El SVC se conecta al sistema de transmisión a través de un transformador. Las válvulas de los tiristores se encuentran dentro del E-house con los servicios auxiliares y los reactores y condensadores filtros en el patio de llaves.

A continuación se muestra un gráfico representativo de las válvulas de Tiristores

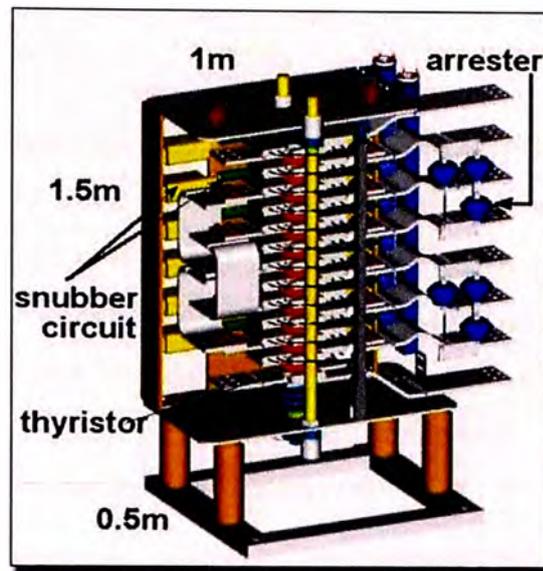


Gráfico 1.7 – Válvula de tiristores del SVC

Las principales razones para incorporar el SVC en los sistemas de Transmisión y distribución son:

- Estabilizar el voltaje en sistemas débiles.
- Reducir las pérdidas de la transmisión.
- Incrementar la capacidad de transmisión, prolongando la necesidad de las construcciones de nuevas líneas.
- Incrementar los límites de estabilidad transitoria.
- Incrementar la caída (magnitud) de pequeños disturbios.
- Mejorar el control del voltaje y estabilidad.
- Balancear la potencia ante caídas (to damp power swings)

En el diseño del SVC es importante considerar los datos de máxima y mínima potencia de corto circuito trifásico y monofásico (MVA – MVA-L-G).

Dependiendo de los niveles de corto circuito (condiciones de máximos y mínimos), deberán proveerse de armónicos del rango de 2nd al 25 th por el usuario.

1.5 Statcom

La función de un Static Compensators (STATCOM) es similar al de un condensador síncrono. En general esto provee compensación de potencia reactiva para resolver una variación en sistemas de potencia y sistemas industriales como las fluctuaciones de voltajes y condiciones de estabilidad. Un completo sistema STATCOM básicamente consiste de una fuente de voltaje DC, auto convertidor conmutado usando GCT tiristor, y un transformador elevador.

En el gráfico 1.6 se ilustra la configuración básica del Statcom

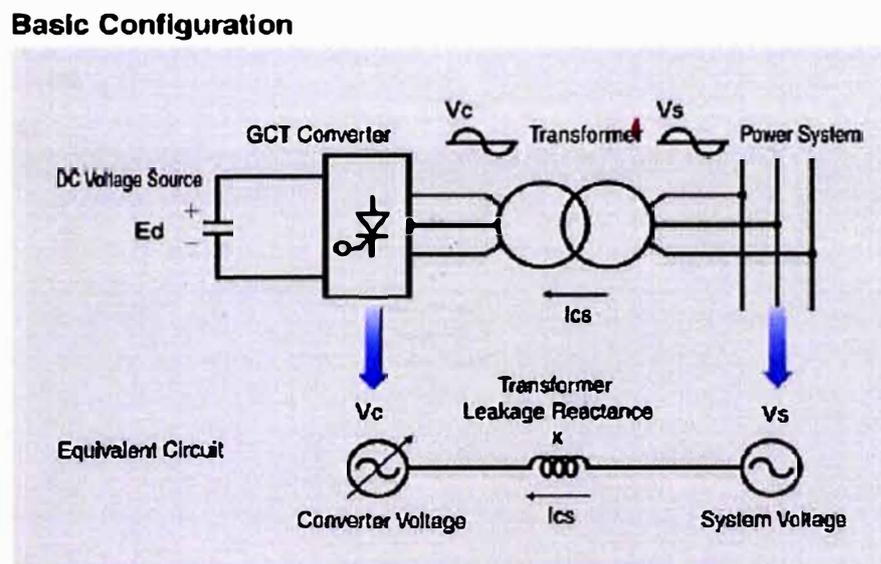


Gráfico 1.8 – Configuración básica del Statcom

1.5.1 Comportamiento General

Es esencial para la estabilidad del suministro y la demanda de potencia activa y reactiva en un sistema eléctrico de potencia. Si la estabilidad es perdida la frecuencia y voltaje del sistema puede ocasionar un colapso de sistema de potencia. Static Compensation (STATCOM) technology es una de los avances de electrónica de potencia conocido como FACTS (sistemas flexibles de transmisión de corriente alterna controles), cual provee rápida y continua potencia capacitiva e inductiva al sistema de potencia.

1.5.2 Características de STATCOM

- Tamaño compacto
- Voltaje del sistema mantenido y estabilizado por control suave sobre un rango de condiciones de operación.
- Respuesta dinámica siguiendo condiciones de contingencias.
- Alta confiabilidad con diseño de convertidor paralelo redundante y construcción modular.
- Flexibilidad de futura reconfiguración para BTB (back to back) transmisión de potencia o UPFC (Unidad Controladora de Flujo de Potencia)

En el gráfico siguiente se muestra los principios de los modos de operación del Statcom

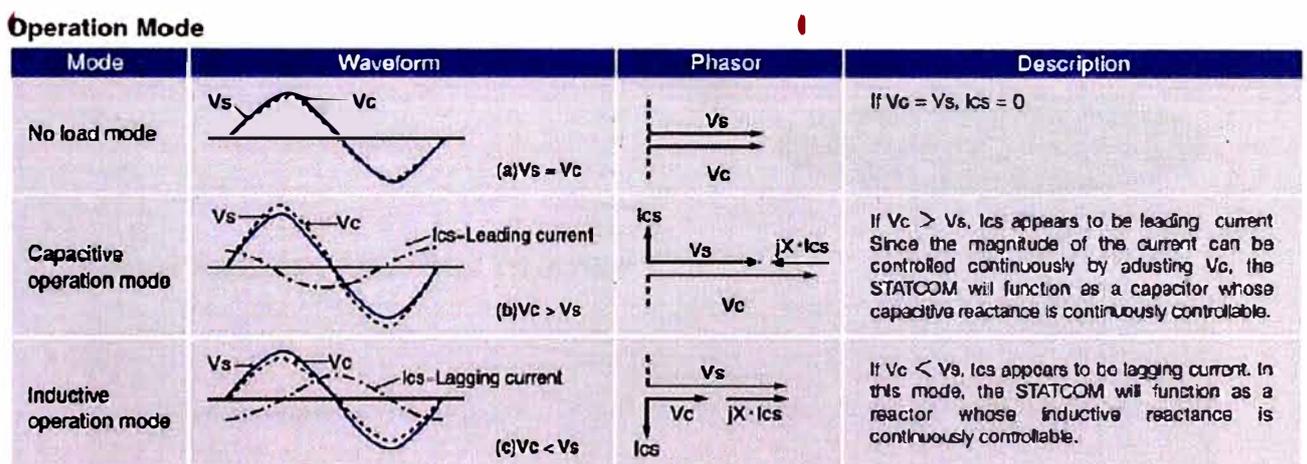


Gráfico 1.9 – Principios de modos de operación del STATCOM

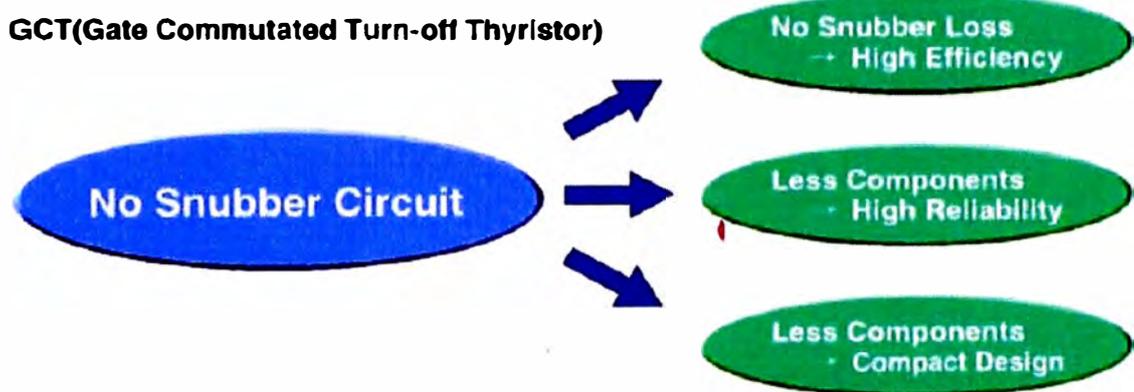
1.5.3 Componentes del STATCOM

Un mejoramiento del dispositivo conmutado por sí mismo – el gate conmutado encendido – apagado del tiristor (GCT: Gate Commutated Turn-Off Thyristor) tiene un perfeccionamiento de la estructura de compuerta y circuito drive controlado que reduce drásticamente las pérdidas de operación del sistema debido a la eliminación del circuito snubber (amortiguador). En contrastes el circuito snubber (amortiguador) es requerido convencionalmente en la operación del Switcheo (conmutación) del GTO, así como también los dispositivos IGBT. Consecuentemente pocos componentes así como menores pérdidas son conseguidos

(logrados) en el GCT-basados en la aplicación de convertidores y clasificados en 6 kV, 6 kA. El GCT es en el mundo el semiconductor más largo disponible por su alta performance (comportamiento) en aplicaciones de potencia y es empleado para cada proyecto vigente

En el gráfico siguiente se muestran los componentes principales del STATCOM.

GCT (Gate Commutated Turn-off Thyristor): Encendido y apagado de tiristor de compuerta conmutada



Circuit Features of the "GCT Thyristor"

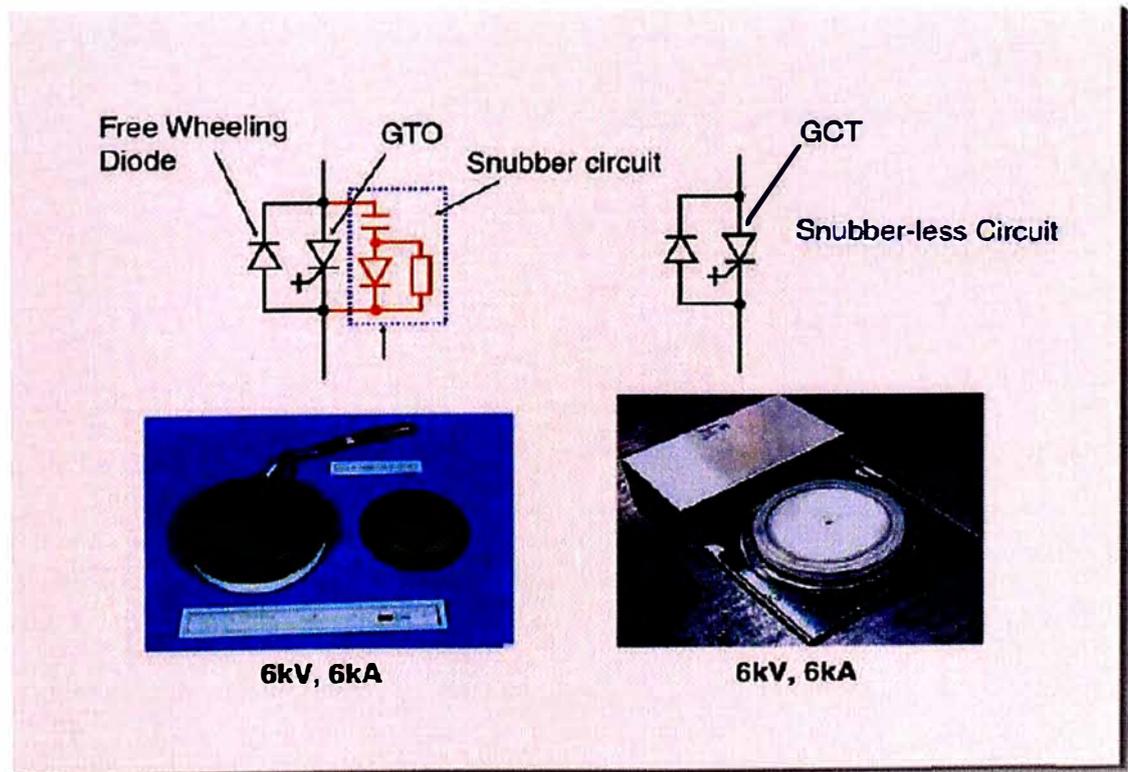


Gráfico 1.10 – Componentes del STATCOM.

1.5.4 Principales Objetivos de STATCOM

- a. Regulación y control del voltaje de sistemas de potencia.
- b. Dinámica y rápida respuesta ante variaciones y/o contingencias presentadas en el sistema de potencia.
- c. Alta confiabilidad con redundante convertidor de señales “1” construcción modular.
- d. Flexibilidad en la operación a través del diseño de auto-reconfiguración.

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE POTENCIA DEL COMPLEJO MINERO

2.1 Introducción

El complejo minero Antamina es una empresa con capitales privados internacionales, líderes en la explotación de minerales en el mundo. Este proyecto entra en operación a mediados de mayo del 2001 luego de concluir las pruebas de pre-comisionamiento de la planta concentradora.

Por su ubicación geográfica y por la necesidad de contar con un sistema eléctrico de potencia que reúna las condiciones mínimas de un sistema estable se decidió construir la subestación Vizcarra en 220 KV y su sistema de compensación correspondiente. Se entiende por sistema estable aquel que tenga niveles de cortocircuito aceptables, fuentes de energías permanentes y confiables para garantizar las operaciones de los equipos de potencia de tecnología de punta.

El sistema de potencia cuenta con una subestación Vizcarra (a 53.5 km de las operaciones mineras) que tiene una configuración de barras en anillo en 220 KV, de una línea L2255(Vizcarra-Antamina) en 220 KV de 53.5 km y de una subestación Antamina con niveles de 220 KV y 23 KV (para distribución a las cargas de la planta).

A fines de 1999, se pone en operación la subestación Vizcarra diseñada desde sus inicios con una configuración de barras en anillo, en la cual convergen las líneas L2252(Vizcarra – Tingo Maria), L2253(Vizcarra – Paramonga) , SVC (+90 MVAR / -45 MVAR) y la línea L2255 (Vizcarra-Antamina). En setiembre del 2002, se interconecta la línea L2254 (Vizcarra – Paragsha) con una capacidad de 160 MW, con esta interconexión la potencia de cortocircuito ha aumentado en el anillo Vizcarra, convirtiéndose en una fuente más de energía para las cargas de Antamina.

2.2 Subestación Vizcarra

La subestación Vizcarra esta ubicada en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash a una altitud de 3500 m.s.n.m.

El sistema eléctrico de la subestación esta constituido por 04 líneas que convergen en el anillo Vizcarra como son las líneas L2252 (que enlaza los circuitos de la línea L2251 y la central de Aguaytia de propiedad de Termoselva), L2253 que interconecta con el Sistema Eléctrico Centro – Norte del Perú, L2254 que interconecta con los circuitos de Paragsha – Carhuaquero – Oroya y la zona Sierra central, L2255 (Vizcarra-Antamina) y la celda del SVC (+90/-45 MVAR) con su sistema de filtrado de armónicos de 5th, 7th y 11th.

2.2.1 Criterios de diseño eléctrico

Los niveles de cortocircuito para los equipos de potencia son 31.5 kA (exigencia) y de acuerdo con los estudios realizados los diseños deberían ser de 6 kA, por lo que en la adquisición de los equipos se ha exigido un margen de seguridad. La subestación ha sido diseñada con un esquema de maniobra con barras 220 KV en anillo. Cada línea se conecta a las barras mediante un seccionador con cuchillas de puesta a tierra y dos interruptores con sus seccionadores adyacentes.

Los transformadores de corriente están incorporados en los aisladores Bushings de los interruptores. Se tiene tres secundarios a cada lado, uno para la medición y dos para protección, los cuales son utilizados de la siguiente manera:

- Transformadores de corriente en línea: secundario1: protección principal, secundario2: protección secundaria y falla del interruptor, y secundario3: medición.
- Transformadores de corriente en el SVC: secundario1: protección del SVC, secundario2: falla de interruptor, y secundario3: medición.
- Transformadores de tensión del tipo capacitivo: secundario 1: protección primaria y medición, y secundario 2: protección secundaria y falla de interruptor.

En el siguiente gráfico se detallan los equipos existentes con los respectivos dispositivos de medición y protección.

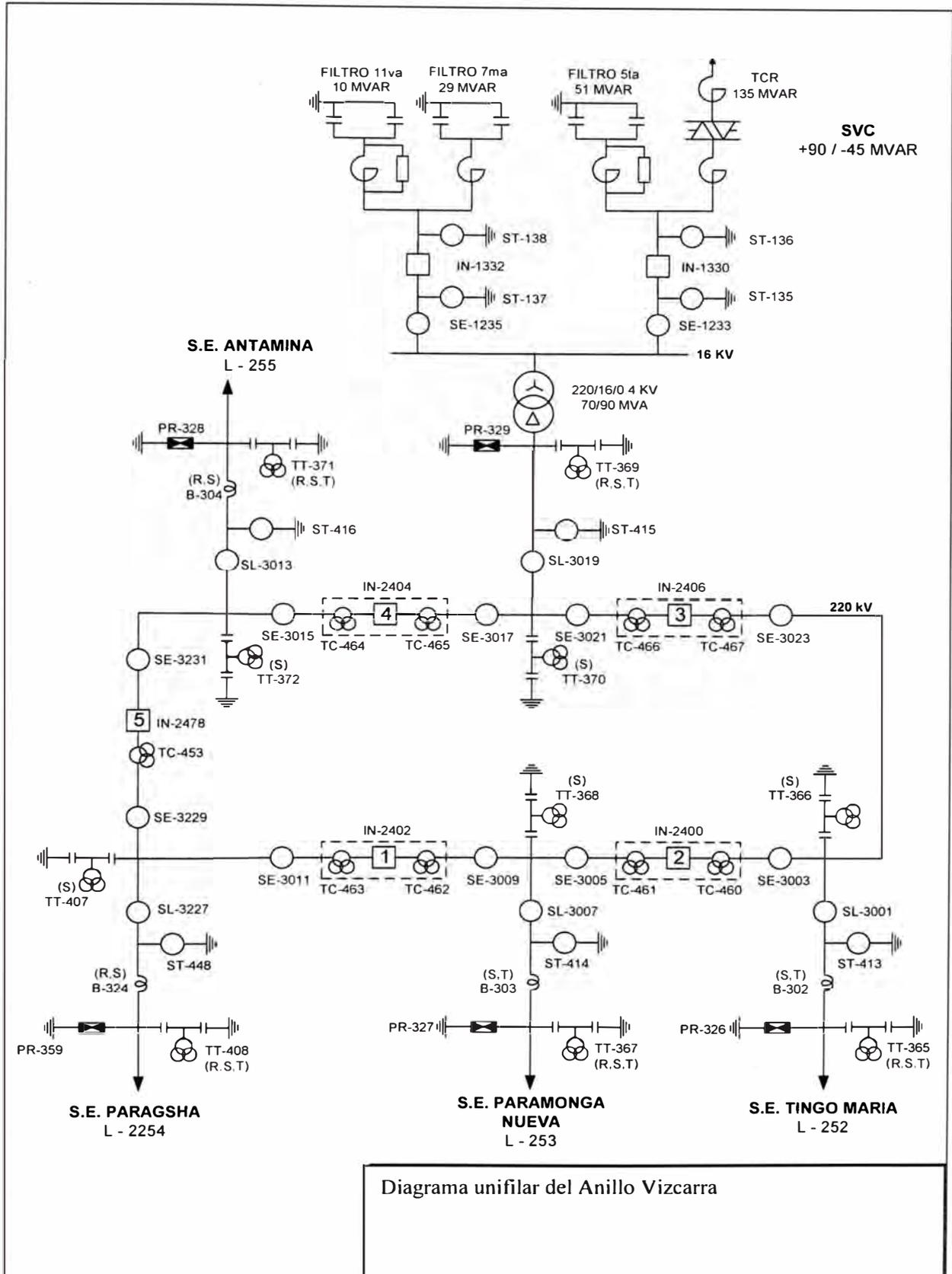


Diagrama unifilar del Anillo Vizcarra

Gráfico 2.1-Diagrama unifilar eléctrico de la Subestación Vizcarra.

2.3 Subestación Antamina

La subestación esta ubicada en la localidad de Yanacancha, distrito de San Marcos, Provincia de Huari, departamento de Ancash, a una altitud aproximadamente de 4300 m.s.n.m. Esta subestación es la de llegada de la energía en 220 KV y luego es transformada la tensión a 23 KV, nivel en la cual se distribuye a las subestaciones internas de la mina.

2.3.1 Diseño Eléctrico

La subestación ha sido diseñada con un esquema de maniobra de barra simple en 220 KV, con una celda terminal de línea y dos celdas de conexión para los transformadores de potencia.

La línea Vizcarra-Antamina se conecta a la barra de 220 kV mediante un interruptor, el cual dispone de dos seccionadores provistos de cuchillas de puesta a tierra en ambos lados. Los transformadores se conectan a la barra 220 KV mediante un interruptor y seccionadores con cuchillas a tierra en ambos lados.

Los transformadores de corriente están incorporados en los Bushings de los interruptores y cuentan con dos núcleos: uno para medición y otro para protección.

Se tiene dos transformadores de tensión capacitivos para ser usado por el sistema de onda portadora (PLC) y tres transformadores monofásicos inductivos con secundario1 para medición (facturación) y control y secundario2 para protección.

2.3.2 Coordinación de Aislamiento

De conformidad con la Norma ANSI se tiene:

Mínimo nivel de aislamiento nominal a 1000 m.s.n.m:

- Tensión de resistencia a la onda de impulso 1.2/ 50 us: 900 kV cresta
- Tensión de resistencia a la frecuencia industrial 1 min: 460 kV cresta

Mínimo nivel de aislamiento corregido por altura para 4300 m.s.n.m

- Tensión de resistencia a la onda de impulso 1.2/ 50 us: 1304 kV cresta
- Tensión de resistencia a la frecuencia industrial 1 min: 666 kV cresta

2.3.3 Protección contra descargas atmosféricas

Toda la subestación esta apantallada por cables de guardas que se encuentran por encima de los conductores y equipos. Los cables de guarda son conectados a la malla del sistema de puesta a tierra. Además los equipos de potencia están protegidos por pararrayos del tipo estación que se encuentran a la entrada de las conexiones de los equipos de potencia.

2.3.4 Malla a tierra

La malla a tierra esta conformada por conductores de cobre desnudo de 120 mm² enterrados 1.00 mts y la distancia entre conductores es de 4 mt. La resistencia equivalente de la malla a tierra esta por debajo de 1 Ohmio lo cual cumple ampliamente con las normas exigidas para el caso de subestaciones eléctricas.

2.3.5 Sistema de Control

El sistema de control es alimentado con tensión continua 125 Vdc y sirve para las operaciones de los circuitos auxiliares de los equipos de potencia, para sus dispositivos de protecciones y para los sistemas de alarmas.

La subestación ha sido prevista para que sea operada sin personal permanente. El sistema de control de la subestación es del tipo convencional; los dispositivos de mando, alarma y medición están en paneles ubicados en el Switchgear de 23 KV.

2.3.6 Sistema de Protección principal

Interruptor principal de llegada (IN2408):

- Rele de Disparo directo por recepción de orden desde Vizcarra. El disparo es iniciado por la transferencia de disparo del rele de distancia de la S.E Vizcarra (21P – Primera zona) y direccional de puesta a tierra (67 N), desconectando el interruptor.
- Protección por sobrecorriente 50/51 y 50N/51N de respaldo.
- Baja presión de SF6 (63)

En las barras de 220 KV:

- Protección diferencial de barras (87)
- Protección por sobre tensión (59)

- Protección de mínima tensión (27)

En los Transformadores de Potencia:

- Protección diferencial de transformadores (87)
- Protección interna de los transformadores, constituido por los siguientes relés: cambio de presión de aceite (Buchholz) (63), en el tanque principal y tanque del conmutador bajo carga, Temperatura (26), Térmico (49), Nivel de aceite (71) en tanque principal y tanque del conmutador bajo carga.
- Protección de sobrecorriente 50/51 y 50N/51N, de respaldo

2.3.7 Sistema de 125 Vdc Aislado a tierra

Este sistema es usado para la alimentación de los circuitos de apertura y cierre de los interruptores y seccionadores, para el panel de alarmas y para el alumbrado de emergencia (fluorescentes con alimentación continua); para lo cual cuenta con un tablero de distribución de 125 Vdc alimentado por batería tipo alcalina (Ni – Cd), que tiene capacidad de 355 AH y una descarga a plena carga de 12 horas.

2.3.8 Sistema de 48 Vdc – Positivo puesta a tierra

La alimentación de los equipos de telecomunicaciones es desde el sistema 125 Vdc a través de convertidor DC/DC de 125/48 Vdc. El positivo de 48 Vdc será puesto a tierra para su conexión al equipo de PLC (onda portadora).

2.3.9 Configuración eléctrica

El Subestación tiene 02 transformadores de potencia de 75/100/125 MVA cada una de 220/23 kV. En el nivel de 23 kV se tiene 02 barras que se encuentran conectadas por medio de un TIE BREAKER mejorando la potencia de cortocircuito.

En el nivel de 23 kV se tiene un sistema de compensación PFC (Power Factor Correction) que consta de 02 condensadores síncronos de +15 /-10 MVAR cada uno y 02 grupos de bancos de filtros de armónicos de los ordenes 2th,3th, 4th, 5th, 7th, 11th y 13th que compensan con 70 MVAR en total y un control automático comandado por un PLC cuyo objetivo es mantener el Factor de Potencia en 0.96 lag (atrasado).

Entre las cargas principales se tiene 04 molinos (01 Sag Mill:27,000 HP y 03 molinos de bolas:15,000HP c/u). Estos son operados y controlados por cicloconvertidores.

Además se tiene varios variadores de velocidad en media y baja tensión y motores asíncronos.

El siguiente gráfico se muestra las cargas principales de la planta en forma concentrada..

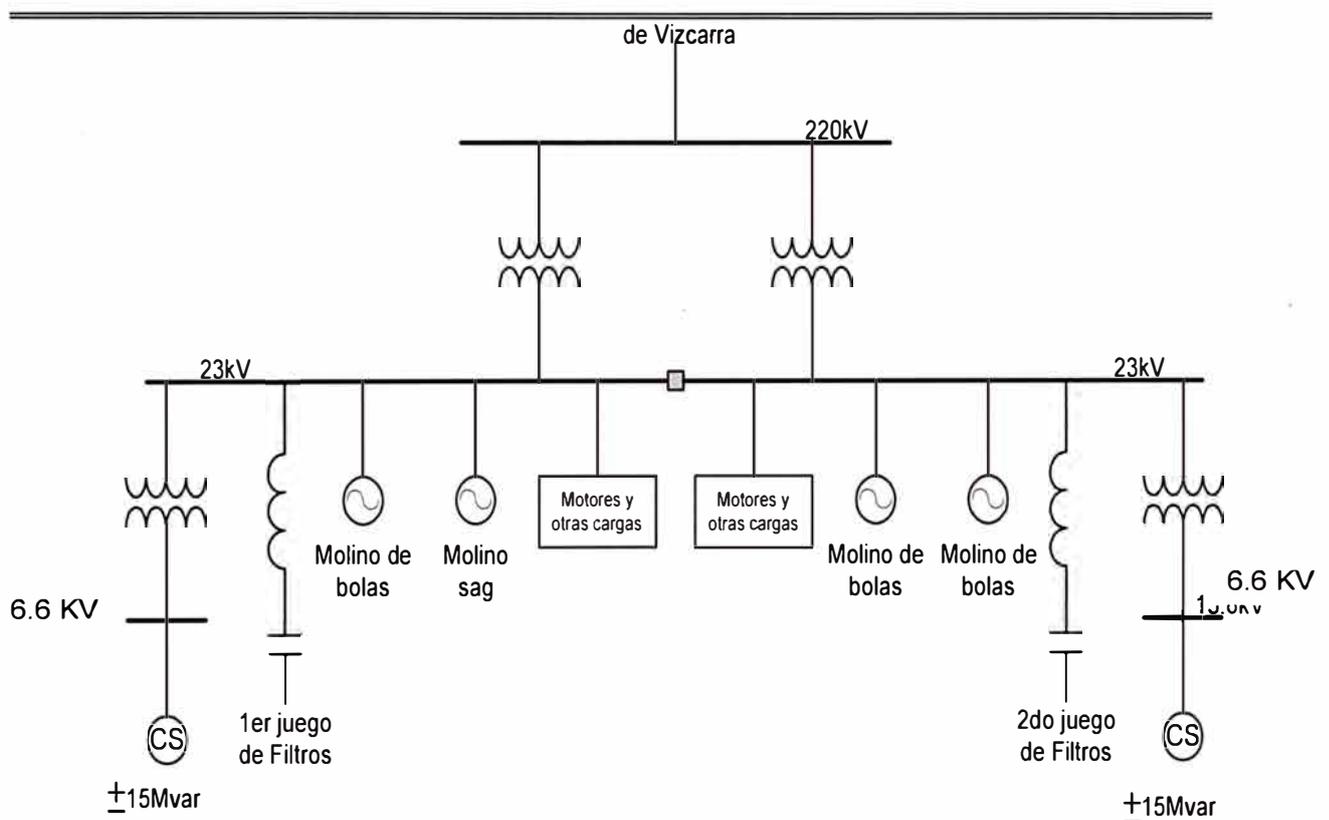


Gráfico 2.2 – Diagrama simplificado de la Subestación Antamina

2.4 Estudios y dimensionamiento del SVC de Vizcarra

Los estudios que se han realizado principalmente tienen la premisa de lograr mejorar la capacidad de respuesta de potencia reactiva y mantener la tensión del sistema de barras en la subestación Vizcarra. Durante la etapa de dimensionamiento se ha considerado diferentes escenarios de la red y la influencia de los armónicos para lograr un diseño adecuado y preparado capaz de cumplir con sus objetivos arriba mencionados.

La importancia de los estudios realizados ha proporcionado información sobre la operación del SVC instalado en la subestación Vizcarra y las consideraciones mínimas para la operación de los equipos de electrónica de potencia de la planta del complejo minero.

2.4.1 Base de datos analizados

La base de data del sistema analizado fue recopilada en formato de archivos PSS/E del PTI. (Software de Análisis de Sistemas de Potencia –propiedad ABB). Estos estudios estuvieron a cargo de Bechtel/Antamina y ABB quienes participaron directamente del dimensionamiento y diseño del SVC.

En este estudio se ha analizado varios casos o escenarios, resultando 65 escenarios que se presentarían para las condiciones de operación del SVC (se realizó modelamiento del sistema de potencia del Perú- con datos de 1999). Los escenarios analizados se detallan en el anexo A (escenarios analizados durante el dimensionamiento y diseño del SVC).

ABB fue el encargado de modelar el SVC, para lo cual utilizaron aplicaciones necesarias y las herramientas en EMTP (Software de análisis de transitorios y sistemas de potencia).

2.4.2 Objetivo del SVC

Los objetivos del SVC que se encuentra conectado al Sistema Interconectado Nacional (SINAC) en la subestación Vizcarra en 220 kV son:

- a) Regular y controlar la tensión de 220 kV en la Subestación Antamina (Antamina Main Substation) dentro del rango requerido de $\pm 5\%$ bajo las condiciones de estado permanente.

- b) Proveer una respuesta de potencia reactiva dinámica y rápida, según las contingencias del sistema, con el fin de limitar la caída de tensión transitoria en la subestación de Antamina, a un valor de 15% con una duración máxima de cinco ciclos (80 ms), en forma trifásica.
- c) Mantener las magnitudes de la tensión en estado dinámico por debajo del 110% durante disturbios especificados
- d) Mantener la tensión en el anillo de la subestación Vizcarra, logrando de esta manera mejorar el comportamiento de perfil de tensión de los sistemas involucrados al anillo Vizcarra

2.4.3 Diseño Eléctrico y Rango del SVC

Para el dimensionamiento del SVC de la SE Vizcarra se han realizado dos (02) estudios:

1^{ro} Estudio de Factibilidad desarrollado por PTI "INITIAL STUDIES FOR THE INTERCONNECTION OF CIA MINERA ANTAMINA INTO THE AGUAYTIA ENERGY DEL PERU SR LTDA./SICN 220 KV SYSTEM AT VIZCARRA SUBSTATION, May 16, 1999"

2^{do} Estudio realizado por ABB, el proveedor del SVC, denominado "ANTANIMA PROJECT VIZCARRA SVC RATINGS VERIFICATION", ETI REPORT No PSC-99-3010-30/2012 R2, July 22, 1999.

Dado el nivel de factibilidad del primer estudio mencionado, se utilizó modelos equivalente en las barras de 220 kV para una carga de 120 MW con un factor de potencia 0,95 (cargas de Antamina). Este modelo consideró: 82 MW a factor de potencia 0,95 como carga del tipo P y Q constantes, y la carga restante fue modelada como un motor de inducción. Como resultado en este estudio se obtuvo un rango para el SVC de la SE Vizcarra de -35 MVAR a 85 MVAR.

El segundo estudio mencionado tuvo un carácter definitivo en cuanto a la definición del rango nominal del SVC, por ello fue realizado considerando:

- a) Los datos del SINAC suministrados por Antamina/Bechtel (1999).
- b) Un mejor nivel de modelamiento de la carga de la planta Antamina (gráfico 2.2), incluyendo el modelo de las cargas dinámicas (gráfico 2.3), basado en la información suministrada por Bechtel:

- Los ciclo-convertidores y los ASD (Adjustable Speed Drivers) que representan 62,0 MW y 33,0 MVAR. La potencia activa se representa como potencia constante y la potencia reactiva con un modelo de corriente constante.
 - Motores de inducción: grandes (22,7MW y 14,1Mvar) y pequeños (25MW y 22Mvar).
 - La carga restante: 10,3 MW y 6,3 MVAR, con modelos de corriente constante e impedancia constante respectivamente.
- c) Se consideró tener un factor de 0.96 inductivo o más para la carga total de Antamina referido a la barra de 220kV.
- d) Los filtros de armónicas de Antamina basados en los requerimientos de las cargas no lineales de Antamina y con la información del fabricante de los cicloconvertidores.
- e) Un modelamiento más preciso de los compensadores síncronos (Synchronous Condensers) con los datos suministrados por ABB Industry.
- f) Un modelamiento más preciso del SVC (modelamiento en estado dinámico)
- g) Modelamiento del estabilizador (PSS) de la CT Aguaytia suministrado por el fabricante, ABB Power Generation.
- h) Fallas monofásicas y trifásicas de 6 ciclos (100 ms) de duración. Las fallas monofásicas incluyen la maniobra monofásica y el recierre 500 ms después de que la fase fallada es abierta; y la apertura trifásica de la línea después de 100ms por un recierre no exitoso. Las fallas trifásicas no consideran el recierre y son eliminadas mediante la desconexión de la línea a los 100ms.

Para cumplir con los objetivos del SVC, se ha considerado, la operación del sistema en estado estacionario y la operación del sistema ante grandes perturbaciones.

A continuación se muestra el gráfico 2.3 donde se indican los modelos de los equipos de las cargas importantes del complejo minero considerados en los estudios realizados

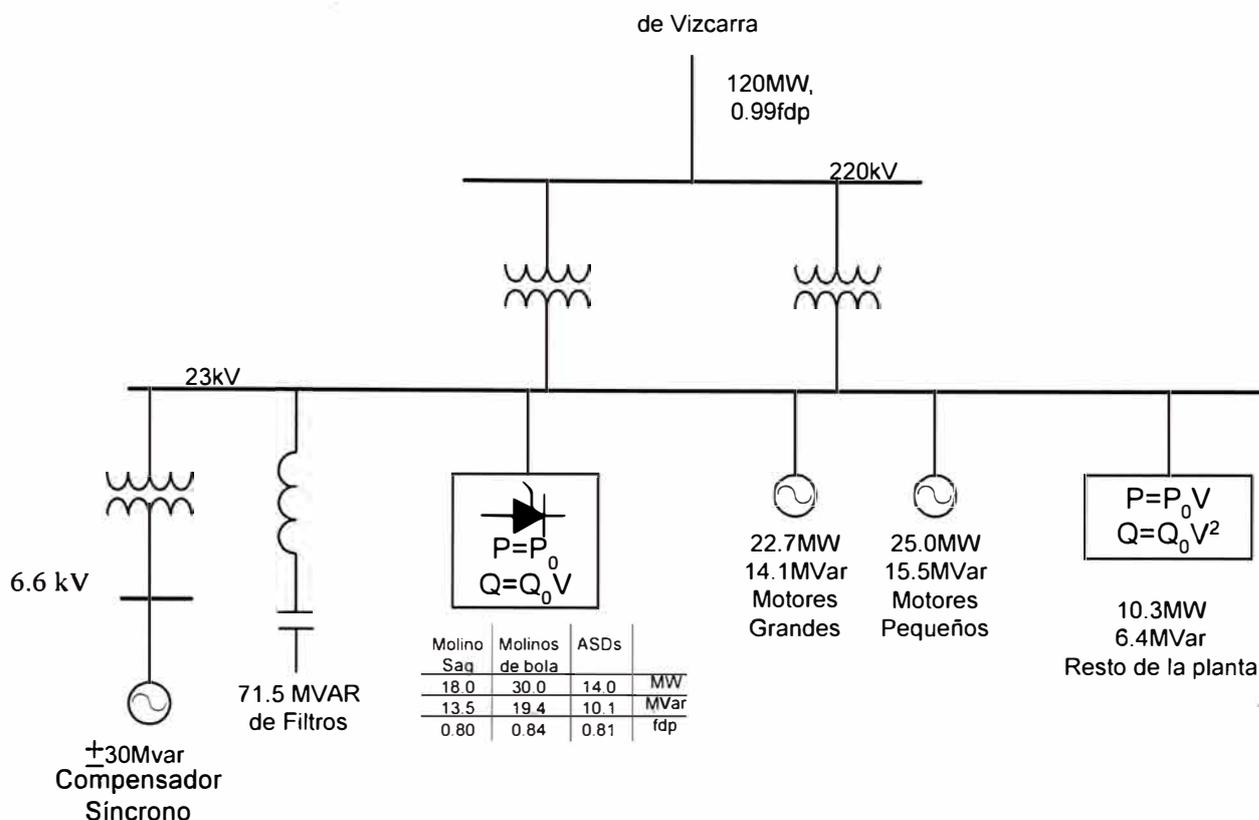


Gráfico 2.3 - Modelo dinámico de la carga de Antamina

2.4.4 Operación en Estado Estacionario

Para realizar las simulaciones en estado estacionario se han visto los casos más críticos (anexo A) que podrían producir que la tensión en la barra de Antamina-220kV salga del +/- 5%. Para esto se ha procedido a realizar los flujos de potencia en la parte del rango capacitivo y del rango inductivo (como referencia se han analizado 34 casos en el rango capacitivo y 47 casos en el rango inductivo, mencionado en el anexo A)

2.4.4,a Rango Capacitivo

Para definir el rango capacitivo del SVC en estado estacionario se han simulado una serie de condiciones de operación establecidas por las combinaciones posibles de tener fuera de servicio a las líneas de transmisión conectadas a las subestaciones Paramonga y Vizcarra, disponer del anillo en la subestación Tingo María y los grupos de generación de CT Aguaytía. Para ello se considera un

escenario de máxima generación hidráulica en el sistema (avenida) y Antamina con su carga nominal de 120 MW (instalado) con un factor de potencia inductivo de 0.95 en la barra de 220 kV de Antamina.

Con los criterios mencionados se han simulado 34 casos; habiéndose encontrado que los mayores requerimientos capacitivos del SVC se presentan cuando la línea Vizcarra-Paramonga esta fuera de servicio y en la central de Aguaytía opera solo un grupo. En este caso el SVC debe inyectar en la barra de 220 kV de SE Vizcarra una potencia reactiva de 70.7 MVAR, para mantener en 0.95 p.u. la tensión en la barra de Antamina-220kV, esto obliga a que el rango máximo del SVC sea de 90 MVAR capacitivos. Cabe mencionar que este dimensionamiento fue realizado con datos del sistema del 1999 y para condiciones críticas que en la actualidad han cambiado.

2.4.4,b Rango inductivo

El rango inductivo para la operación estacionaria ha sido definido procesando los casos planteados para el rango capacitivo, adicionándole la salida de la carga en Antamina y otros casos más, haciendo un total de 47 casos. El escenario que exige la mayor absorción de potencia reactiva por parte del SVC, en la barra de 220 kV de la subestación Vizcarra es aquel en el que están fuera de servicio la línea Vizcarra-Paramonga y los generadores de la CT Aguaytía. En este caso el SVC debe absorber 24 MVAR en la SE Vizcarra cuya tensión es 0.989 p.u.; esto obliga a que el rango máximo del SVC sea de 45 MVAR inductivos.

2.4.5 Operación ante grandes perturbaciones

Para cumplir con los objetivos del SVC se ha realizado simulaciones para condiciones de perturbaciones grandes y determinar que el SVC cumpla con las condiciones, tanto en el rango capacitivo como inductivo. Se han simulado fallas monofásicas que son las que tienen mayor probabilidad de ocurrencia y las fallas trifásicas se han usado con fines de sensibilidad.

Las fallas monofásicas se han simulado en las líneas Zapallal-Paramonga, Paramonga-Chimbote, Tingo María-Vizcarra, Vizcarra- Paramonga, con apertura monofásica en 0.1 s (6 ciclos) y recierre 0.5 s después. Al simular la persistencia permanente de la falla se considera la apertura trifásica 0.1 s después del recierre.

En la actualidad las fallas monofásicas por descargas atmosféricas representan 95% que ocasionan recierres automáticos.

2.4.5,a Rango Capacitivo

El criterio de evaluación del rango capacitivo ante grandes perturbaciones, es que la tensión de la barra de Antamina 220kV no este por debajo de 85% por más de 5 ciclos. Al igual que en la operación en estado estacionario, se han analizado fallas en diversos lugares, que se pueden apreciar en el anexo A

Los resultados indican que la falla que exige los mayores requerimientos de reactivos capacitivos es la que se presenta cerca a Vizcarra en la línea Vizcarra-Paramonga. En ese sentido, tomando como referencia la condición inicial dada por el caso base se ha encontrado que para manejar esta falla monofásica a tierra con recierre no exitoso el SVC debe suministrar 90 MVAR a 1.00 p.u.

Asimismo, se han simulado algunos casos de sensibilidad para determinar si el rango capacitivo de 90 MVAR es suficiente. En todos los casos de sensibilidad que se han analizado se tiene que la mayor incidencia se presenta con una falla en Vizcarra, por lo que se ha considerado que la contingencia tenga bastante cercanía a la realidad.

Los resultados más importantes de los casos de sensibilidad son:

a) El rango capacitivo de 90 MVAR es suficiente para cumplir con el criterio planteado, cuando:

- Opera sólo uno de los grupos de CT Aguaytia.
- Uno de los circuitos de la línea Zapallal-Paramonga esta fuera de servicio antes de la falla.

b) El rango capacitivo tendría que incrementarse a 95 MVAR cuando en la condición prefalla, uno de los circuitos de la línea Paramonga-Chimbote esta fuera de servicio.

c) Cuando el circuito de la línea Zapallal-Paramonga-Chimbote se encuentre fuera de servicio se ha demostrado que para cumplir con el criterio dinámico exigido al SVC se debe incrementar a 100 MVAR el rango capacitivo del SVC.

d) El rango debería ser 105 MVAR capacitivo para soportar la perturbación trifásica cuando se encuentre el circuito de la línea Paramonga-Chimbote fuera de servicio.

e) Cuando el anillo en la subestación Tingo María esta abierto y sin línea Vizcarra-Paramonga, el rango capacitivo del SVC debería ser 125 MVAR.

f) Debido al efecto de la falla (perturbación) la tensión en Vizcarra va a caer durante un cierto período de tiempo, en ese sentido las simulaciones han permitido a ABB recomendar que la protección de mínima tensión debe ser deshabilitada en el SVC para condiciones transitorias menores a 150 ms, ya que al actuar durante la falla va a forzar en el SVC la condición de operación neutra (periodo en que el SVC llega a su límite capacitivo o inductivo y en la cual el SVC no compensa y se queda estático), perjudicando la recuperación de la tensión. En ese sentido cualquiera que sea el rango capacitivo, no podrá ser útil si estuviera habilitada la protección de mínima tensión porque mejor es que el SVC compense con su capacidad nominal a que el sistema de potencia se quede sin compensación reactiva capacitiva.

De los escenarios estudiados se identificó que el caso crítico en el cual se considera, como condición previa al sistema, un solo circuito en la línea Zapallal-Paramonga-Chimbote era necesario 100 MVAR en el rango capacitivo; pero considerando que en un futuro se cuente con el segundo circuito de línea Zapallal-Paramonga-Chimbote , mejorando la potencia de corto circuito en la zona del circuito Paramonga y Vizcarra, para lo cual los 90 MVar capacitivos del SVC serían suficiente para una máxima carga de 120 MW de Antamina.

Desde setiembre del 2002 con la incorporación del circuito Oroya-Carhuamayo-Paragsha-Vizcarra, se ha fortalecido la potencia de cortocircuito del anillo Vizcarra ocasionando una natural disminución de los requerimientos capacitivos del SVC. Por las razones mencionadas se adoptó que el rango capacitivo del SVC sea de 90 Mvar.

2.4.5,b Rango Inductivo

El criterio de evaluación del rango inductivo ante grandes perturbaciones, es que la sobre tensión transitoria en Antamina y Vizcarra no deba exceder el 10% por no más de 5 ciclos. Se adoptó como punto de partida los parámetros indicados en el estudio de PTI que fueron -35 MVar inductivos.

Se ha definido el rango inductivo con la finalidad de obtener un adecuado comportamiento de la tensión después de una gran perturbación, para esto se ha simulado diversos casos que involucran un cortocircuito trifásico en Vizcarra

seguido de la salida de la línea correspondiente (Vizcarra-Antamina, Vizcarra-Paramonga o Vizcarra-Tingo María) y de toda la carga de Antamina. También se ha simulado fallas trifásicas en el extremo de la línea Tingo María-Aguaytía. Asimismo se han considerado otros casos sin falla, que consideran la pérdida intempestiva de la carga de Antamina.

Los resultados de las simulaciones muestran que con un rango inductivo de **45 MVAR**, es posible atenuar los efectos de las grandes perturbaciones que provoquen la pérdida de toda la carga de Antamina.

2.4.5,c Protección (o estrategia) de mínima tensión

Generalmente la razón para utilizar la protección de mínima tensión es evitar que el sobrevoltaje resultante que se presenta después de una pérdida de carga, por lo que es más conveniente que el SVC se quede intentando compensar los reactivos del sistema.

En la determinación del rango capacitivo, necesitamos que la tensión no caiga por debajo del 85% por más de 5 ciclos. Los resultados indican que no es deseable que actúe la protección de mínima tensión cuando se presentan las fallas indicadas, porque la activación de esta protección dejaría al SVC fuera de servicio y por lo tanto los reactivos de salida serían cero y con esto no evitaríamos caída de tensión del sistema perjudicando a la carga de Antamina.

2.4.6 Operación en el Sistema Interconectado Nacional

Los estudios antes mencionados sustentan que el rango nominal de regulación del SVC Vizcarra es de -45 MVAR (Inductivos) a $+90$ MVAR (Capacitivos). Por lo tanto el SVC estará conformado por un reactor controlado por tiristores de 135 MVAR y filtros capacitivos, cuya potencia reactiva total a 60 Hz asciende a 90 MVAR; asimismo, para la conexión del SVC a la barra de 220 kV de la subestación Vizcarra se requiere un transformador(16/220 kV) elevador de 90 MVA.

Con el rango seleccionado para el SVC de Vizcarra, se ha realizado un estudio para evaluar el comportamiento integrado al Sistema Eléctrico Nacional. El objetivo de este estudio fue simular los 65 escenarios de operación para obtener pautas de operación para la planta de Antamina y el SVC de la SE Vizcarra (Ref. en la Tablas de flujo de cargas y niveles de cortocircuito mostradas en el anexoA).

En el mencionado estudio, se consigna las simulaciones de la operación en estado estacionario (flujos de potencia), el cálculo de cortocircuito y los análisis de estabilidad transitoria; a partir de cuyos resultados se han identificado restricciones potenciales de operación y los requerimientos de rechazo de carga basados en limitaciones de potencia y de tensión para los escenarios considerados.

2.4.6,a Operación en Estado Estacionario

Al analizar los resultados se puede afirmar que considerando criterios de operación en estado estacionario no hay necesidad de restringir la carga. En los Casos 60 y 63 (anexo A) se ha demostrado que la planta de Antamina no debe operar sin compensadores síncronos (instalados en la subestación Antamina).

En ese sentido la reducción de carga no es necesaria para mantener la tensión de estado estacionario en la barra de 220 kV de Antamina en o por encima de 0.95 pu.

2.4.6,b Análisis de Estabilidad transitoria

Para los análisis de estabilidad transitoria se ha considerado como condición previa a la falla los 68 escenarios de los cálculos de cortocircuito (ver anexo B: escenarios analizados en estado dinámico para el diseño del SVC). Asimismo, el tipo de falla seleccionada es aquella que presenta la mayor probabilidad de ocurrencia, seleccionando la línea y la ubicación que provoca los mayores efectos sobre la estabilidad del sistema.

La perturbación simulada consiste en la sucesión de los siguientes eventos:

- Aplicar una falla monofásica línea a tierra (Single Line Ground: SLG) en la barra de 220 kV de la subestación Vizcarra en $t = 0.05$ s (50 ms).
- Remover la falla y abrir la fase fallada de la línea Paramonga-Vizcarra en $t = 0.15$ s (150ms).
- Volver a aplicar la falla SLG en Vizcarra y recerrar la fase fallada de la línea Paramonga - Vizcarra en $t = 0.65$ s (650 ms).
- Remover la falla y abrir completamente la línea Paramonga - Vizcarra en $t = 0.75$ s (750 ms).

Para los escenarios de operación estudiados muchos de los casos no cumplen con el criterio de tensión requerido para la planta Antamina (tener no más de 5 ciclos a menos del 85% de la tensión nominal después de la eliminación de la falla). De

hecho en varios de los casos el sistema no podría soportar la perturbación simulada y adopta un comportamiento inestable.

Las condiciones de operación identificadas indican que:

- Los escenarios con mayores problemas son:
 - (a) Dos compensadores síncronos y el transformador 220/23-kV de Antamina fuera de servicio.
 - (b) Dos unidades operando en Aguaytia y el transformador de Tingo María 220/138-kV fuera de servicio.
- Con el transformador de Tingo María fuera de servicio y en la central de Aguaytía con las 2 unidades en operación, la salida de la línea Vizcarra-Paramonga produce que el sistema quede aislado, lo que produce una sub frecuencia en los grupos de Aguaytía, ocasionado inestabilidad en el sistema aislado y la consecuente salida de la carga de Antamina.
- Con el transformador de Tingo María fuera de servicio y solo un grupo operando en Aguaytia, la pérdida de la línea Vizcarra-Paramonga puede producir una sub frecuencia del orden del 5 % que causaría la salida del generador de Aguaytia y la consecuente salida de la carga de Antamina.
- Cuando no opera ninguna de las 2 unidades de Aguaytia, la pérdida de la línea Vizcarra – Paramonga produce el colapso del sistema, con el consiguiente corte total de energía a Antamina. Para este caso el comportamiento de la línea Vizcarra- Paragsha puede ayudar a la recuperación de la estabilidad del sistema pero es preferible que la carga de Antamina sea desconectada.

2.4.7 Consideraciones de funcionamiento aislado

Cuando el transformador 220/138 kV de la subestación Tingo María y la línea L2254 (Vizcarra-Paragsha) están fuera de servicio, la pérdida de la línea Paramonga -Vizcarra provocará que la planta Antamina, el SVC de la SE Vizcarra y los grupos de la central de Aguaytia conformen un sistema aislado del resto del Sistema Eléctrico Peruano.

Dependiendo de la severidad de la falla y del número de unidades de Aguaytia en servicio, es probable que los grupos de Aguaytia salgan de servicio debido a la

protección de sobre-frecuencia o sub-frecuencia, produciendo un corte total en la planta de Antamina.

Al respecto es necesario remarcar que esta configuración aislada presenta una predisposición potencial a la interacción torsional subsíncrona (SSTI) entre los generadores de Aguaytia y el SVC de Vizcarra (y también con los ciclo-convertidores de Antamina), razón por la cual se recomienda que Antamina y Vizcarra no operen en esta configuración aislada con los generadores de Aguaytia hasta que se determine que no hay ningún adverso efecto de SSTI .

2.4.8 Conclusiones

A partir de los resultados de los análisis realizados sobre la operación del SVC Vizcarra con rango $-/+ 45/90$ MVAR, se pueden dar las siguientes conclusiones:

- a. De las 65 condiciones de operación del sistema, consideradas en los análisis de flujo de potencia, dos casos (Casos 60 y 63) exigen la restricción de carga para cumplir con el criterio de tensión en estado estacionario, en estos casos se confirma que la planta siempre debe operar con compensadores Síncronos.
- b. Los resultados del análisis de estabilidad transitoria de los 68 escenarios de flujo de potencia muestran que el sistema será inestable y provocará la pérdida de la planta de Antamina para un número de casos específicos sobre todo cuando el sistema se quede aislado del sistema interconectado nacional.
- c. El transformador 220/138 kV de la subestación Tingo María y la línea L2254 son críticos en la estabilidad de Antamina y Aguaytia para los eventos que provoquen la pérdida de la línea Paramonga–Vizcarra. La mayoría de los problemas de inestabilidad ocurren en los casos en que este transformador esta fuera de servicio.
- d. Los escenarios estudiados en el 1999 -2000 no consideran la incorporación de la Línea L2254 (Vizcarra-Paragsha). Esta línea ha modificado la topología original con la cual se diseño y dimensionó el SVC. En la actualidad la línea L2253 (Vizcarra-Paramonga) es tan importante como la línea L2254 porque ambos hacen que el sistema de Vizcarra se interconecte con el Sistema Interconectado Nacional logrando reforzar la potencia de cortocircuito y como consecuencia atenuar algunos casos de inestabilidad en el Sistema.

- e. Es necesario realizar el estudio integral del comportamiento del SVC con la actualización de los datos del sistema al 2006 donde se evalúe los comportamientos de las nuevas líneas y las nuevas centrales de generación que se han incorporado al Sistema Interconectado Nacional.

2.5 Performance con Armónicas

En la zona de influencia del Proyecto Antamina, es posible identificar fundamentalmente dos fuentes de corrientes armónicas. La primera de ellas es atribuida a la planta de SiderPerú, parte de cuyo contenido viaja desde la subestación Paramonga hacia la subestación Vizcarra; la segunda componente es la inyección de armónicas producidas por las cargas de las plantas mineras del centro del país, que se propagan por la red Electroandes inyectándose en la barra de 220 kV de las subestación Tingo María y Paragsha .

En ese sentido, los filtros que se han instalados en Vizcarra y Antamina absorben algunas de las corrientes armónicas existentes, por ello el diseño previsto para estos filtros por el proveedor respectivo considerarán las armónicas existentes en el sistema, así como los producidos por las cargas de Antamina.

2.5.1 Análisis y Modelamiento de los Armónicos existentes del SINAC

Como se ha mencionado respecto a los estudios y mediciones de armónicos realizados durante la etapa de diseño del SVC, se concluyó que las mediciones armónicas tomadas en mayo de 1999 no proporcionaban información suficiente para desarrollar adecuados modelos equivalentes de las fuentes armónicas con el propósito de representar las armónicas existentes en el sistema. Por ello, para asegurar la validez de los modelos de las fuentes de armónicas existentes en el sistema, Antamina ejecutó un nuevo conjunto de mediciones en marzo del 2000 siendo utilizadas estas magnitudes lográndose mejorar los modelos de representación de las armónicas existentes (ver anexo C: escenarios analizados del comportamiento de armónicos).

El método utilizado para reproducir las armónicas medidas en las líneas que unen Paramonga, Antamina y Tingo María con la subestación Vizcarra, se basó en lograr los niveles de corrientes armónicas medidas en cada una de las líneas con un énfasis

en reproducir las corrientes entrantes a la subestación Vizcarra provenientes de las líneas Paramonga-Vizcarra y Tingo María-Vizcarra. Para ello se utilizó dos fuentes de corrientes armónicas, una en la barra de 138 kV de Chimbote y la otra en la barra de 138 kV de Tingo María, variando el ángulo de fase entre ellas hasta obtener las corrientes medidas en las líneas. Utilizando estos modelos equivalentes como datos de entrada, se calculan las tensiones armónicas en la zona de estudio

Las tensiones armónicas calculadas usando las fuentes armónicas de corriente equivalentes desarrolladas con los resultados de las mediciones de marzo de 2000, dan resultados razonables para la mayoría de los casos cuando se comparan con los valores medidos. En general, los resultados calculados tienden a dar tensiones armónicas más altas que aquéllas que se midieron; en ese sentido, estos valores darán resultados conservadores al ser usados para dimensionar los componentes del filtro.

En la tabla 2.1 se presenta una comparación entre los valores calculados y los valores obtenidos de las mediciones.

Para comprobar el dimensionamiento de los filtros se ha realizado mediciones de corrientes y tensiones armónicas luego de la incorporación de la línea L2254 (Vizcarra-Paragsha), concluyéndose que los niveles se encuentran dentro de los límites exigidos por IEEE std 519 (las mediciones se realizaron en diciembre 2002).

En la tabla 2.1- Comparación de valores armónicos de tensiones máximos medidos y calculados.

Comparación de tensiones armónicas medidas y calculadas -Base datos del 2000

	Vizcarra 220		Antamina 220		Paramonga 220		Tingo María 220	
	EMTP	Medido	EMTP	Medido	EMTP	Medido	EMTP	Medido
Armónicos	3.55	3.1	3.71	3.55	3.33	2.3	3.19	2.1
120	1.72	1.73	1.74	0.87	1.83	0.43	1.22	1.13
180	2.43	1.96	2.48	2.36	1.88	1.14	1.95	0.61
240	0.91	0.63	0.94	0.43	0.71	0.22	0.53	1.21
300	1.56	1.49	1.65	1.65	1.11	1.05	1.61	0.27
360	0.25	0.31	0.27	0.48	0.34	0.16	0.33	1.17
420	0.65	0.59	0.73	0.62	1.45	1.22	1.36	0.15
480	0.05	0.19	0.06	0.31	0.26	0.08	0.22	0.17
540	0.02	0.13	0.02	0.15	0.09	0.09	0.09	0.12
600	0.22	0.16	0.27	0.24	0.13	0.06	0.26	0.17
660	0.10	-	0.13	0.24	0.17	0.16	0.08	0.07
720	0.06	0.08	0.09	0.16	0.07	0.04	0.08	0.21
780	0.05	-	0.07	0.31	0.19	0.28	0.01	0.08
840	0.03	0.16	0.05	0.11	0.08	0.06	0.04	0.14
900	0.02	-	0.03	0.55	0.03	0.17	0.02	0.11
960	0.04	0.16	0.08	0.12	0.04	0.04	0.03	0.34
1020	0.24		0.56	0.31	0.22	0.34	0.12	
1080	0.07		0.2	0.08	0.06		0.04	
1140	0.07		0.23	0.31	0.02		0.08	
1200	0.02		0.1	0.08	0.02		0.07	
1260	0.02		0.11	0.24	0.04		0.04	
1320	0.01		0.03	0.08	0.04		0.05	
1380	0.01		0.12	0.2	0.07		0.14	
1440	0.01		0.05	0.08	0.04		0.05	
1500	0.01		0.16	0.16	0.05		0.06	

Notas:

* Los valores se muestran en % de la tensión fundamental

* Los valores mostrados son los máximos medidos y/o calculados

2.5.2 Armónicas de corriente y tensión en los filtros del SVC Vizcarra

En los estudios realizados se han calculado las armónicas máximas de corriente y tensión esperados en Vizcarra debido a las armónicas de corriente del sistema y las armónicas producidas en la planta de Antamina para los mismos casos especificados donde el sistema se ve más vulnerable a los efectos de los armónicos. Las fuentes externas consideradas fueron los niveles existentes de armónicas de corriente representadas por las fuentes equivalentes aproximadas a partir de los valores medidos sin los filtros en servicio tanto en Vizcarra como en Antamina y las armónicas de la planta de Antamina. Las armónicas existentes del SINAC (sistema interconectado nacional) fueron simuladas mediante dos fuentes armónicas equivalentes independientes, una en la barra de 138 kV en Chimbote y la otra en la barra de 138 kV de Tingo María. La magnitud de cada fuente y el ángulo de la fase relativo entre ellas fueron asumidos como constantes cuando la configuración del sistema se cambiaba.

Para modelar las armónicas producidas por la planta Antamina, se consideró cuatro juegos de datos para diferentes niveles de carga de los ciclo-convertidores (en el capítulo III se detallan los armónicos producidos por estos equipos).

Para el dimensionamiento y diseño de los filtros se ha considerado las corrientes máximas de las fuentes del SVC, de las cargas de Antamina y los existentes del resto del sistema (fuentes de Sider Peru y de las mineras el centro del país). La metodología empleada consiste en alcanzar valores menores a los establecidos en las normas internacionales de IEEE std 519. En el Anexo D se detallan los valores de niveles de armónicos de los diferentes equipos de Antamina y los máximos existentes en el resto del sistema.

En el anexo D

- Se muestran las tabla B-1 y B-2 los valores de corrientes armónicas para diferentes niveles de carga de cicloconvertidores de los molinos.
- Se muestra las tabla B-3 los valores de corrientes armónicas generadas por el SVC.
- Se muestra las tabla B-4 los valores de corrientes armónicas generadas por las otras cargas de Antamina en el los niveles 7200 V (palas y perforadoras) y en 4160 V (variadores de velocidad de media tensión)

Con los resultados del comportamiento del nivel de armónicos existentes y las que aparecen con la operación del SVC y la carga de Antamina se ha diseñado los filtros para Vizcarra y Antamina

En el gráfico 2.4 se muestra la configuración de los filtros del SVC de la SE Vizcarra proporcionada por el proveedor.

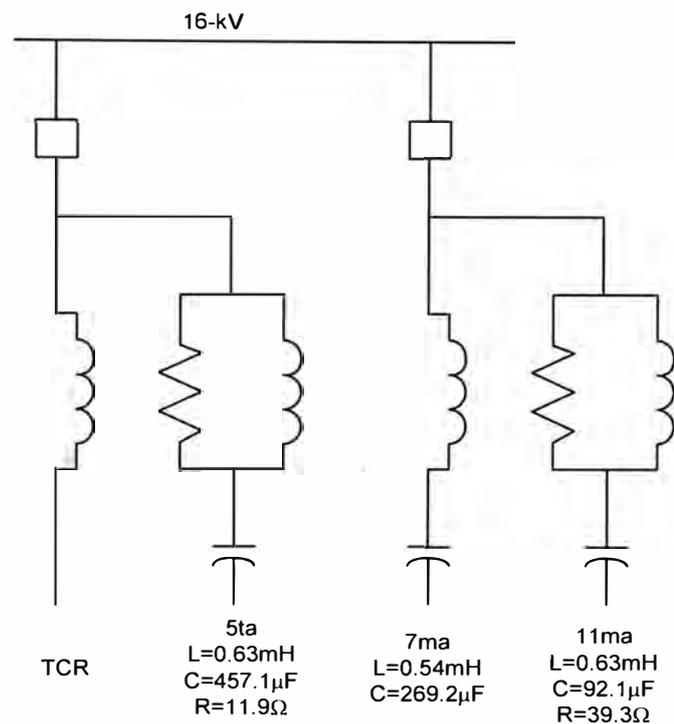


Gráfico 2.4 - Configuración de filtros del SVC de la SE Vizcarra

2.5.3 Armónicas de corriente y tensión en los filtros de Antamina

Usando los modelos de las armónicas existentes, se han calculado las máximas armónicas de corriente y tensión esperados en Antamina debidas a las armónicas existentes en el sistema externo y a las armónicas de corriente producidos en Vizcarra por el SVC (ver Anexo D – niveles de armónicos de los equipos de Antamina y del resto del Sistema)

La metodología es similar a lo realizado con los filtros del SVC en la cual se considera las corrientes armónicas que producen máximas tensiones armónicas, las cuales se deben de filtrar y conseguir niveles que se encuentren dentro de límites exigido por la IEEE std 519

En el gráfico 2.5 y tabla 2.2 se muestran la configuración de los filtros de Antamina y las magnitudes correspondientes de cada uno de sus elementos, proporcionada por el proveedor; se puede observar que sólo se ha dibujado un juego de filtros, ya que existen dos juegos de filtros en Antamina.

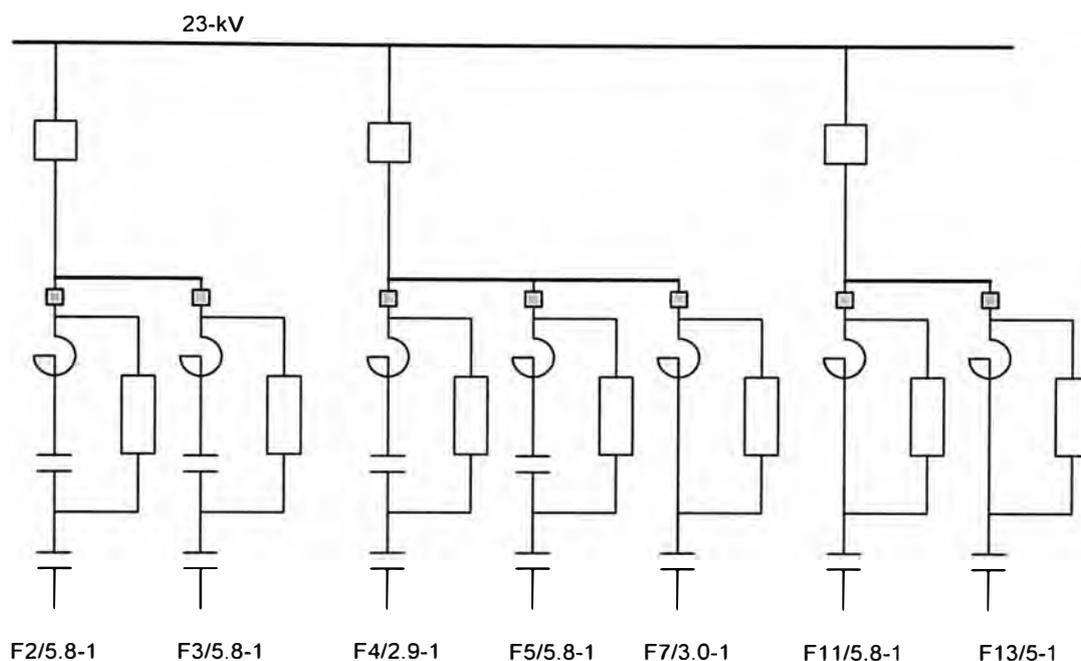


Gráfico 2.5 - Filtro de Antamina

Datos generales del filtro							
	2/5.8	3/5.8	4/2.9	5/5.8	7/3.0	11/5.8	13/5
Cantidad de Filtros	2	2	2	2	2	2	2
Filtro sintonizado para el armónico número	2	3	4	5	7	11	13
Tipo de filtro	C	C	C	C	HP	HP	HP
Potencia capacitiva del filtro	5786	5799	2895	5783	2953	5831	5824
Reactores							
Inductancia Nominal (mH)	81	31	33	10.1	10	2	1.7
Resistencia Amortiguadora							
Resistencia Nominal por fase (Ohm)	350	120	120	350	350	120	15
Banco de capacitares							
Parte Principal							
Capacitancia Nominal fase-neutro (μF)	29	29	14.5	29	14.5	29	29
Parte auxiliar (sintonizada para 60Hz con el reactor)							
Capacitancia Nominal entre dos puntos de conexión (μF)	87	232	217	696	-	-	-

Tabla 2.2 - Datos de los filtros de Antamina.

Se desarrolló un modelo para las armónicas existentes basado en las mediciones realizadas en marzo del 2000. Los resultados proyectados o calculados con este modelo indican que las armónicas existentes son mucho mayores que aquellas producidas por la peor combinación de armónicas de Antamina y Vizcarra.

Los resultados de todos los casos indican que el THD en los puntos de acople común esta debajo de los límites especificados en IEEE 519 y en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE), cuando todos los filtros están en servicio.

Resultados simulados importantes:

- Con todos los filtros en servicio, las tensiones armónicas individuales estuvieron debajo de los límites establecidos por IEEE 519 en todos los casos investigados. Hubo una condición de operación en la cual la 35th armónica de tensión estuvo ligeramente por encima del límite de la norma NTCSE
- Si solamente uno de los filtros de Antamina estuviera en servicio, el THD estaría aún debajo de los límites deseados para todos los casos estudiados. Hubo un caso donde fue excedido el límite de IEEE 519 para la 13 ra armónica, en Vizcarra y uno donde la NTCSE fue excedida por la 35th armónica en Antamina.

De acuerdo a estos resultados el diseño de los filtros es satisfactorio.

Conclusiones

Basado en los resultados para los casos estudiados con los diseños revisados para los filtros de Antamina, se ha concluido:

- Con sólo la inyección armónica desde el SVC en Vizcarra y con los filtros en Vizcarra y Antamina en servicio, se cumple para todos los casos en el punto común de acople (PAC-barra de 220 kV de Vizcarra) con lo establecido por IEEE 519. Es decir, en el punto de acople común el THD no excede el 1.5% y ninguna distorsión armónica individual de tensión excede el 1.0%. Hay un caso en que la 5ta armónica de tensión en Tingo María es mayor que 1%. En conclusión, en ningún caso se excede los límites de la NTCSE.

- Con sólo la inyección armónica desde la planta Antamina, con los filtros de Vizcarra y Antamina en servicio, en ningún caso el THD de la tensión en Vizcarra 220 kV o Antamina 220 kV excede el 1.5%. El THD es mayor en Vizcarra que en Antamina. No hay armónicas individuales de tensión que excedan los límites de IEEE 519, por otro lado hay un caso en el que el límite de NTCSE es ligeramente excedido, se trata de la 35th armónica.
- Con las armónicas de corriente del SVC de Vizcarra y de la planta Antamina, en ningún caso se exceden los límites de THD de IEEE 519. Hay un caso en que la 5ta armónica de tensión esta por encima de 1.0%, en Tingo Maria y Aguaytia. Asimismo, hay un solo caso en que los límites de NTCSE es excedida para la 35 th armónica en Antamina, Tingo Maria y Aguaytia.
- El contenido de armónicas actual del SINAC presenta distorsiones armónicas de tensión en el sistema de potencia que exceden los límites la norma IEEE 519, antes de las incorporaciones de la planta Antamina y el SVC, tal como lo evidencian las mediciones de armónicas tomadas en mayo de 1999 y en marzo de 2000.
- Las fuentes equivalentes de armónicas existentes han determinado que las distorsiones armónicas de tensión calculadas exceden los límites de IEEE 519 para el sistema eléctrico antes que se ponga en servicio la planta de Antamina y el SVC de la subestación Vizcarra.

2.6 Condiciones Críticas de Operación del Sistema

Con las condiciones consideradas como críticas para el sistema se han realizado estudios de respuesta en frecuencia, con el objetivo de identificar la posibilidad de resonancia armónica en el rango de 70 a 450 HZ. Para lo cual se realizó un análisis de respuesta en frecuencia del sistema vista desde Vizcarra y Antamina variando la frecuencia entre 50 y 3000 Hz. En este estudio se determinó las frecuencias de resonancia a diversas condiciones críticas de operación del sistema, incluyendo el efecto de las armónicas no-enteras generados por los cicloconvertidores de los molinos de Antamina (Anexo C)

La condición más crítica generalmente ocurre cuando las líneas Paramonga Vizcarra y Pargazo –Vizcarra están fuera de servicio.

La metodología utilizada tiene los siguientes pasos:

1. La respuesta en frecuencia del sistema vista desde Vizcarra (o Antamina) fue realizada inyectando una corriente de frecuencia variable en la barra de 16 kV de Vizcarra (o 23 kV de Antamina) para los 65 escenarios detalladas en el anexo C, considerando las siguientes 05 combinaciones de inyección de corriente:
 - a. Inyección en la barra de baja tensión del SVC en Vizcarra, con todos los filtros de Vizcarra y Antamina conectados.
 - b. Inyección en la barra de baja tensión del SVC en Vizcarra, con todos los filtros de Vizcarra y los filtros de Antamina desconectados.
 - c. Inyección en la barra de baja tensión del SVC en Vizcarra, con 50 MVAR de filtros conectados en Vizcarra y un juego de filtros conectados en Antamina.
 - d. Inyección en la barra de 23 kV de Antamina, con todos los filtros de Vizcarra y Antamina conectados.
 - e. Inyección en la barra de 23 kV de Antamina, con 50 MVAR de filtros conectados en Vizcarra y un juego de filtros conectados en Antamina.
2. Calcular los valores del THD y la máxima distorsión armónica individual en las barras de Antamina, Vizcarra, Paramonga, Tingo María y Aguaytia.
3. Utilizar estos valores como indicadores para evaluar el riesgo de resonancia armónica para cada uno de los 65 escenarios estudiados (anexo C). Esta evaluación también incluye las armónicas existentes en el SINAC.

Con los estudios realizados se ha logrado mostrar los niveles de THD en las subestaciones de Vizcarra, Antamina, Tingo Maria, Paramonga y Aguaytia. Estos niveles han sido obtenidos con las armónicas generadas en Vizcarra, Antamina y las existentes del SINAC , las cuales se muestran en las tablas del anexo E.

Cada tabla tiene respectivamente las siguientes combinaciones:

- Todos los filtros en Antamina y Vizcarra en servicio.
- La mitad de filtros (un juego) en Antamina y todos los filtros de Vizcarra en servicio.
- La mitad de filtros (un juego) en Antamina y la mitad de filtros de Vizcarra en servicio.

De las tablas podemos observar que en Antamina sólo existe un caso en que el THD supera el 4 %, es en el caso 37 (anexo E tabla 9) cuando se tienen la mitad de los filtros en Vizcarra y un conjunto de filtros en Antamina, por lo tanto los niveles de armónicas que inyecta Antamina están por debajo de los niveles de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (según data del sistema de 1999).

De acuerdo a los resultados del análisis de respuesta en frecuencia para los 65 escenarios considerados, se concluyó lo siguiente:

1. Los únicos casos bajo ciertas condiciones del SINAC, en los cuales en la barra de 220 kV de Vizcarra se obtienen valores de THD mayores que 5%, se presentan cuando los 02 compensadores síncronos en Antamina están fuera de servicio, lo cual muestra que la carga de Antamina no debe funcionar sin los compensadores síncronos.
2. La reducción de la cantidad de filtros en Vizcarra como un medio de cambiar la frecuencia de resonancia armónica provocará un gran incremento del THD y podría causar problemas de dimensionamiento de los filtros y otros equipos, razones por la cual debe ser evitada.
3. Luego de la operación de la línea L2254 (Vizcarra-Paragsha) se ha fortalecido el Sistema de Vizcarra y Antamina por lo que mejora las condiciones iniciales del proyecto y permite que Antamina puede operar con un condensador síncrono en la barra de 23 kV (sólo cuando se presenten contingencias en la operación de los 02 condensadores síncronos).
4. El COES-SINAC verá la conveniencia de realizar nuevas mediciones de armónicas luego que la segunda terna de Zapallal-Paramonga-Chimbote entre en servicio para verificar los resultados de las simulaciones.

2.7 Operación Trifásica del SVC

El SVC de Vizcarra tiene un control de tensión trifásico, esto es la señal de entrada al regulador de tensión del SVC está basada en el promedio de los voltajes de las tres fases y el SVC da la misma salida a cada fase.

Se realizaron simulaciones en EMTP para determinar los voltajes individuales como el promedio de las tres fases produciendo fallas en la línea Vizcarra-Paramonga.

De los resultados se concluye que el control trifásico no es suficiente para evitar que los niveles de voltaje de los ciclo-convertidores pasen de sus límites, porque las fallas monofásicas (si caen por debajo de 85% y 20 ms) hacen que la protección de los cicloconvertidores actúen saliendo de servicios todos los cicloconvertidores.

CAPÍTULO III COMPENSACION REACTIVA Y FILTRADO DE ARMÓNICAS

3.1 Introducción

En este capítulo se resume los estudios que se han realizado para la verificación del comportamiento de los niveles de armónicos y de las diferentes topologías para la elaboración de procedimientos de maniobras y administración del sistema de potencia.

Se analiza los niveles de armónicos producidos por el SVC, por las cargas no lineales de Antamina y otras fuentes externas en el punto de acoplamiento que es el anillo Vizcarra (armónicos del SINAC).

Los principales casos que se pueden presentar son:

- Comportamiento de armónicos debido al SVC y a las cargas no lineales de Antamina.
- Comportamiento de armónicos debido al SVC y a los armónicos por sistemas externos.
- Comportamiento de armónicos debido a las cargas de Antamina y a los armónicos por sistemas externos
- Comportamiento debido al SVC, cargas de Antamina y armónicos por sistemas externos.

Entre las fuentes principales de corrientes armónicos tenemos:

Ciclo-convertidores y variadores de velocidad, otras cargas no lineales de Antamina, la parte de electrónica de potencia del SVC y las fuentes de corrientes de armónicos externos al sistema de anillo Vizcarra (modelamiento con inyección en Chimbote y Tingo María).

Se adiciona un flujo de armónicos medidos el 2006 en los circuitos de Vizcarra y Antamina para las diferentes condiciones de la carga Antamina (Ver anexo F: Mediciones de los niveles de armónicos actualizados al 2006)

3.2 Fuentes Principales de Armónicos

Las fuentes de corrientes armónicas que tienen relevancia en el presente trabajo son las que por su magnitud de potencia instalada influenciarán directamente en la distorsión de tensiones. A continuación se consideran las principales fuentes:

3.2.1 Corrientes armónicas generadas por los cicloconvertidores

En Antamina se tiene 04 ciclo-convertidores para 03 molinos de bolas y 01 molino Sag. Los fabricantes indicaron que los niveles de armónicos están relacionados con las velocidades de operación porque son directamente proporcionales a las corrientes que pasan por los tiristores de potencia mediante el método de modulación de ancho de pulso (PWM). Además los cicloconvertidores generarán interarmónicos (múltiplos no enteros de la frecuencia fundamental: 60 Hz).

Las corrientes inyectadas a la red por un cicloconvertidor principalmente está compuesto por dos tipos de armónicas:

i) Armónicas características

Son independientes de la configuración y del número de pulsos del cicloconvertidor. Las frecuencias de estas armónicas son independientes de la frecuencia de salida y están dadas por la ecuación:

$$f_n = f_1 \pm 6nf_0 \quad n = 1,2,3,\dots \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

f_1 : frecuencia de la red

f_0 : frecuencia de la salida

ii) Armónicas dependientes del circuito

La frecuencia de estas armónicas depende del número de pulsos del cicloconvertidor y de la frecuencia de salida.

En un cicloconvertidor de 12 pulsos estas armónicas tienen frecuencias determinadas por la siguiente ecuación:

$$f_n = (12p \pm 1) \times f_1 \pm 6nf_0 \quad \dots \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Donde:

p : 1, 2, 3,

n : 0, 1, 2, 3,

La amplitud de las armónicas de corriente inyectadas a la red depende:

- i) Razón del voltaje de salida ($r = V_0 / V_{0\max}$)
- ii) Angulo de desplazamiento de la carga

Los gráficos 3.1 y ° 3.2 muestran las formas de corriente inyectada a la red por cicloconvertidores de 6 y 12 pulsos respectivamente.

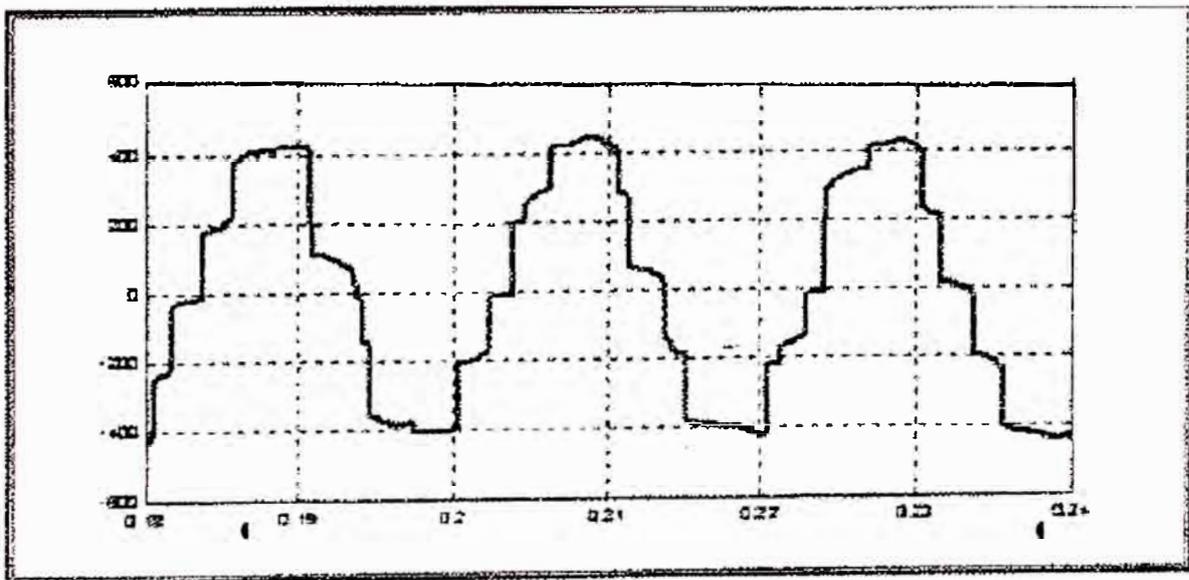


Gráfico 3.1-Forma de onda de corriente inyectada a la red por un cicloconvertidor trifásico de 6 pulsos.

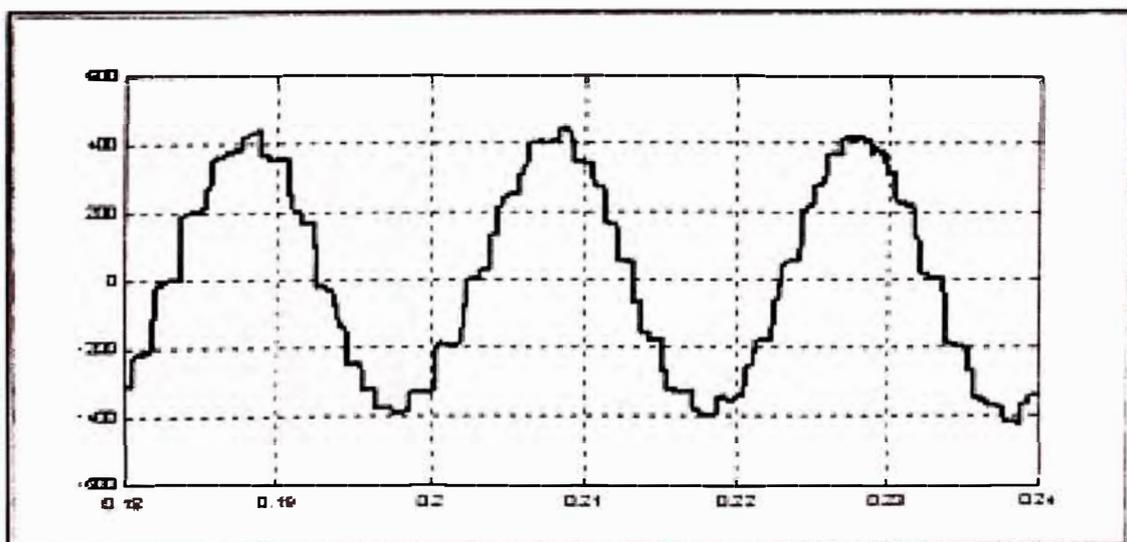


Gráfico 3.2-Forma de onda de corriente inyectada a la red por un cicloconvertidor trifásico de 12 pulsos.

El gráfico 3.3 ilustra un espectro típico de la corriente en la entrada de un cicloconvertidor de 12 pulsos con 10 HZ de frecuencia de salida.

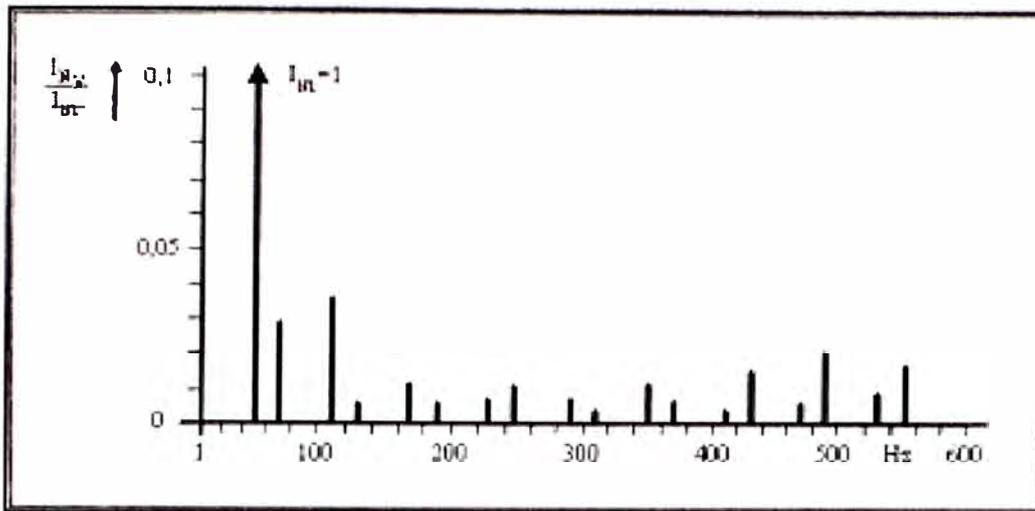


Gráfico 3.3-Espectro de la corriente inyectada a la red por un cicloconvertidor trifásico de 12 pulsos y 10 Hz de salida.

A continuación se ilustra con un ejemplo para un cicloconvertidor de 12 pulsos la generación de corrientes que inyectan a la red.

Cicloconvertidor de 15000 HP, 12 pulsos, es alimentado desde una red trifásica de $f_1=50$ Hz y genera en el punto de trabajo nominal una frecuencia de salida de $f_0 = 6.53$ Hz

Las corrientes presentes en las corrientes de entrada están determinadas por las ecuaciones 3.1 y 3.2. Sus correspondientes amplitudes han sido determinadas por el fabricante y se presentan en la tabla 3.1

Tabla 3.1- Armónicos en la corriente inyectada por un cicloconvertidor de 12 pulsos $f_1=50$ Hz, $f_0 = 6.53$ Hz

Frecuencia	Hz	Orden	Amps
F_1	50	1	562
$F_1 + 6F_0$	89.18	1.78	16.86
$F_1 - 6F_0$	10.82	0.22	16.86
$F_1 + 12F_0$	128.36	2.57	5.62
$F_1 - 12F_0$	28.36	0.57	5.62
$11F_1$	550	11	11.24
$11F_1 - 6F_0$	589.18	11.78	22.48
$11F_1 + 6F_0$	510.82	10.22	22.48
$11F_1 - 12F_0$	628.36	12.57	5.62
$11F_1 + 12F_0$	471.64	9.43	5.62
$13F_1$	650	13	11.24
$13F_1 + 6F_0$	689.18	13.78	11.24
$13F_1 - 6F_0$	610.82	12.22	11.24
$13F_1 - 12F_0$	728.36	14.57	11.24
$13F_1 + 12F_0$	571.64	11.43	11.24

Se observa claramente en la tabla 3.1 que las corrientes generadas por los cicloconvertidores en las corrientes de entrada no son múltiplos enteros de la frecuencia de la red a diferencia de lo que sucede con los rectificadores.

3.2.2 Corrientes armónicas generadas por variadores de velocidad y otras cargas

Estos armónicos son del tipo impar que están relacionadas directamente con los números de pulsos, y son inyectados a la barra 23 KV para luego ser filtrados por los banco de filtros que se encuentran en la subestación, corrigiendo de esta manera las distorsiones armónicas de voltaje.

3.2.3 Corrientes armónicas generadas por el SVC

El espectro de corrientes armónicas para el SVC es predominantemente impar de mayor magnitud para cada armónico individual (5th, 7th y 11th) que obedece a las generadas por los tiristores de potencia de 6 pulsos.

3.2.4 Corrientes armónicas generadas por cargas externas

De las mediciones realizadas en Marzo 2000, se han modelado en EMTP las inyecciones simultaneas en las barras Chimbote 138 KV y en barra 138KV de Tingo Maria el ángulo entre las fuentes son variados para representar las mediciones que se registraron en Vizcarra. Los valores considerados fueron los máximos.

En el anexo D se detallan los niveles de armónicos generados por las cargas de Antamina

3.3 Sistema Power Factor Correction (PFC)

El sistema PFC esta constituido por 02 condensadores síncronos y 02 juegos de bancos de filtros de armónicos que a frecuencia industrial compensan los reactivos. El control del PFC esta centralizado en un PLC que recibe señales de potencias de los equipos de protecciones para luego ordenar al Unitrol F(dispositivo de control de corriente de excitación) y a los filtros de armónicos para que ingresen en forma ordenada y progresivamente cumpliendo los objetivos siguientes:

- Mantener el factor de potencia del sistema en 0.96
- Reducir los niveles de distorsiones armónicas.

3.3.1 Operación normal del PFC

La operación del PFC consiste en responder a los requerimientos de compensación del sistema. Los condensadores síncronos y los filtros son usados para controlar los siguientes parámetros según el orden de prioridad:

1. Mejorar y mantener el factor de potencia según lo programado a un valor mínimo de 0.96 que tiene la mas alta prioridad
2. Estabilización del nivel de voltaje: compensando en forma capacitiva o inductiva lo cual depende del nivel de tensión que requiere respuesta rápida.
3. Compensación para estabilizar los niveles de THD: a niveles permitidos logrando una relación directa con el ingreso y salida de los filtros de armónicos (compensa inductivamente).

Los condensadores síncronos cumplen también con el papel de mejorar la potencia de cortocircuito y atenúa ciertas corrientes armónicas.

A continuación se muestra la secuencia de control de operación del PFC

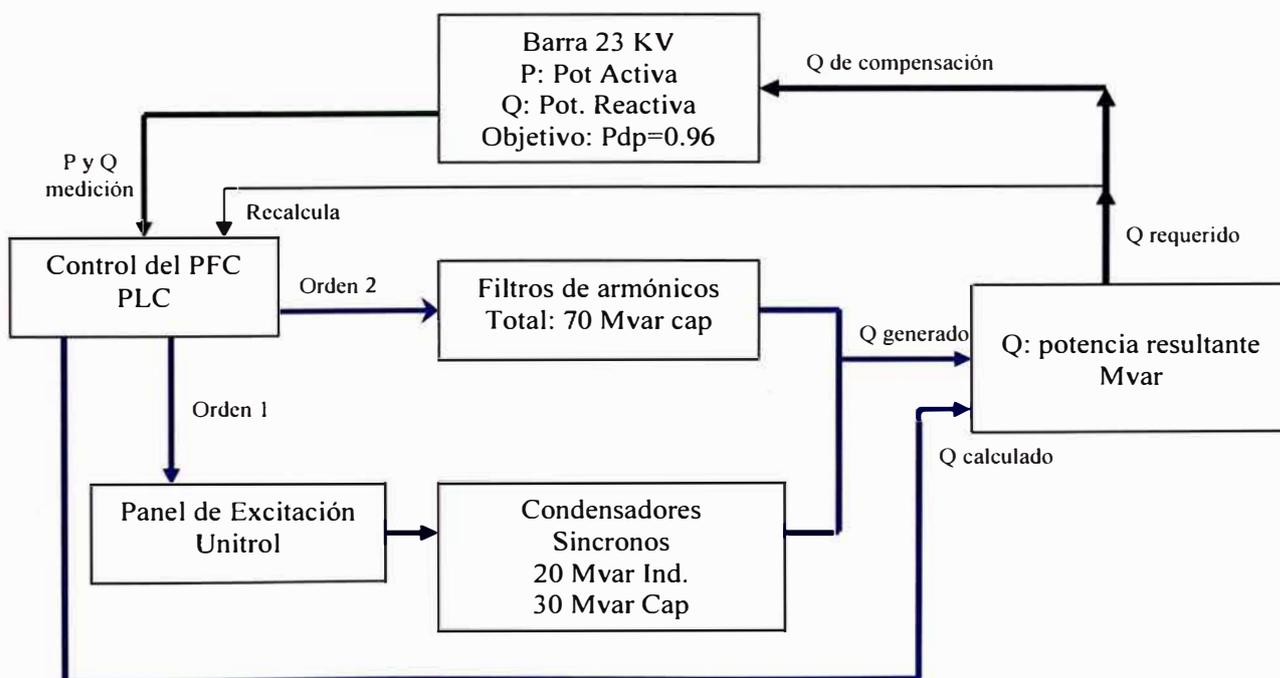


Gráfico 3.4-Diagrama de control del PFC

3.3.2 Componentes del PFC

El Sistema Power Factor Correction esta conformado por 02 condensadores síncronos de +10 / -15 MVar cada uno y por 02 juegos de banco de filtros de 35 MVar cada juego (los ordenes de filtros por juego son 2th, 3th, 4th, 5th, 7th, 11th y 13th).

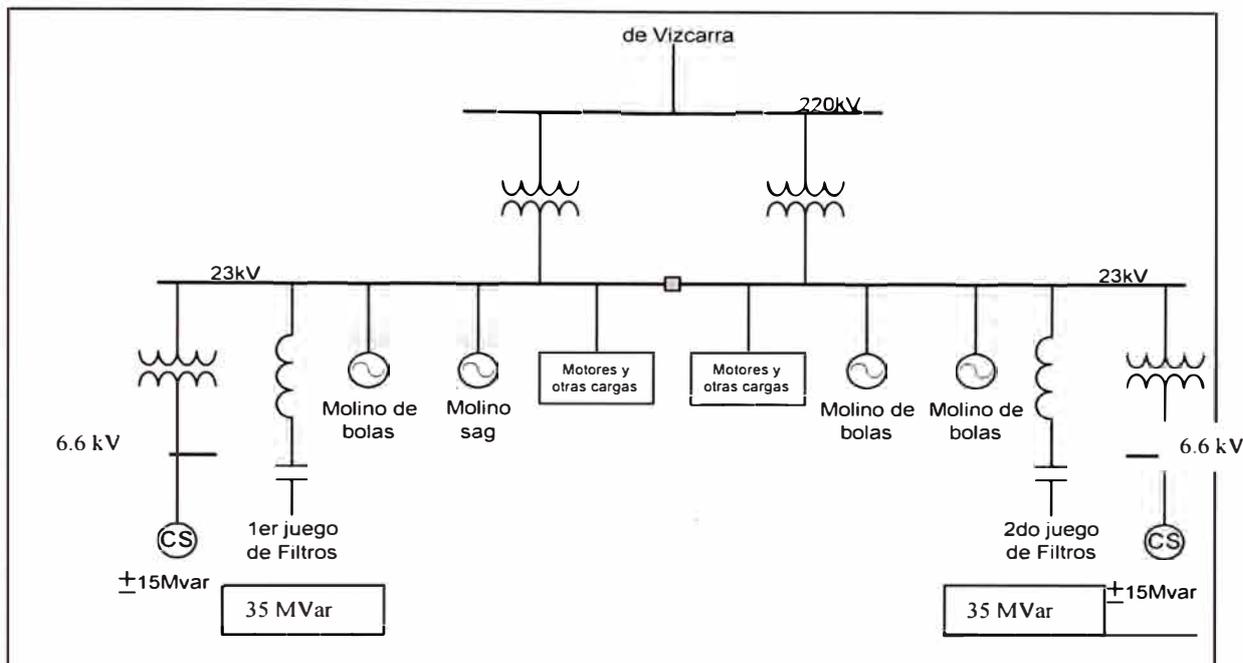


Gráfico 3.5-Diagrama de compensación y filtrado

3.3.3 Condensador Síncrono

Es parte del circuito de compensación necesaria para contribuir a la estabilidad del sistema de 23 KV en Antamina. Básicamente, el condensador síncrono es un convertidor electromecánico de energía con una pieza giratoria rotor o campo, cuya bobina es excitada por la inyección de una corriente continua que es controlada por el UNITROL (variador de corriente continua) que recibe la orden de un PLC que forma parte de control del sistema PFC.

En el interior del condensador síncrono las corrientes alternas circulan por los devanados del estator y produce un campo magnético giratorio en el entrehierro de la máquina con la frecuencia angular de las corrientes de armadura y que están a la misma frecuencia de la red dejando predispuesto la compensación de reactivos capacitivos o inductivos en forma de regulación fina a la barra de 23 KV por medio de un transformador elevador (6.6/23 KV)

3.3.3,a Sobre excitación y Sub excitación

En las máquinas síncronas la carga siempre determina la potencia activa del motor y el nivel de potencia reactiva puede ser ajustado por la corriente de excitación.

La máquina esta sobre excitada cuando la corriente de excitación incrementa la componente reactiva de la corriente de armadura generando reactivos hacia la red.

La máquina esta sub excitada cuando la corriente de excitación decrece y la máquina recibe potencia reactiva de la red.

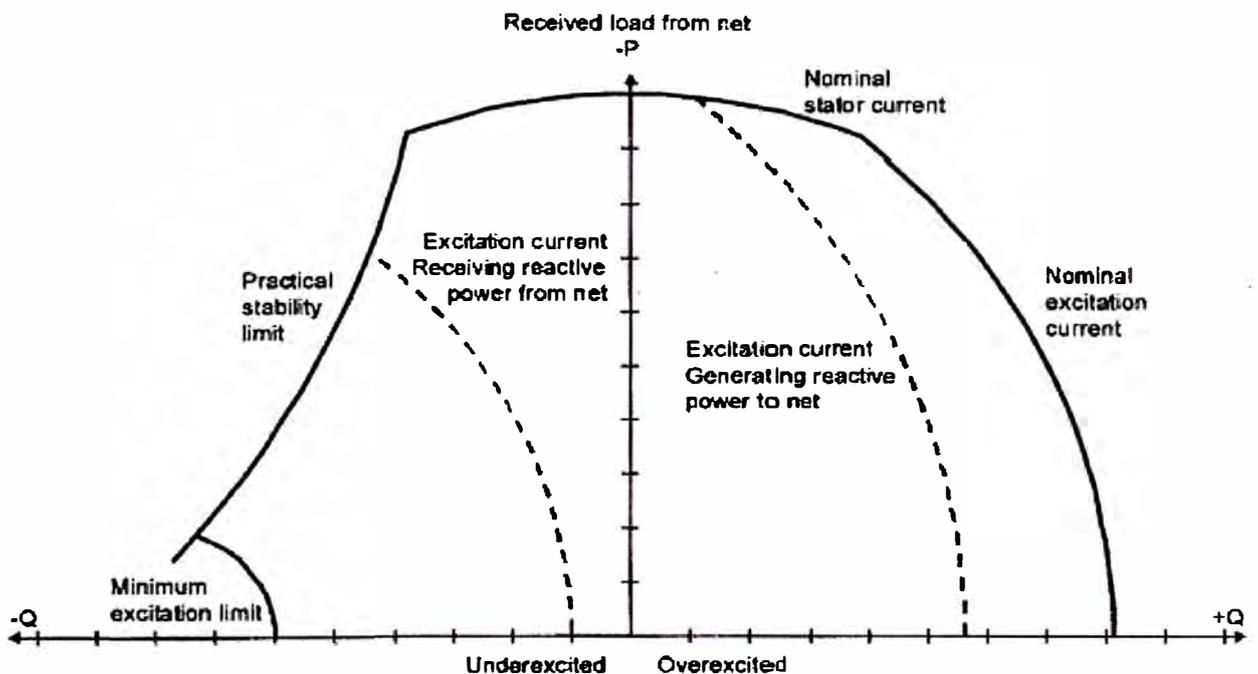


Gráfico 3.6-Diagrama PQ de los condensadores síncronos

3.3.3,b Procesos de arranque del condensador síncrono

El Condensador síncrono cuenta con un motor primo que es accionado con un variador de velocidad que lleva al motor principal a una velocidad de 900 RPM y luego envía orden al interruptor de potencia de 23 kV para que energice el estator del motor principal, luego es aplicado la corriente de excitación que es controlado por el Unitrol. El tiempo de arranque de la corriente de excitación cuenta con una protección de tiempo largo de arranque para prevenir los sobre temperatura en los bobinados por causa de las corrientes inducidas a el rotor.

Durante la operación del condensador síncrono esta activa la protección de corriente de excitación que esta limitado por la curva PQ. Esta protección evita que el condensador se quede sin corriente de excitación y por lo tanto previene que se induzca corriente en el devanador del rotor que pueda causar estrés térmico.

3.3.3,c Módulo de excitación Unitrol F

Unitrol F es un regulador digital de voltaje que cuenta con convertidor de potencia integrado, que originalmente fue desarrollado para regular motores de corriente continua. Un nuevo software de este sistema es aplicable al control de voltajes, potencia aparente y corrientes de excitación que están relacionadas a las máquinas síncronas.

La configuración de la corriente de excitación del motor consiste de un sistema de excitación Unitrol F con mediciones correspondientes e interfases de I/O y paneles de control para operación y/ resetear fallas y alarmas.

El Unitrol cuenta con dos métodos principales de control que son: El Var (reactivos) control y el PF (factor de potencia) - control. El más común es el método de PF-control para los motores síncronos que consiste en variar la corriente de excitación para mantener el ángulo ($\cos \varphi$) estable.

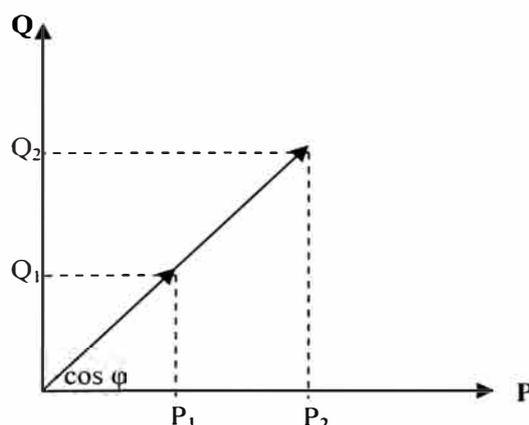


Gráfico 3.7-Diagrama PF-control

3.3.3,d Límites del Condensador síncrono

Para lograr que la máquina opere en condiciones seguras se establece los límites de acuerdo con la curva PQ. Cuando los límites de sobre excitado o sub excitado es activado, el control debería llevar ha estos parámetros a sus límites

permisibles, pero si la red a la cual están conectados exige superar estos límites es cuando actúan las protecciones de sobrecarga evitando de esta manera los sobrecalentamientos en los motores.

Las protecciones con las que cuenta son de sobre corriente, desbalance de corriente, falla a tierra, sobre tensión y sub tensión entre otras.

3.3.4 Filtros de armónicos

Los filtros de armónicos presentan un camino de menor impedancia que la red para las frecuencias de las armónicas que se desea eliminar. De este modo, la corriente armónica I_h busca el camino del filtro. Esto se obtiene logrando que la impedancia total equivalente del sistema a esa frecuencia determinada sea menor.

Asimismo las corrientes armónicas producen caídas de tensiones menores en la impedancia de la red, lo que significa que la distorsión de la tensión disminuye.

Los filtros contienen elementos pasivos R-L-C, es decir resistencia, inductancias y capacitancias de tal forma que la frecuencia de resonancia sea igual al de las armónicas que se desean eliminar.

3.3.4,a Factor de calidad de filtros

Este factor determina las características de la impedancia y hace que ésta sea más o menos estrecha o abierta ($Q_0 = X_0 / R$).

3.3.4,b Aplicación de filtros

Los filtros utilizados son del tipo pasa alto del 2do orden por las características de las cargas. Estos filtros ofrecen un rango amplio de armónicas de baja impedancia y se emplean especialmente cuando las armónicas no tienen frecuencia fija, lo que sucede generalmente con los cicloconvertidores.

Los filtros pasa alto presentan alta impedancia para frecuencias menores a la frecuencia de resonancia y una baja impedancia para frecuencia mayores a la frecuencia de resonancia. Estos filtros tiene el factor de calidad Q bajo y están definidos por la relación $Q = R / X_0$ (0.5 a 4).

Las aplicaciones de los filtros obedecen principalmente a las siguientes cargas:

- Los cicloconvertidores generan gran cantidad de armónicos de un amplio rango. Estas están compuesta de variadas frecuencias que dependen principalmente de la frecuencia de salida del cicloconvertidor, para los cuales son óptimos los filtros pasa alto.
- El SVC genera armónicos del orden 5th, 7th, y 11th predominantemente y cuenta con los filtros para atenuar dichos armónicos:

Un Banco filtro de la 5ta armónica	n=4.95	Q=51 MVAR
Un Banco filtro de la 7ma. armónica	n=6.95	Q=29 MVAR
Un Banco filtro de la 11ma armónica	n=11.02	Q=10 MVAR

- Variadores de velocidad con rectificadores de 6 pulsos, que corresponden a motores de media y baja tensión.
- Palas y perforadoras accionados por variadores de velocidad

En el Sistema de potencia de Antamina se cuenta con filtros instalados en las subestaciones Vizcarra y Antamina los cuales han sido diseñados para atenuar los armónicos generados por las cargas no lineales del complejo minero, por el SVC y los existentes en el sistema de Tingo María y Paramonga.

En los gráficos 3.8 y 3.9 se muestran las configuraciones de los filtros de Antamina y Vizcarra.

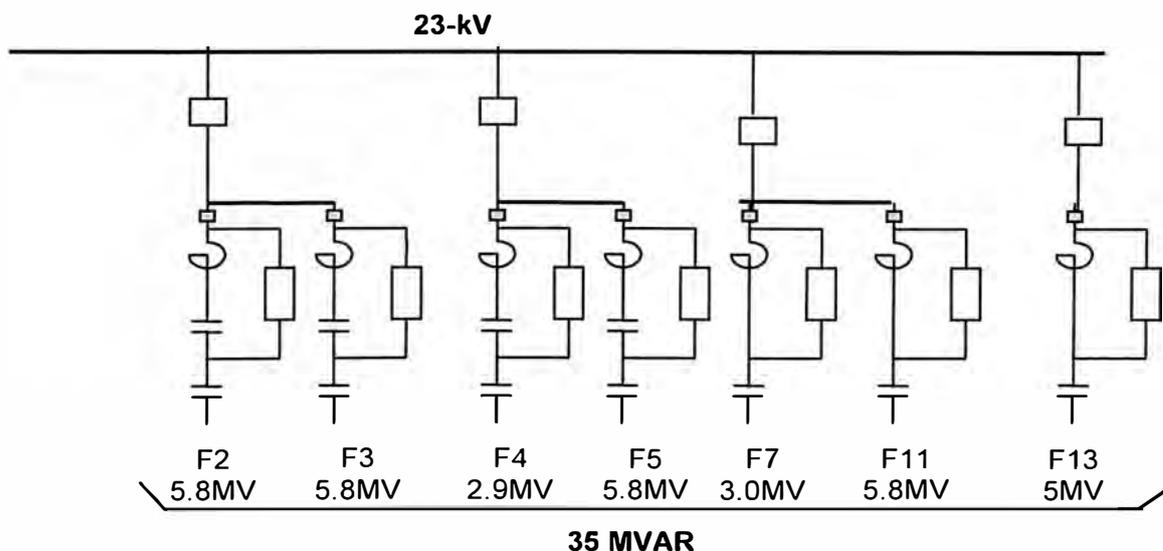


Gráfico 3.8-Diagrama de los filtros instalados en Antamina

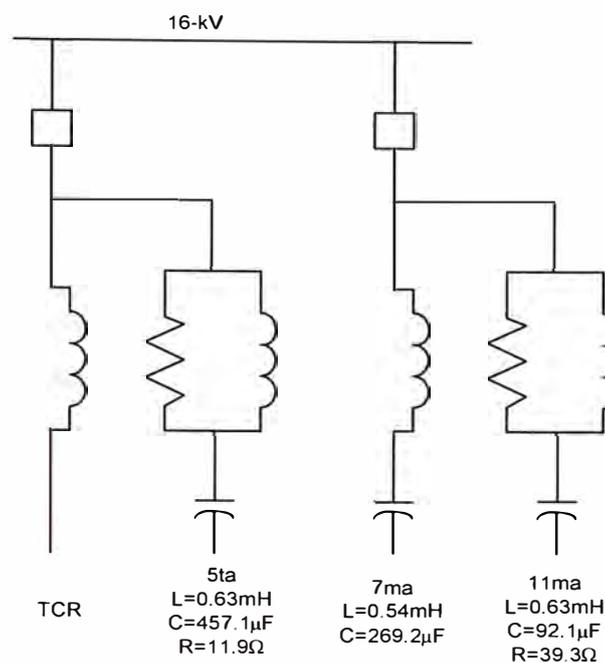


Gráfico 3.9 Configuración de filtros del SVC en la SE Vizcarra

3.4 Influencia de la topología en la estabilidad

Durante el diseño y dimensionamiento de los equipos de compensación se han analizados varios escenarios de la topología eléctrica nacional que influyen en el comportamiento del sistema de potencia de Antamina. En esta parte se realizará un resumen de las condiciones que se tomaron en cuenta durante la etapa de proyecto y relacionarlas con las condiciones actuales que se presentan durante las operaciones del sistema.

3.4.1 Escenarios de importancia

Sin Línea L2254: Vizcarra-Paragsha (topologías estudiadas originalmente)

- El escenario de mayor influencia se presenta cuando las dos unidades de generación en Aguaytia, el transformador de 220/138-kV en Tingo María y dos condensadores síncronos más un transformador 220/23-kV en Antamina se encuentren fuera de servicio. En estas condiciones la operación de las cargas en Antamina será reducida y con la planta concentradora (los molinos) fuera de servicio.
- Con el transformador de Tingo María fuera de servicio y 2 unidades de generación en servicio en Aguaytia, y ante la pérdida de la línea Vizcarra -

Paramonga puede producir la inestabilidad por encima de la frecuencia (0.6%) que puede sacar (trip) los generadores de Aguaytia.

- Con el transformador de Tingo María fuera de servicio y una unidad de Aguaytia en servicio, ante una pérdida de la línea Vizcarra - Paramonga (L2253) va a producir 5% de caída de frecuencia que causará que el generador de Aguaytia salga inmediatamente.
- Sin generación en Aguaytia, una pérdida de la línea Vizcarra - Paramonga (L2253) resultará en una desconexión inmediata de Antamina.
- La estabilidad del sistema depende de la conducta de los generadores de Aguaytia después de la perturbación.

El transformador 220/138-kV de Tingo María juega un papel importante porque ante una pérdida de la línea Paramonga - Vizcarra significará que las planta de Antamina, Vizcarra SVC y Aguaytia se comporten como un sistema aislado débil, originando la salida de las cargas de Antamina.

Es recomendable no operar el sistema Aguaytia - Vizcarra - Antamina como una isla, porque la central de Aguaytia no necesariamente tiene la capacidad de respuesta requerida. Además en esta configuración se presenta una predisposición potencial del SSTI (Interacción Torsional Sub Síncrona) entre los generadores de Aguaytia , el SVC de Vizcarra y ciclo-conversores de Antamina puede ocasionar problemas mayores. Sólo si se demuestra que no existe ninguna SSTI, se puede ver la posibilidad de trabajar en forma aislada del resto del sistema eléctrico peruano. Esta recomendación predomina más que la preocupación por los armónicas bajo el funcionamiento aislado

De las 65 condiciones posibles para la operación del sistema se observa que el flujo de potencia para dos casos (casos 60 y 63 _anexo A) debe ser restringida en Antamina para cumplir con el criterio de tensión en estado estacionario, en estos casos se ratifica que mejor que la planta concentradora debe operar con condensadores síncronos.

Para las condiciones mencionadas se ha obtenido los siguientes niveles de cortocircuito (datos del SINAC -1999):

Tabla 3.2 – Niveles de cortocircuitos trifásicos expresados en MVA

	Vizcarra 220 KV	Antamina 220 KV	Antamina 23 KV
MAX (Año 2000)	768	604	488
MIN (Año 2000)	247	230	205

Con Línea L2254: Vizcarra-Paragsha en servicio

- Con el ingreso de la línea L2254: Vizcarra -Paragsha a fines de setiembre del 2002 se ha fortalecido la potencia de cortocircuito de Vizcarra y Antamina dado que la interconexión de Paragsha une los sistemas Norte-Centro y Sierra-Centro del país.

En la tabla siguiente se muestra los niveles de cortocircuito actualizados

Tabla 3.3 – Niveles de cortocircuitos trifásicos expresados en MVA

	Vizcarra 220 KV	Antamina 220 KV	Antamina 23 KV
MAX (Año 2002)	1200	809	800
MIN (Año 2002)	890	450	400

- Las diferentes combinaciones de las topologías que se pueden realizar para que la carga de Antamina y que esta no se vea afectada necesariamente tienen que estar en servicio los dos generadores de Aguaytia y los generadores que se conectan por medio de la subestación Paragsha. En estos casos la pérdida de la línea L2253: Vizcarra-Paramonga en estado estable no necesariamente produce la salida de la carga Antamina porque tiene dos fuentes suministradoras de energía que llegan al anillo Vizcarra.
- La condición original de la red para la cual fue diseñado el SVC cambió con la entrada en operación de las líneas Paragsha – Vizcarra, Paragsha.- Carhuamayo y Carhuamayo – Oroya y próximamente la interconexión de la minera Santa Luisa

- Se ha determinado que ante una contingencia del SVC y con los grupos en Aguaytía, la línea L2252, la línea L2253 y la línea L2254 en servicio la carga de Antamina no es afectada. Esta nueva condición es diferente a las condiciones iniciales que fueron establecidos para las operaciones de las cargas en Antamina.

Las condiciones actuales de la topología de la red en esta parte del sistema eléctrico nacional serán materia de estudios y/o actualizaciones permanentes porque los proyectos mineros ven factible el suministro de energía del interconectado desde la subestación Vizcarra hacia sus centros de operaciones.

En e gráfico 3.10 se muestran la configuración del Anillo Vizcarra con los flujos reales correspondientes para una condición de falla del SVC.

En el gráfico 3.11 se muestran la topología de la Sistema Interconectado Nacional que influye directamente en el comportamiento del Anillo Vizcarra.

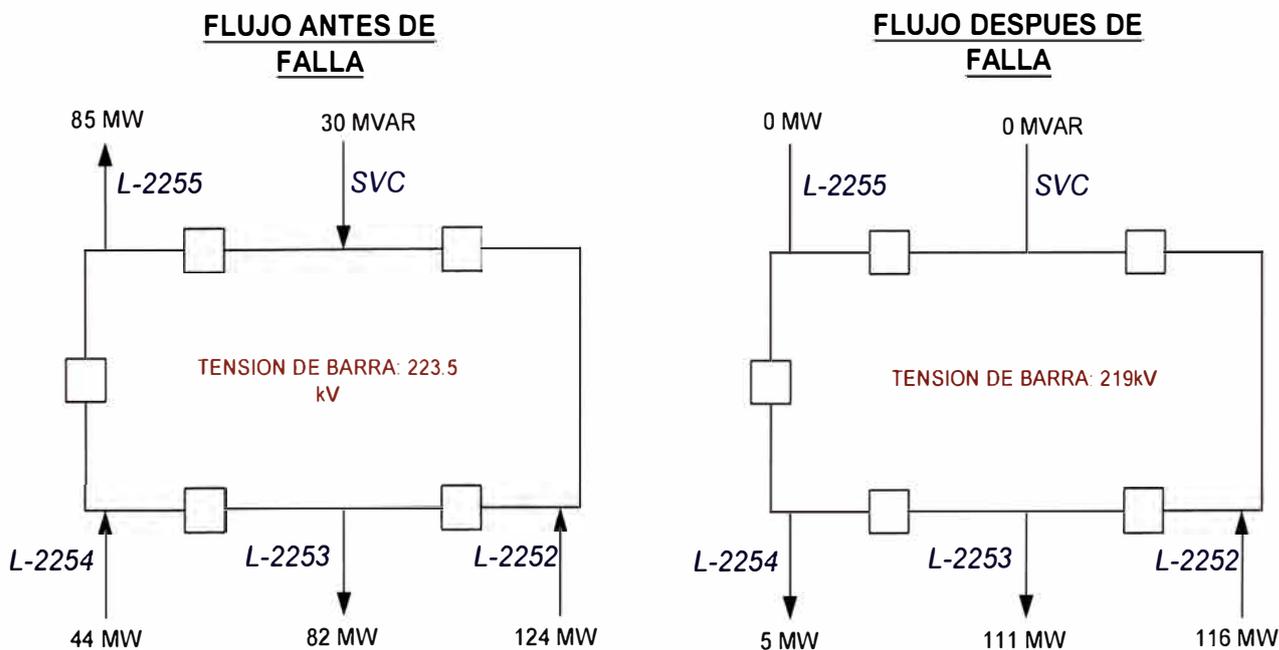


Gráfico 3.10-Configuración del Anillo Vizcarra ante una falla en el SVC

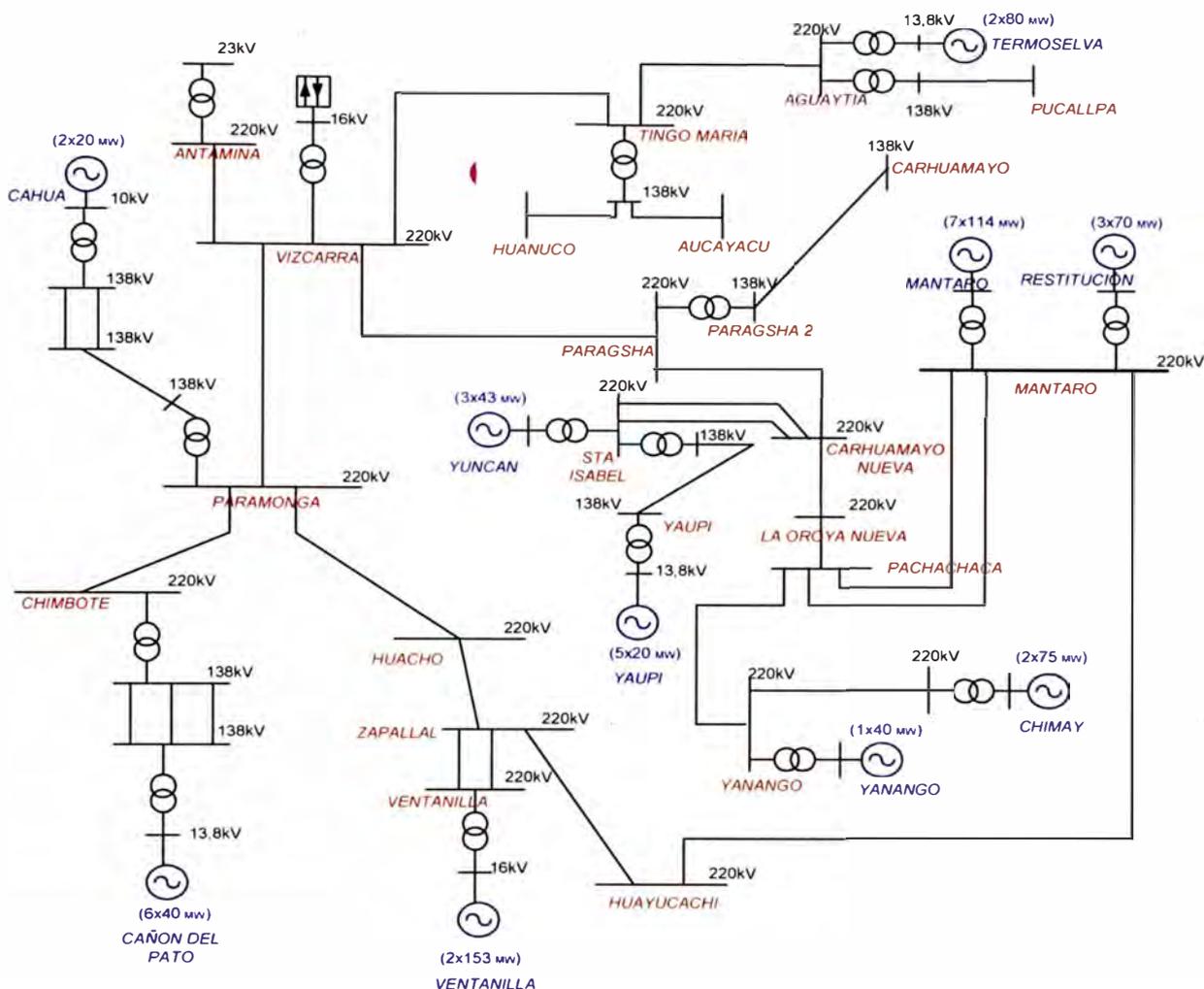


Gráfico 3.11-Configuración de la topología de Red que influye en el Anillo Vizcarra

En el gráfico 3.11 se aprecian los generadores que tienen mayor importancia para la estabilidad del sistema referidos al punto Vizcarra. Sin embargo no se tomó en cuenta los generadores que están muy alejados del punto Vizcarra y/o tienen poca importancia para el sistema interconectado.

Es importante destacar que las centrales operan de acuerdo al despacho económico adaptable a la carga elaborado por el COES (Comité de Operación Económica del Sistema) y en el caso de perder al SVC por falla, las condiciones más óptimas para mantener la tensión en la barra Vizcarra es que todas estas generadoras involucradas y las líneas de transmisión que conectan estos generadores al anillo Vizcarra se encuentre en servicio.

A continuación se detalla el despacho económico administrado por el COES que es aplicado para el anillo Vizcarra y la carga Antamina durante una falla del SVC ocurrido el día 08 de setiembre del 2006.

Tabla 3.4 – Despacho económico de generación sin SVC de Antamina

08.09.06	ELECTRO PERU		EDEGEL			ELECTRO ANDES	TERMO SELVA	ENERSUR	EGENOR	CAHUA
HORA	MTRO	RON	CHIM	YAN	VENT	YAUP	TG1 y TG2	YUN	CPATO	CAHUA
13:00	641	210.6	75	10.4	151	91	168	85	133	32.9
13:30	648	210.0	45	10.5	151	91	167	85	138	32.8

Además es importante conocer las distancias de los generadores respecto a la Subestación Antamina.

Tabla 3.5 – Distancias físicas de las generadoras a la Subestación Antamina

MANTARO Y RESTITU	CHIMAY	YANANGO	YAUPI	TERMOSEL	YUNCAN	CAÑON DEL PAT	CAHUA
L-2255 55 Km.	L-2255 55 Km.	L-2255 55 Km.	L-2255 55Km.	L-2255 55 Km.	L-2255 55 Km.	L-2255 55 Km.	L-2255 55 Km.
L-2254 124Km	L-2254 124Km	L-2254 124Km	L-2254 124 Km.	L-2252 174 Km.	L-2254 124 Km.	L-2253 144 Km.	L-2253 144 Km.
L-2258 44 Km.	L-2258 44 Km.	L-2258 44 Km.	L-2258 44 Km.	L-2251 73 Km.	L-2258 44 Km.	L-2215 220,3 Km.	L-1101 9 Km.
L-2259 74 Km.	L-2259 74 Km.	L-2259 74 Km.	L-2265 53 Km.		L-2265 53 Km.	L-1103 83,7 Km.	L-1102 63 Km.
L-224 21 Km.	L-224 21 Km.	L-224 21 Km.	L-1701 17 Km.				
L-2218 195 Km.	L-2256 89 Km.	L-2256 89 Km.					
		L-2257 30 Km.					
513 Km.	407 Km	437 Km.	293 Km.	302 Km.	276 Km.	503 Km.	271 Km.

Se aprecia que las centrales más cercanas a la barra de Antamina son: Cahua, Yuncán, Yaupi y Termoselva. Sin embargo, el aporte de la central de Cahua no es tan relevante a diferencia de las otras 3 centrales. Una de las centrales más importantes pese a la longitud es la central del Mantaro ya que la potencia que se genera en dicha central es muy importante para mantener la estabilidad del sistema incluido la barra de Vizcarra. Como vemos en la tabla 3.4 solo Mantaro genera 860 MW y todas las otras centrales juntas llegan a 700 MW.

3.5 Influencia de la Red topología en los niveles de armónicos

La red topológica influencia directamente en la fortaleza del sistema de potencia que se refleja en el nivel de potencia de cortocircuito en el Punto de Acoplamiento Común (PCC). En este punto se analizará los comportamientos de los parámetros relacionados con los armónicos.

3.5.1 Análisis de frecuencia y armónicos

Es importante analizar la resonancia armónica de bajo orden, es decir, resonancia en el rango de frecuencia bajo de 70 Hz a 450 Hz. Sin embargo este análisis visto desde los Sistemas de Vizcarra y Antamina incluye un rango de frecuencia de 50 Hz a 3000 Hz con un paso de frecuencia pequeño para determinar las frecuencias resonantes por varias condiciones del sistema crítico, incluyendo el efecto del interarmónicos (armónicos no múltiplos enteros) generados por los cicloconvertidores.

Estos resultados proveen una visión clara a la posibilidad de una frecuencia de resonancia y conocer las configuraciones más débiles del sistema que se presentan cuando no están en servicio las líneas L2253 y L2254

El análisis de frecuencia (frequency scans) del sistema visto desde Vizcarra (o Antamina) se efectuó con la inyección de una frecuencia inconstante en las barra 16-kV (Vizcarra) y de 23 kV (Antamina).

Los casos importantes analizados establecen cinco combinaciones para las inyecciones de armónicos, que son las siguientes:

1. Inyección de corriente en 16 kV- SVC Vizcarra; con todos los filtros de Vizcarra y Antamina en servicio.
2. Inyección de corriente en 16 kV- SVC Vizcarra; con los filtros de Vizcarra en servicio y sin filtros en Antamina.
3. Inyección de corriente en 16 kV- SVC Vizcarra; con el filtro 5th (50 Mvar) del SVC y con algunos filtros en Antamina.
4. Inyección de corriente en 23 kV- Antamina, con todos los filtros de Vizcarra y Antamina en servicio.
5. Inyección de corriente en 23 kV- Antamina y con el filtro 5th: (50 Mvar) del SVC y con algunos filtros en Antamina.

Los THD y los valores de distorsión armónicos individuales máximos fueron calculados para las barras de Antamina, Vizcarra, Paramonga, Tingo María y Aguaytia, basados en los análisis de frecuencia para las 5 combinaciones arriba mencionados. Estos resultados fueron usadas como indicadores para evaluar el riesgo de resonancia armónica para cada uno de los 65 escenarios estudiados (referidos en los anexos C y E).

Las magnitudes de las corrientes armónicas generadas por el SVC de Vizcarra y por las carga de Antamina fueron en base a los espectros de armónicos entregados por los fabricantes (ABB, Rockwell, Bucyrus y otros) de los equipos de electrónica de potencia. Los voltajes armónicos calculados fueron las obtenidas por ambas corrientes armónicas: enteras y no enteras.

3.5.2 Resultados de THD y armónicos individuales

El THD y los resultados máximos de distorsión armónica individual han sido obtenidos de las diferentes combinaciones de inyecciones de armónicos que se detallan en el punto 3.5.1 y se muestran en las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 del anexo E.

Método empleado

En los análisis realizados para las combinaciones mencionadas de inyección de corrientes armónicas y de operación de los filtros se han considerado métodos basados en: **Suma lineal y Raíz cuadrada de la suma de cuadrados de armónicos individuales** para cada fuente.

En la tabla 3.6 se muestran las ecuaciones en empleadas para el cálculo de las distorsiones armónicas

Tabla 3.6 – Ecuaciones para el cálculo de corrientes armónicas

Method 1: The currents and voltages are added linearly for each harmonic

$$I_{Total} = I_2 + \dots + I_n$$

Method 2: The currents and voltages are combined as the square root of the sum of the squares for each harmonic

$$I_{Total} = \sqrt{(I_2)^2 + \dots + (I_n)^2}$$

Combining Background and SVC Harmonics

Method 1: The currents and voltages are added linearly for each harmonic

$$I_{Total} = I_{2BG} + I_{2V2} + \dots + I_{nBG} + I_{nV2}$$

Method 2: The currents and voltages are combined as the square root of the sum of the squares for each harmonic

$$I_{Total} = \sqrt{(I_{2BG})^2 + (I_{2V2})^2 + \dots + (I_{nBG})^2 + (I_{nV2})^2}$$

Method 3: The currents and voltages are combined as the square root of the sum of the squares for each individual harmonic which is calculated by adding linearly the background and SVC current/voltage for that harmonic

$$I_{Total} = \sqrt{(I_{2BG} + I_{2V2})^2 + \dots + (I_{nBG} + I_{nV2})^2}$$

Method 4: The currents and voltages are added linearly for each harmonic which is calculated as the square root of the sum of the squares for the background and SVC current/voltage for that harmonic.

$$I_{Total} = \sqrt{(I_{2BG})^2 + (I_{2V2})^2 + \dots + \sqrt{(I_{nBG})^2 + (I_{nV2})^2}}$$

La máxima combinación de THD debido a una suma de la raíz cuadrada de los cuadrados de corrientes armónicas del SVC, de cargas no lineales de Antamina y de los armónicos del resto del Sistema resulta menos de 10% para las condiciones en cuales todos los filtros de Vizcarra y Antamina se encuentran en servicio.

Con los armónicos del resto del sistema y cuando las línea L2253 (Vizcarra-Paramonga) y L2254 (Vizcarra-Paragsha) se encuentran fuera de servicio y sin ningún filtro en servicio se puede producir **una resonancia del tercer armónico** para la operación con dos unidades en Aguaytia, un transformador en Tingo María y la línea L2252. Esta resonancia puede ser superada cuando en Aguaytia sólo se tenga 1 grupo en servicio.

Reduciendo la cantidad de filtros de Vizcarra se cambiará el punto de resonancia pero se incrementará los niveles de Vthd en las barras de 220 kV y 23kV y estas pueden sobrecargar la capacidad para los filtros de Antamina

En el anexo E se muestran las en la tablas 5, 6 y 7 (del estudio 2) los niveles de V_{thd} que excede 5%, 7.5% y 10% en las diferentes barras involucradas al anillo Vizcarra

3.6 Energización de transformador de potencia

Para los casos estudiados no existen problemas asociados con la energización de transformadores en Vizcarra ni en Antamina. Se calcula que la corriente de inserción en Antamina es de 1000 amperios pico y en Vizcarra 450 amperes pico (ver tabla 8 del anexo G).

3.7 Energización de los filtros en Antamina

Para los casos estudiados no existen problemas asociados con la energización de los filtros siendo el sobrevoltaje transitorio del 5th el más representativo. Se ha observado que la máxima energía que disiparían los pararrayos por sobrevoltaje de inserción de filtros fue de 60 kJ, siendo los rangos de los pararrayos de 1980 kJ lo cual demuestra que no existe riesgo de daño de pararrayos (ver tabla 9 del anexo G). El ingreso de los filtros en Vizcarra y Antamina se realiza estrictamente en forma ascendente (de menor a mayor orden) y normalmente se realizan en forma automática mediante los controles que existen en Vizcarra y Antamina.

3.8 Conclusiones

Basado en los resultados de los diferentes escenarios estudiados podemos concluir:

- De los 65 diferentes escenarios estudiados en análisis de Flujo de carga, se observa que dos casos no mantienen el criterio de mantener el voltaje 0.95 pu.
- Las líneas de L2253 y L2254 influyen directamente en la topología de la red y la estabilidad del sistema. Sin estas líneas en servicio se presenta el sistema aislado y los generadores de Aguaytia podrían salir de servicio por sobre frecuencia o sub frecuencia y en consecuencia la salida inmediata de toda la carga de Antamina.

CAPÍTULO IV COMPORTAMIENTO ACTUAL DEL SISTEMA DE POTENCIA DE COMPLEJO MINERO

4.1 Introducción

Como se explicó en el CAPÍTULO III, el Sistema de Potencia del complejo minero tiene relación directa con la topología de Red eléctrica del Perú, específicamente con las líneas y equipos que están involucradas con la subestación Vizcarra como son los casos de las líneas L2215(Paramonga - Chimbote), L2253 (Paramonga - Vizcarra), L2252 (Tingo María – Vizcarra), L2251 (Tingo María – Aguaytia); L2254 (Paragsha – Vizcarra), L2255 (Vizcarra - Antamina), los grupos generadores de la central térmica de Aguaytía; el transformador y reactor de Tingo María, operación del SVC; los transformadores de potencia y el sistema PFC (Power Factor Correction) que consta de 02 condensadores síncronos y filtros de armónicos que se encuentran en Antamina. Todo esto tiene que ver directamente con la topología de la Red eléctrica que determina cuan fuerte es la potencia de cortocircuito para las operaciones normales de los molinos de Antamina (que aproximadamente representa 65 MW).

En el presente capítulo se describen los problemas que se presentan en el Sistema de Potencia de Antamina. Es importante resaltar que las perturbaciones transitorias de tensiones (Sag: caída de tensión con duración de ciclos (ms) y/o Flickers) son las que causan la salida de 60-65 MW en forma casi instantánea. Las cuales están principalmente constituidas por sistemas de electrónica de potencia (sistemas controlados con tiristores de potencia).

4.2 Localización e importancia de la subestación Vizcarra

La subestación Vizcarra está ubicada en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash, con coordenadas: 8905900 N a 8906 N, 282200 E a 288400 E, a una altitud aproximada de 3,520 m.s.n.m.

Para efectos de diseño de la subestación, las condiciones ambientales consideradas para la zona son:

• Temperatura máxima	:	40 ° C
• Temperatura promedio	:	30 ° C
• Temperatura mínima	:	-10 ° C
• Altitud	:	3600 m.s.n.m.
• Viento Máximo	:	130 Km/h a 5 ° C
• Humedad Relativa	:	70%
• Precipitaciones	:	1000 mm/año
• Máxima intensidad de lluvia	:	25 mm/h
• Hielo	:	6.5 mm
• Nivel cerámico	:	60 tormentas km2/año
• Sismicidad	:	UBC - Zona 4
• Aceleración horizontal	:	0,4 g
• Aceleración vertical	:	0,3 g
• Frecuencia	:	1 – 33 Hz

Importancia

El sistema de potencia de Vizcarra es importante para la red eléctrica del país, pues tiene una configuración en anillo y cuenta con compensación reactiva mas grande del pais (rango del SVC -45 MVar y +90 MVar. La importancia del anillo de la subestación Vizcarra radica que se ha convertido en el punto de enlace para los futuros proyectos mineros que se vienen dando en la zona.

En el próximo año se estará interconectado la línea y carga que pertenece a la minera Santa Luisa.

4.3 Localización e importancia de la subestación Antamina

La subestación está ubicada en la localidad de Yanacancha, distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash, a una altitud aproximada de 4300 m.s.n.m.

Para efectos de diseño de la subestación se ha considerado las siguientes condiciones ambientales:

• Temperatura máxima	:	40 °C
• Temperatura promedio	:	15 °C
• Temperatura mínima	:	- 5 °C
• Altitud	:	4300 m.s.n.m.
• Viento Máximo	:	130 Km/ h a 5 °C
• Humedad relativa	:	0 - 100 %
• Precipitaciones	:	1000 mm/ Año
• Máxima intensidad de lluvia	:	10 mm/ h
• Hielo	:	Sí
• Nivel cerámico	:	60 tormentas/ km ² – Año
• Sismicidad	:	UBC zona 4
• Aceleración horizontal	:	0.4 g
• Aceleración vertical	:	0.3 g
• Frecuencia	:	1 – 15 Hz

Importancia

El sistema de potencia de Antamina es importante para la red eléctrica del país, pues esta conformado por equipos de potencia, sistemas de compensaciones y filtrado de armónicas. Las cuales tienen condiciones particulares para su operación, siendo las cargas de electrónica de potencia de última generación sensibles a los fenómenos transitorios.

En los gráficos 4.1 y 4.2 se muestran las ubicaciones geográficas de las subestaciones Vizcarra y Antamina.



Gráfico 4.1 – Ubicación geográfica de los Centros de Operaciones de Antamina.

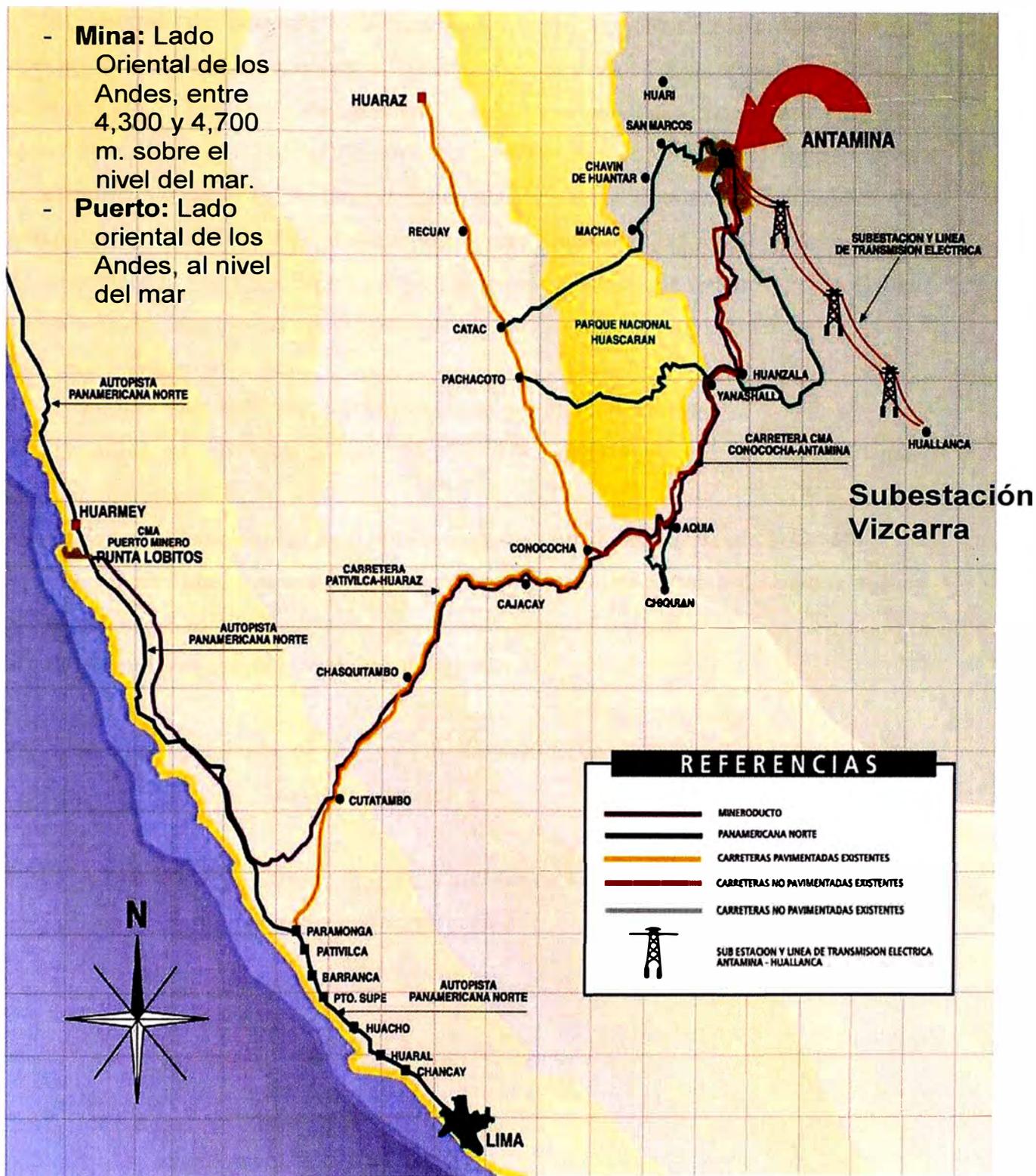


Gráfico 4.2 – Zona de influencia de Antamina.

4.4 Condiciones de operaciones de las cargas importantes

El sistema de potencia del complejo minero en condiciones normales de operación esta conformado por el servicio de las líneas L2252 (Vizcarra –Tingo María), L2253 (Vizcarra – Paramonga), L2254 (Vizcarra-Paramonga), del SVC con todos sus filtros y L2255 (Vizcarra-Antamina); que conforman el anillo de la subestación Vizcarra. En Antamina deben estar en servicio dos transformadores de potencia (75/100/125MVA), dos condensadores síncronos (+15/ -10 MVar), filtros de armónicos (75 MVar). Bajo estas condiciones el sistema de potencia es confiable y estable garantizando las operaciones de las cargas del complejo minero.

Las cargas importantes son:

- 01 molino Sag de 27,000 HP y accionado por cicloconvertidor.
- 03 molinos de Bolas de 15,000 HP cada uno y accionados por cicloconvertidores.
- Variadores de velocidad de 6 pulsos cuya carga instalada asciende a 30 MW.
- Palas y perforadoras conformados por equipos de electrónica de potencia que asciende a 8 MW.
- Otros motores asíncronos de media tensión.

La carga total actual esta en el rango de 85 a 90 MW y con un factor de carga de 0.92 ($fc = \text{Energía total} / \text{Máxima demanda} \times t$)

En el gráfico 4.3 se muestra el diagrama unifilar de la subestación Antamina con las cargas importantes en el proceso de producción.

4.5 Procedimiento de maniobras de Power Systems

Se ha elaborado diferentes procedimientos que se aplican dependiendo las condiciones y las configuraciones actuales del sistema de potencia de Antamina.

En el anexo H se detallan siguientes procedimientos:

- Desconexión de la Línea L2255 (Vizcarra – Antamina).
- Conexión de la Línea L2255 y los equipos de potencia de la subestación principal de Antamina.
- Conexión y desconexión de los condensadores síncronos y los filtros de armónicos (se detallan para diferentes condiciones de operación).
- Conexión de la Línea y equipos de Antamina ante contingencia.
- Exportación desde los grupos de emergencia.

Todos los procedimientos se han elaborado cumpliendo los procedimientos de bloqueo y señalización que aseguran que cada paso sea seguro para el personal y las instalaciones garantizando que las maniobras se realicen sin riesgo. Estos procedimientos han sido elaborado por el equipo de sistemas de potencia de Antamina y los emplean dependiendo de la situación que se presenta (durante mantenimiento y perturbaciones)

4.6 Problemas que se presentan en Power Systems

El sistema de potencia del complejo minero ha entrado en operación durante el primer trimestre del 2001 luego de cumplir con los períodos de comisionamiento, pre – operaciones y operaciones. Durante estos periodos se han registrado diferentes condiciones de operación y también se han ratificado los procedimientos para la operación definitiva y respuestas ante las contingencias que se han presentado.

En el presente capítulo se detallan y analizan los problemas presentados en el sistema de potencia que han ocasionados daños y/o pérdidas en el sistema.

A continuación se analizan los siguientes problemas:

4.6.1 Problemas resaltantes durante el periodo de arranque de la planta

Este período se caracteriza por el arranque de los equipos por primera vez en el proceso de operación y en las condiciones ambientales (altitud, humedad, temperatura, ubicación física, etc) de la mina. Muchos arranques se realizaron en los modos de arranques manuales para verificar el check list de operación de los equipos según sus manuales de fabricación. Fue en este período que se registraron los siguientes problemas (oportunidades de mejora):

- Transformadores de corriente: Se han presentado problemas con las conexiones tanto en el primario como en los circuitos secundarios de los CTs (current transformer), que han ocasionado explosiones (por falsos contactos y apertura de circuitos de corriente).
- Cortocircuitos: Se han presentado algunos cortocircuitos en barras de media tensión por olvido de llaves de ajuste y/o piezas metálicas durante el montaje y cuando se procedió con la energización ocasionaron explosiones, pero estas han servido para verificar la correcta operación de los dispositivos de protección.
- Variadores de velocidad: Se han registrado problemas con el *tuning* (sintonización de los variadores para que operen de acuerdo con los procesos de producción). Además esta etapa fue crucial para la elaboración de procedimientos de arranque automático y verificación de la operación de los equipos de protección de los mismos.
- Palas y perforadoras de la mina: en la puesta de servicio de las palas se ha verificado principalmente los niveles de corrientes armónicas generadas por estos equipos. Se realizó mediciones con el analizador de calidad de energía Dranetz y se elaboró un informe detallado sobre niveles de corrientes armónicas que han servido para que el fabricante mejore el dimensionamiento del reactor intermedio con el objetivo de amortiguar y/o filtrar los niveles de distorsiones armónicas de tensiones. Sin embargo en la actualidad es recomendable realizar nuevamente el diagnóstico de calidad de energía por razones que el circuito de la mina a crecido y con esto la

topología de la red de 23 kV ha cambiado, que como sabemos influye directamente en el nivel de distorsión armónica del sistema.

Se ha comparado la CURVA DE LA TINA para los equipos eléctricos, donde se indica que estos pueden presentar altas probabilidades de fallas (muerte prematura) en los primeros arranques para luego de un periodo de estabilidad cumplir con la vida útil especificados por los fabricantes, y después entran nuevamente en la etapa de crecimiento de probabilidades de fallas.

En el gráfico 4.4 se representa la curva experimental de los equipos eléctricos y electrónicos.

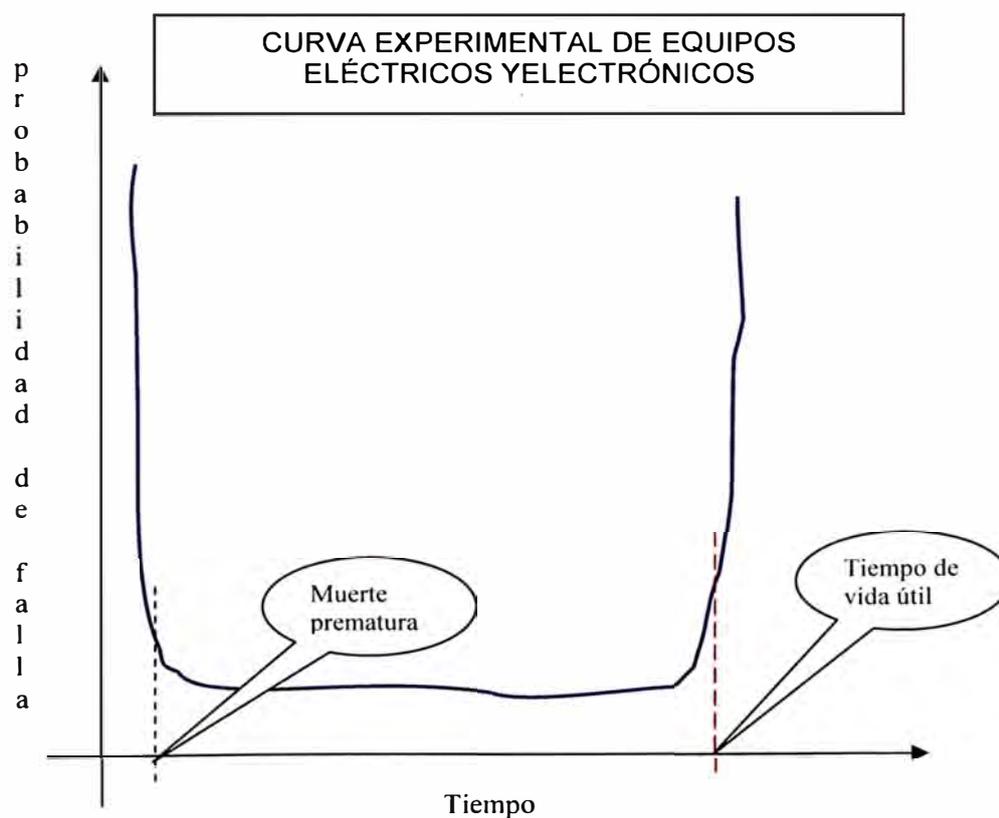
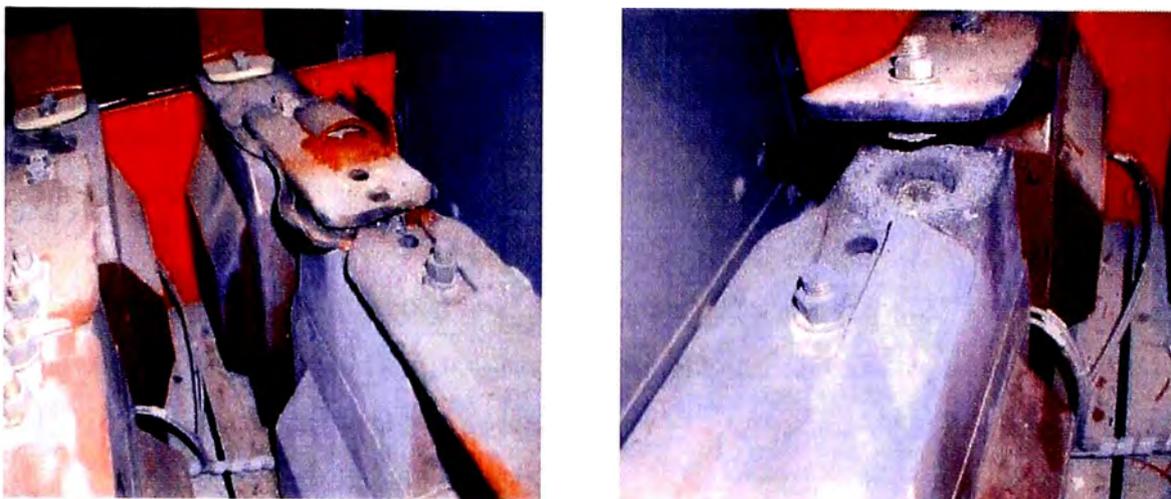


Gráfico 4.4.- Curva de la Tina para la vida útil de los equipos eléctricos

En la fotografía 4.1 se muestra como una explosión ha dejado a las barras de conexión al transformador.



Fotografía 4.1–Fotografías de los CT's que explosionaron cuando quedaron cto abierto

4.6.2 Descargas atmosféricas en 220 kV

Las instalaciones de los sistemas de transmisión (línea L2255:Vizcarra-Antamina) de la energía eléctrica del complejo minero cuenta en la parte superior de las torres con dos cables de guarda constituidos y a la vez estos están constituidos por cables de acero galvanizado de las siguientes características:

- Material : Acero galvanizado
- Grado : Extra High Strength (EHS)
- Sección : 51 mm²
- Tensión mínima de rotura : 6985 kg

En el diseño se ha tomado un máximo ángulo de protección de los cables de guarda que está en función inversa a la altura de la torre, siendo 30°, 26° y 21° para torres hasta 28, 30 y 21 m respectivamente.

La línea se encuentra por zonas en las cuales los niveles isoceraúnicos (por diseño 60 días de tormenta/ año) son altos y en las épocas de lluvia ocurren continuas descargas atmosféricas que caen directamente sobre las líneas y/o algunas descargas indirectas que ocasionan perturbaciones de caídas de tensiones transitorias que

afectan directamente a las cargas sensibles de Antamina (ciclovertidores de los molinos), que representan casi el 65% de la carga total.

Las descargas atmosféricas mayormente producen fallas a tierra monofásicas (en promedio representan 85%) y otras son del tipo bifásicas que son las que ocasionan una mayor caída de tensión y estas son las que mayor daño hacen a Antamina porque caen los variadores de media tensión, registrándose en estas condiciones una caída de tensión del orden 25%.

4.6.3 Robos de los sistemas de puesta a tierra de la línea L2255

La línea entra en operación oficialmente a inicios del año 2000 y en el diseño se ha tenido en cuenta las siguientes premisas:

- Reducción de la resistencia a tierra de las estructuras para proteger a las personas contra tensiones de toque o de paso peligrosos que pueden originarse debido a corrientes de dispersión o durante fallas a tierra en la línea.
- Proporcionar un camino fácil y seguro para las corrientes de dispersión que resulten de descargas a través de los aisladores como consecuencia de una elevada contaminación ambiental o de descargas atmosféricas, para evitar daños en la estructura.
- La resistencia de puesta a tierra de las estructuras será de 25 Ohmios o menor. Cuando la resistividad del terreno sea muy alta, se agregará la cantidad de contrapesos radiales necesarios hasta alcanzar el valor antes indicado.
- Los electrodos y contrapesos son instalados longitudinalmente en la ruta de la línea (dos electrodos verticales para 125 Ohm- m, cuatro electrodos verticales para 125 y 250 Ohm-m y dos contrapesos paralelos para 250 Ohm- m).

Los sistemas de puesta a tierra de las torres han sufrido robos de los conductores de cobre y de sus conectores los cuales han contribuido a que ante las fallas de descargas atmosféricas no trabajen correctamente.

4.6.4 Fallas en las líneas y equipos involucrados al anillo Vizcarra

La topología de la red está directamente relacionada con las operaciones de las líneas de transmisión, las operaciones de los generadores del sistema interconectado, el servicio de los transformadores, reactores, SVC, etc.

La Subestación Vizcarra tiene una configuración en anillo, que está interconectada con el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) por medio de la línea L2253 (Paramonga-Vizcarra), la línea L2254 (Paragsha-Vizcarra), las centrales térmicas de Aguaytia y subestación Tingo María por medio de las líneas L2251 y L2252. La concepción original de la subestación Vizcarra fue conectar la carga de la minera Antamina, bajo la red que interconecta a la subestación Tingo María y Subestación Paramonga. En la actualidad con la operación y puesta en servicio de la línea L2254 se ha modificado la potencia de cortocircuito y la topología equivalente se ha fortalecido para las condiciones de las operaciones del complejo minero. Sin embargo lo negativo de este fortalecimiento es que esta línea pasa por la cumbre de la Sierra – Selva en la cual los niveles isoceraúnicos son altos y están expuestas a las descargas atmosféricas que aumentan puntos vulnerables de fallas.

Las perturbaciones transitorias que ocurren en los sistemas involucrados al anillo Vizcarra ocasionan serios problemas para la minera Antamina que pierde casi 65 MW, porque la sensibilidad de las protecciones de los molinos (compuestos de equipos de electrónica de potencia), que actúan después de 20 ms cuando se presenta una caída de tensión de 15% V_n .

La Subestación Vizcarra tiene instalado el SVC que cumple el papel de regular la tensión y mantener en un nivel de 224.4 kV, con la cual se asegura que los perfiles de tensiones sean los óptimos para el normal desarrollo de los equipos de electrónica de potencia y que los niveles de armónicos se encuentren por debajo de los límites establecidos en la IEEE std 519. Sin embargo el SVC tiene una respuesta trifásica (suma las tres fases y compara con el *setpoint* y regula a 1.04 pu=224.4 kV) y lo realiza en 80 ms (5 ciclos). No evitando la salida de la planta Antamina ante fallas monofásicas que son las que representan el 90 % de las fallas.

4.6.5 Descargas atmosféricas en 23 kV

En la mina se tiene 03 circuitos aéreos en 23 KV de aproximadamente 10 km de línea, siendo el más vulnerables el circuito de la mina que provee de energía eléctrica a todas los equipos de las operaciones mina. A pesar que tienen cables de guardas ubicados en la parte superior de las estructuras a 1.2 mt de las fases no trabajan eficientemente porque los sistemas de puesta a tierra no pueden ser bajos para todas las estructuras de la línea. Actualmente casi el 90% de las estructuras son de poste de madera con aisladores y diseñados con separaciones para 38 KV.

Las estadísticas fallas y/o perturbaciones desde el 2002 al 2006 ha registrado casi el 30% de las fallas son debido al circuito de mina. Las causas principales han sido las descargas atmosféricas directas y/o indirectas a la línea y los niveles de impedancias de tierra han incurrido mayormente en sobre tensiones del orden de cientos de kV (back flashover) que rompían los niveles de aislamiento del aire por la distancia entre fases y fase a tierra que sólo aseguran una aislamiento para 38 KV.

La mayoría de fallas registradas son una combinación de inicio de falla monofásica a tierra e instantáneamente falla trifásica que han ocasionado caídas de tensión del orden de 30% de la tensión nominal.

A pesar que el rele envía señal de trip (disparo) instantáneo la respuesta de la apertura física del interruptor casi se toma de 80 a 150 ms en despejar la falla, tiempo demasiado para evitar la salida de los molinos.

4.6.6 Fallas por cortocircuitos producidos por aves en 23 KV

Las estructuras existentes tienen una separación y línea de fuga de los aisladores establecidos para asegurar la transmisión de media tensión de 23 KV. Sin embargo se han presentado fallas a tierra y fallas bifásicas producidas por aves (gavilanes, búhos, otros) que solían pararse sobre los aisladores y cuando empezaban a volar ocasionaban cortocircuitos. Se logro determinar que las aves mayormente producían estos cortocircuitos por la zona de botaderos de restos de alimentos.

La tabla 4.1 se muestran las fallas totales registradas en sistema de potencia durante los años 2002 al 2006 y estas se detallan por circuitos en el anexo I

Tabla 4.1 – Estadística de fallas 2002 al 2006 registradas en el sistema de potencia

Línea	Número de fallas que afectaron a los molinos				
	años				
	2002	2003	2004	2005	2006
L2251 : Tingo María - Aguaytia	4	2	3	0	4
L2252 : Tingo María - Vizcarra	6	2	6	6	1
L2253 : Paramonga - Vizcarra	0	3	3	1	4
L2254 : Paragsha - Vizcarra	4	3	8	9	3
L2255 : Antamina - Vizcarra	1	3	2	0	0
23KV Circuito Mina	6	4	8	11	4
23KV Circuito Huincush - Seepage	0	1	1	1	0
TOTAL	21	18	31	28	16
					144

4.6.7 Problemas de Sobretensiones ocasionadas por maniobras y/o resonancias

Los diferentes escenarios estudiados han establecidos procedimientos para la energización del sistema del SVC y la línea L2255, los cuales dependen de la topología de Red del anillo Vizcarra.

A fines del 2001, durante un mantenimiento del SVC y la línea L2253 (Paramonga-Vizcarra) fuera de servicio se intentó energizar la línea L2255 por medio de la línea L2252 (TingoMaría-Vizcarra) y ocurrió una sobre tensión en la barra de la subestación Antamina que alcanzó 280 kV actuando la protección de sobre tensión de la línea L2255.

Del análisis realizado se determinó que se había presentado una resonancia en paralelo (produce sobre tensión) cercana a la frecuencia industrial (59 Hz) con dicha topología de los sistemas Tingo María – Vizcarra - Antamina.

En el gráfico 4.5 se muestran las topologías equivalentes en las cuales se produjo la resonancia en paralelo (diciembre del 2001).

En los gráficos 4.6 y 4.7 se muestran las curvas de impedancia versus la frecuencia para condiciones de anillo abierto y cerrado en la subestación Vizcarra).

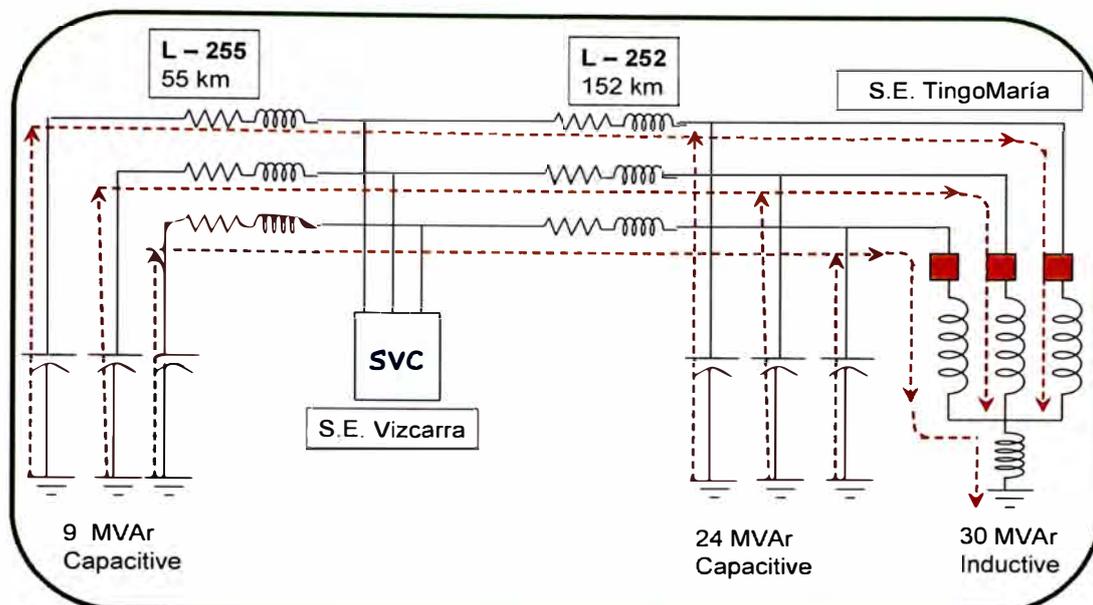


Gráfico 4.5 - Circuito equivalente del Sistema Aislado Tingo María Vizcarra-Antamina sin SVC.

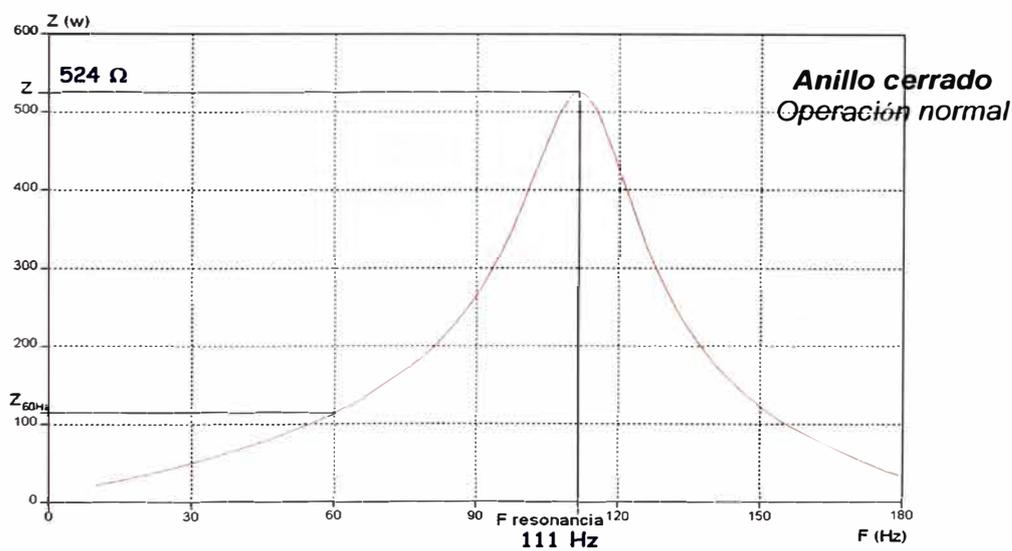


Gráfico 4.6 - Curva de Impedancia Vs Frecuencia para anillo Cerrado en Vizcarra

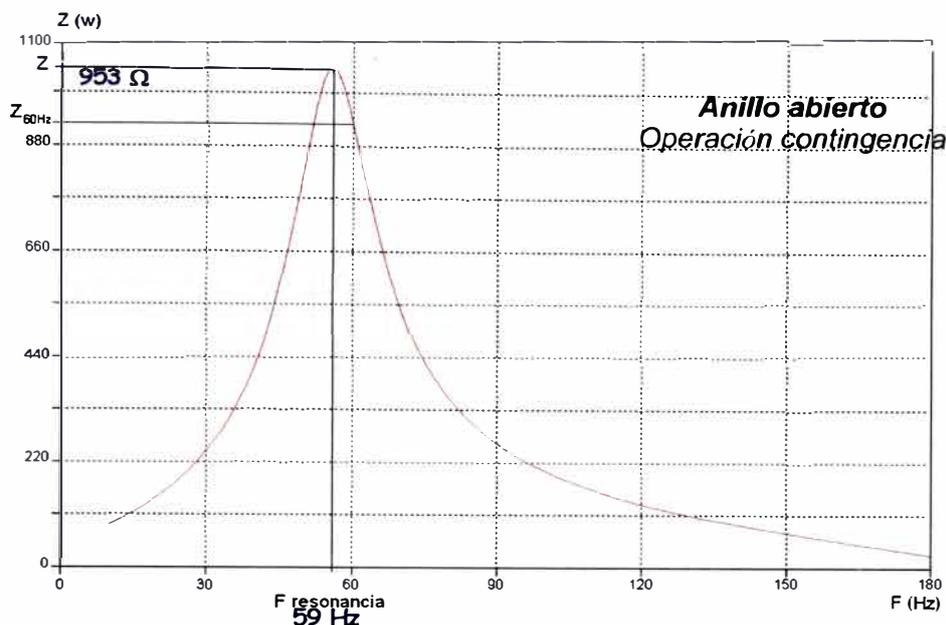


Gráfico 4.7- Curva de Impedancia Vs Frecuencia para anillo Abierto en Vizcarra

Actualmente se tiene una interconexión del sistema Paragsha-Oroya-Mataro mediante la línea L2254 (Vizcarra-Paragsha), que ha elevado la potencia de cortocircuito en todo el anillo Vizcarra y modificado las condiciones de operación del sistema.

4.6.8 Sensibilidad de los equipos de electrónica de potencia

El principio para el normal funcionamiento de los equipos de electrónica de potencia es contar con protecciones sensibles que aseguren la eficiencia de los disparos de los tiristores de potencia. Estas protecciones han sido establecidas por el fabricante a niveles de 20ms y 85% V_n que están programadas en PSR (Sistema de control diseñado por ABB para los ciclocnvertidores), los cuales tiene un software llamado Fupla en la que se encuentran las programaciones por sub tensión, sobre tensión y por frecuencia.

- **Protección de los molinos:** Las protecciones principales de los molinos y variadores están relacionadas directamente con la protección de los tiristores de potencia (IGBT's y SCR's) que son sensibles a las variaciones de tensiones del tipo SAG y SWELL (caídas o subida de tensión del orden de ciclos). Para evitar estas fallas se han establecido protecciones por:

- Restriciones de sub tensión

Límite 1(Protección Principal): Fijada en: 85% Vn(18.4 kV) y 20 ms.

Límite 2 (Protección de Respaldo): Fijada en: 85% Vn(18.4 kV) y 30 ms.

- Restriciones de sobre tensión

Límite 1: Fijada en: 110% Vn(25.3 kV) y 50 ms.

- Restriciones de sub Frecuencia

Fijada en 95% (57 Hz) - 100 ms.

- Restriciones de Sobre Frecuencia

Fijada en 105% (63 Hz) - 100 ms.

4.6.9 Riesgos causados por fluctuaciones en la red

- Variadores: Es posible causar daños a los IGBT's y SCR's debido a una caída de tensión, porque el ángulo de disparo se incrementaría rápidamente para cubrir la demanda del equipo.
- Cicloconvertidores: Ocurre lo mismo que en los variadores con SCR's cuando se producen oscilaciones de alto o bajo voltaje transitorio (du/dt), que produce altas corrientes que dañan a los tiristores.

4.6.10 Falla de los molinos por pérdida de aislamiento

Los molinos son constituidos por motores síncronos y por medio de cicloconvertidores (sistema electrónico de potencia que convierte corriente alterna (amplitud y frecuencia de la red) a corriente alterna: (amplitud y frecuencia controlable)), han sido diseñados para trabajos continuos. Sin embargo se han registrado fallas a tierra por pérdida de aislamiento debido a que la ventilación y enfriamiento por "convección" han perdido su eficiencia y/o considerar rediseño del enfriamiento donde se considere la altura de trabajo del equipo porque a mas de 4000 m.s.n.m las condiciones del presión de aire son diferentes a las condiciones de 1000 m.s.n.m.

Según la experiencia se comprueba que si los bobinados trabajan a temperaturas por arriba de 85C, estos se van degradando para en el tiempo prematuro pueden perder su aislamiento y producirse una falla a tierra.

4.6.11 Importancia de los condensadores síncronos en la estabilidad del sistema de potencia

Se cuenta con dos condensadores síncronos (compensadores) que trabajan en combinación con los filtros de armónicos con el objetivo de mantener el factor de potencia de la planta a 0.96. El sistema de control se llama PFC (Power Factor Correction).

Se utiliza el concepto de condensadores síncronos porque son motores síncronos que trabajan en vacío (no realizan trabajo) y cuenta con una corriente de excitación controlada por un variador en DC llamado Unitrol, lo cual permite compensar los MVar que necesita la carga de la subestación Antamina.

La compensación de los MVar tiene dos partes principales: compensación gruesa realizada por los filtros de armónicos (MVar capacitivos en pasos promedio de 5 MVar) y la compensación fina que es realizada por los condensadores síncronos. De acuerdo con la regulación de la corriente de excitación tiene dos tipos de comportamientos:

- Como inductancia 10MVar(c/u).
- Como condensador 15 Mvar (c/u).

Los Filtros de armónicos tienen también dos papeles fundamentales:

- Compensación de potencia reactiva a frecuencia Industrial.
- Filtrado de corrientes armónicas por el método de la resonancia en serie, donde la corriente armónica ve como un cable de baja impedancia a los filtros correspondientes.

También los condensadores síncronos cumplen con el papel de aumentar la potencia de cortocircuito en la barra de 23 KV de la Subestación Antamina.

4.6.12 Comportamiento del Sistema PFC ante variaciones bruscas de potencias

El sistema de PFC (Power Factor Correction) durante la operación normal de la planta esta en todo momento regulando el factor de potencia a 0.96, con las señales de potencia activa y reactiva que recibe de los reles multifunción. El control PLC esta ordenando en todo momento al Unitrol (control de corriente de excitación) para que genere o consuma potencia reactiva.

El PFC se ve afectado cuando se produce una variación brusca de potencia, es decir cuando la carga total se encuentra a 85MW y de pronto se va a 25MW, es cuando trata de compensar el factor de potencia y al quedarse el sistema con excesiva compensación capacitiva sale de servicio por sub excitación (supera límite como inducción).

4.6.13 Comportamiento del SVC ante fallas

El SVC tiene por función regular la tensión en la barra del anillo Vizcarra a un nivel 224.4 kV, con lo cual se asegura que en Antamina la tensión sea 220 kV estable que sirve como un nivel óptimo para las referencias de tensiones de los dispositivos de electrónicos de potencia (cicloconvertidores, variadores de velocidad, equipos electrónicos, etc).

El diseño del SVC ha contemplado filtrar los armónicos que convergen en el anillo Vizcarra y los producidos por el propio SVC, cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales de la IEEE std 519.

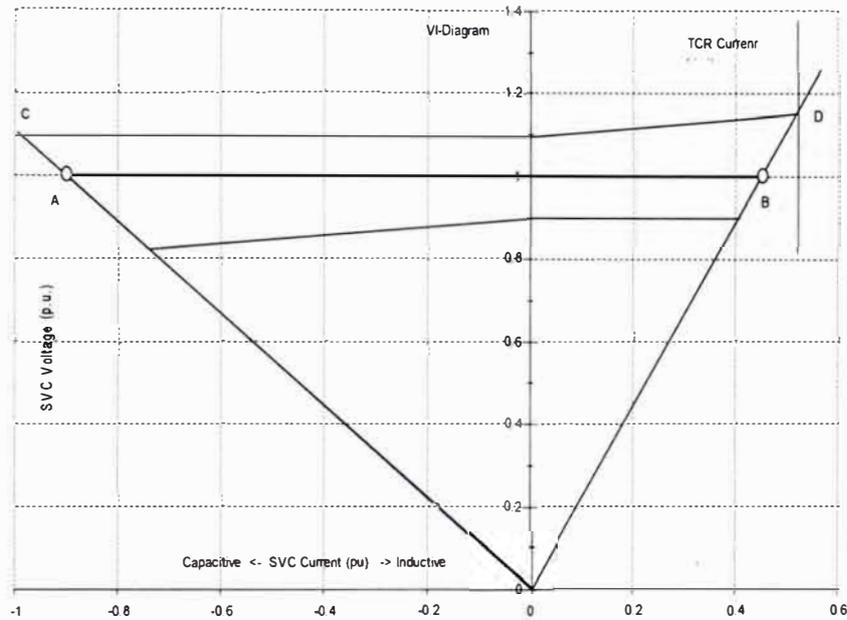
Ante las fallas transitorias ocurridas en el sistema involucrado con el anillo Vizcarra el SVC responde en 80 ms y trata de compensar el transitorio alcanzando su nivel límite máximo capacitivo (90MVar) y se queda estático sin poder regular la tensión lo cual no ayuda a la sensibilidad de los molinos y se desconecta en forma instantánea casi 65 MW del complejo minero.

El SVC es un compensador estático trifásico, es decir su compensación se realiza al verificar la sumatoria de las tres fases que se encuentran por debajo o encima del valor de 1.04 pu y su respuesta se da en 80ms (5 ciclos)

Los registros de fallas que ha presentado el SVC han tenido lugar a fallas en el sistema de control conformado por el Mach2 y sistemas computacionales. Las fallas principalmente se han debido a fallas en las tarjetas de comunicaciones y fuentes para las computadoras principales donde esta toda la lógica de compensación.

La carga de Antamina esta condicionada a la operación del SVC y si se presenta una falla en el SVC, automáticamente debe desconectar la línea L2255 dejando a Antamina con corte total.

En el gráfico siguiente se observa el rango de compensación referencial.



- A: Rated capacitive power at 1.0 p.u. voltage
 - B: Rated inductive power at 1.0 p.u. voltage
 - C: Max. inductive power at 1.05 p.u. voltage
 - D: Max. capacitive power at 0.95 p.u. voltage
 - E: Max. capacitive power at 1.05 p.u. voltage
- Base: 100MVA 220kV 0.2624kA

Gráfico 4.8 - Curva de rango de compensación del SVC

CAPÍTULO V

PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIONES

5.1 Introducción

En el capítulo anterior se ha explicado la situación actual del sistema de potencia del complejo minero y los problemas que han tenido y tienen en los diferentes sistemas eléctricos. Las especificaciones técnicas de los equipos cumplen con normas internacionales según sus aplicaciones, pero sin embargo se ha experimentado que algunos de los equipos no tienen el Nivel Básico de Aislamiento (BIL) bien diseñado. Esto ha tenido una importancia y explicación en la falla prematura de algunos equipos sobre todo en los circuitos y subestaciones portátiles de la mina. La altitud (4300 a 4700 msnm) y los niveles isoceraúnicos altos de la zona en la cual se sitúa el complejo minero y sus operaciones de la mina tienen gran importancia en el comportamiento y vida útil de los equipos de potencia.

En este capítulo se plantean alternativas para mejorar el comportamiento de los equipos y/o sistemas con el objetivo de disminuir las fallas prematuras y aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos que inciden directamente en la producción del complejo minero. Algunas alternativas planteadas han sido discutidas e implementadas por el departamento de sistemas de potencia y documentadas con informaciones de los fabricantes.

5.2 Oportunidades de mejoras

Los problemas presentados en el sistema eléctrico han sido analizados y cuestionadas sus consecuencias. Estos problemas sirven para plantear mejoras que se adecuan con el tipo de trabajo y medio en la cual operan. Las oportunidades de mejoras se dan continuamente y están relacionadas con el impacto que estas tienen en la producción.

Los problemas identificados se han subdividido por importancia en la operación del complejo minero.

5.3 Línea L2255 – 220 KV (Vizcarra – Antamina)

Esta línea tiene aproximadamente 53.5 km y esta constituida por 131 torres metálicas que tienen 02 cables de guardas de protección y tiene algunos tramos que pasan por partes altas de las cumbres y se exponen a las descargas atmosféricas.

En esta línea se han identificado los siguientes problemas:

5.3.1 Descargas atmosféricas en 220 KV

Diagnóstico: En la zona donde esta ubicada la línea los meses de enero a mayo y de setiembre a enero descargas atmosféricas se incrementan considerablemente y estas causan fallas monofásicas y/o bifásicas que producen caídas de tensiones transitorias que afectan directamente a la carga de los molinos de la planta Antamina. La carga que normalmente es afectada alcanza aproximadamente 60 a 65 MW. Según la estadística de fallas que se muestran en el anexo I esta línea tiene en promedio 02 fallas por año.

Alternativa de solución: Las fallas que debemos de atacar son del tipo transitorias por lo que se han analizado diferentes soluciones y se ha determinado la instalación de pararrayos en línea del tipo TLA (*Transmisión Light Arrester*) que son las que operan cuando se presentan sobre tensiones instantáneas producidas por descargas atmosféricas respondiendo en el orden de microsegundos. Los pararrayos TLA se colocan en paralelo con los aisladores y actúan como conductores de energía en forma instantánea cuando aparecen en los terminales de las cadenas de aisladores sobre tensiones ante la ocurrencia de una descarga, evitando que el nivel de aislamiento de la cadena sea excedido (su actuación esta determinado por la curva del pararrayo). Su operación evita una interrupción en el suministro de energía.

La aplicación de estos tipos de pararrayos tiene el propósito de reducir las salidas por transitorios de la línea. Según los estudios realizados en Brasil han obtenido reducir a cero las interrupciones cuando se instala los pararrayos en todas las fases y en todo el tramo de la línea (el caso de estudio y fundamento teórico se puede ver anexo J).

En el gráfico 5.1 se muestra la respuesta de los pararrayos a las sobre tensiones. En el gráfico 5.2 se muestra el modo de instalación. En los gráficos 5.3 y 5.4 se muestran las clasificaciones de las sobre tensiones.

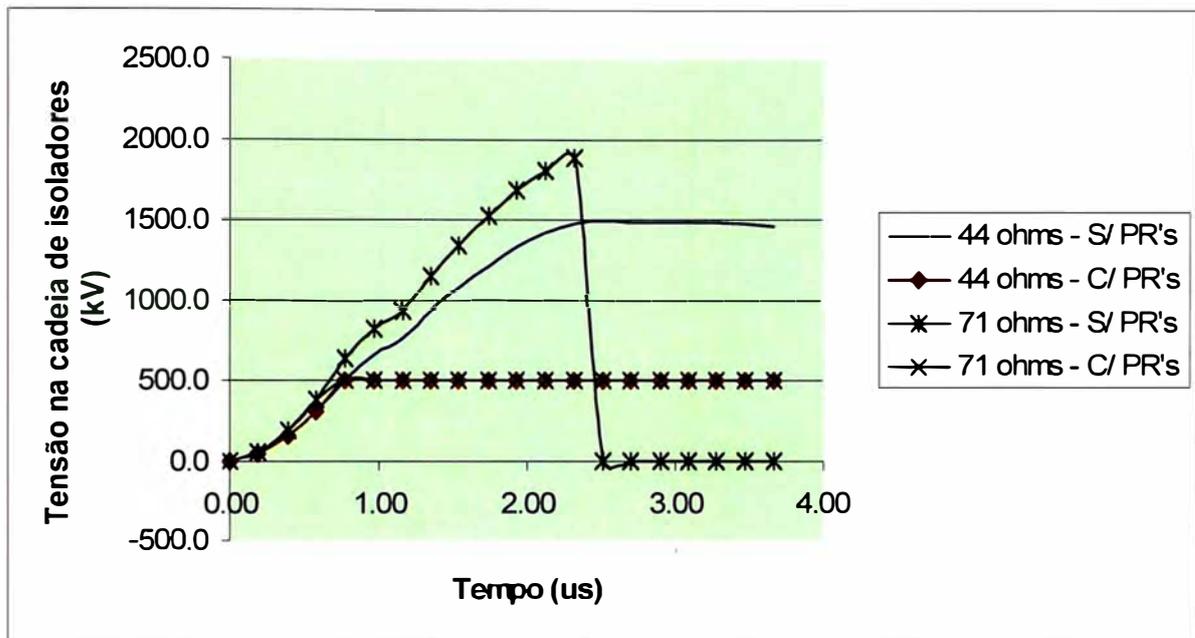


Gráfico 5.1- Comportamiento de sobre tensión Vs Pararrayos TLA

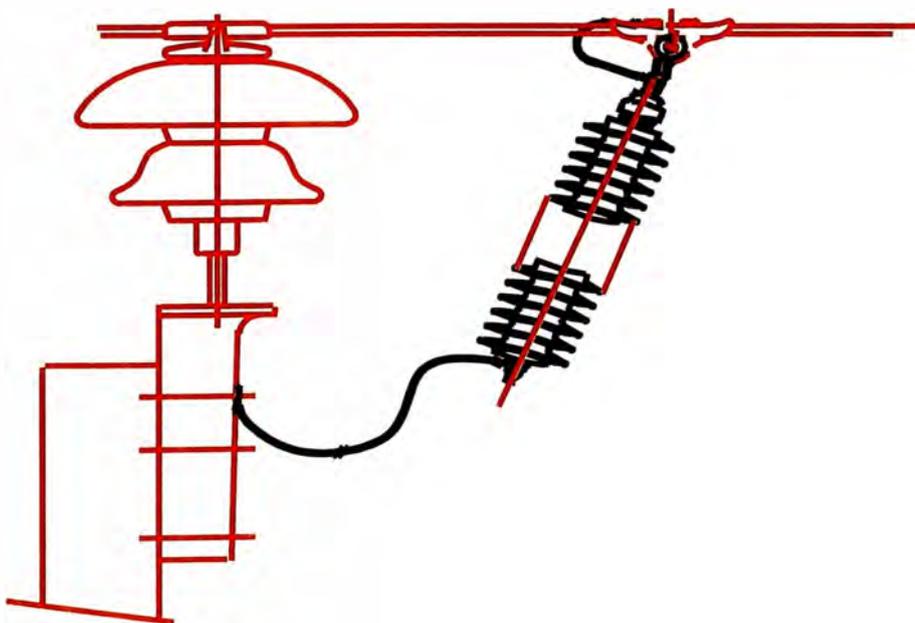


Gráfico 5.2- Modo de instalación del pararrayo TLA

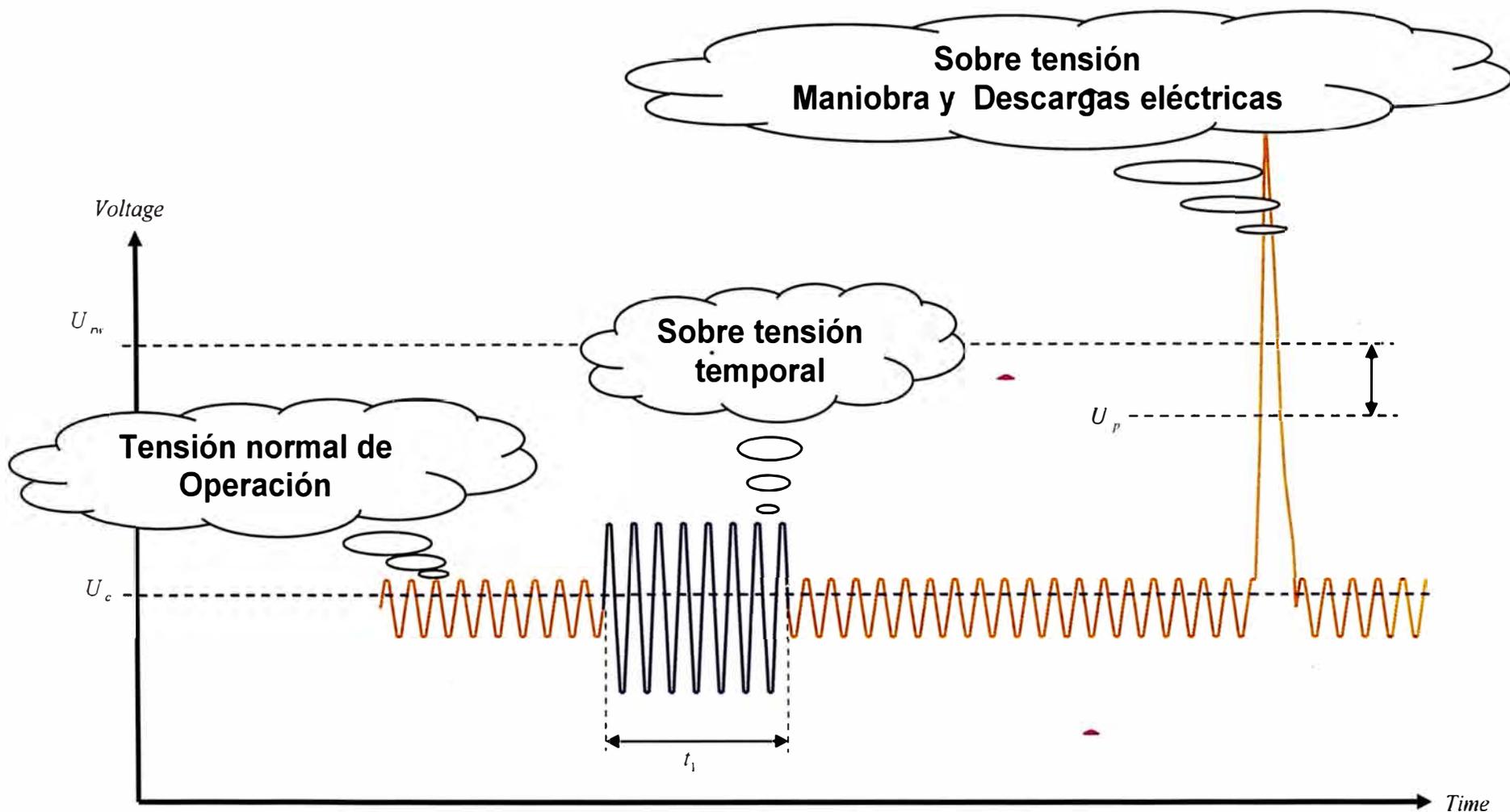
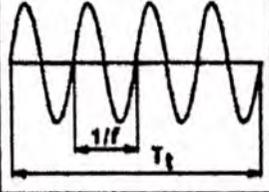
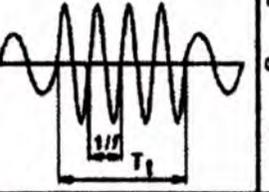
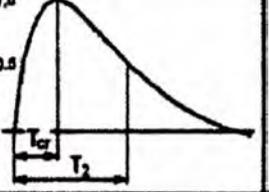
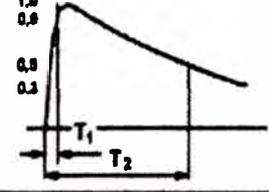
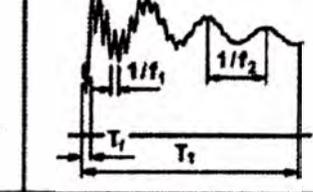


Gráfico 5.3- Clasificación de variaciones de tensiones.

Classe	Baixa frequência		Transitório		
	Contínua	Temporária	Frente lenta	Frente rápida	Frente muito rápida
Forma da tensão					
Faixas de formas de tensão	$f = 50 \text{ Hz ou } 60 \text{ Hz}$ $T_t \geq 3600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \text{ s} \geq T_t \geq 0,03 \text{ s}$	$5000 \mu\text{s} \geq T_{cr} > 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$20 \mu\text{s} \geq T_1 > 0,1 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$100 \text{ ns} \geq T_f > 3 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$ $T_t \leq 3 \text{ ms}$
Forma normalizada da tensão	$f = 50 \text{ Hz ou } 60 \text{ Hz}$ T_t^*	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_t = 60 \text{ s}$	$T_{cr} = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2500 \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	*
Ensaio normalizado de tensão suportável	*	Ensaio de frequência fundamental de curta duração	Ensaio de impulso de manobra	Ensaio de impulso atmosférico	*

*) A ser especificado pela norma do respectivo equipamento.

Gráfico 5.4- Tipos de sobre tensões.

Inversión: El precio promedio por pararrayos instalado esta alrededor de 3,000 dólares y se tiene instalado casi 45 pararrayos en las zonas críticas de mayor incidencia de descargas atmosféricas. En gráfico 5.5 se observa el plan propuesto de instalación de pararrayos en las otras líneas que influyen en el comportamiento del perfil de tensión transitoria

Monitoreo: Luego de la instalación de los pararrayos se ha iniciado el plan de monitoreo que consiste en verificar la reducción del numero de interrupciones en forma anual y además se instalarán contadores de descarga en lugares accesibles para verificar la operación de los pararrayos.

Se esta iniciando un plan de mantenimiento preventivo de los pararrayos que consiste en la inspección visual de cada pararrayos según lo recomendado por el fabricante y complementar con la medición de corriente de tercera armónica que determina el estado actual del pararrayos diagnosticando las condiciones de las pastillas de Oxido de Zinc.

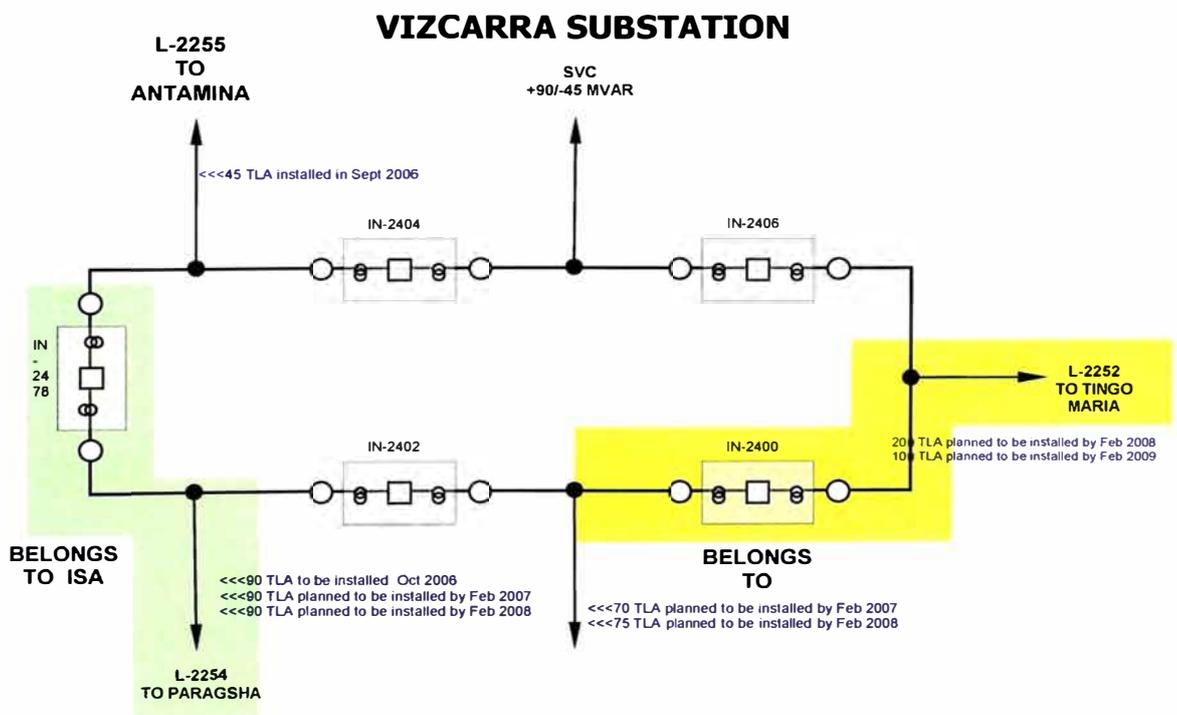


Gráfico 5.5 – Plan de de pararrayos TLA propuesto por Antamina.

5.3.2 Mejoramiento de la puesta a tierra en línea en 220 KV

Diagnóstico: La línea de transmisión cuenta con sistema puesta a tierra constituido por contrapesos y varillas de cobre. Como es conocido en nuestro medio tenemos problemas de hurto del cable, varillas y conectores de cobre.

Nuestra inspección del sistema de puesta a tierra se realiza casi mensualmente y se realiza mediciones semestralmente.

Alternativa de solución: En el mejoramiento de las puestas a tierra se ha empleado cemento conductor principalmente en las cuales las mediciones a tierra han arrojado alta resistencia de tierra. El cemento conductor tiene doble cualidad la primera mejora considerablemente y baja la resistencia de tierra porque el cemento aumenta la sección del conductor a tierra y de acuerdo con el comportamiento del cemento tiende a bajar aún mas la medida de la resistencia (ver gráfico 5.6-curva de comportamiento de la resistencia vs tiempo) y la segunda cualidad es la protección al cable contra hurto porque dificulta el robo.

Inversión: En la línea L2255 se han mejorado un promedio de 28 torres y con un costo aproximado por mejoramiento de 1000 dólares.

Monitoreo: Luego del mejoramiento se verifica que al transcurrir del tiempo la resistencia inicialmente medida debe bajar a menos de 15 ohmios.

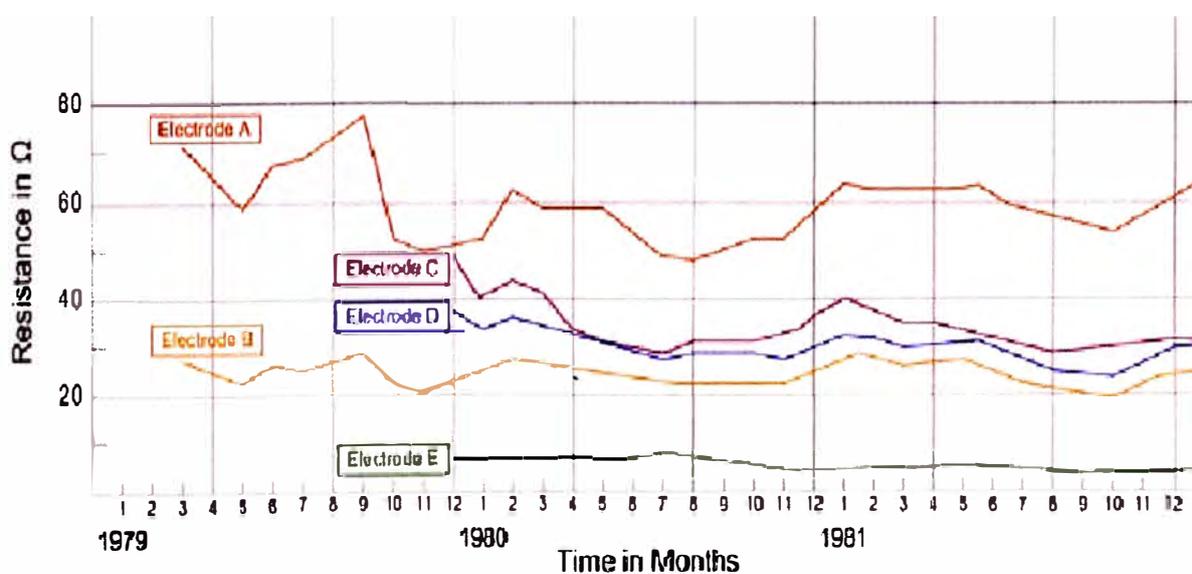


Gráfico 5.6 – Curva de comportamiento de la resistencia con cemento conductor vs el tiempo.

5.3.3 Torres de emergencia para contingencia en línea en 220 KV

Diagnóstico: Ante la interrupción de la línea por causas sobrenaturales (deslizamientos de las bases de las torres, fenómenos sísmicos, etc) y/o atentados terroristas se ha contemplado activar el plan de contingencia para reponer el servicio eléctrico al complejo minero.

Alternativa de solución: Para el plan de contingencia se ha adquirido torres de emergencia de la marca canadiense SBB que consiste en 02 torre embonables de fácil armado y con accesorios que garantizarán la reposición del servicio eléctrico hacia el complejo minero. Estas torres tienen los diseños y características para que trabajen con diferentes tipos de ángulos que son calculados por el software dependiendo el tipo de torre dañado.

Inversión: En las 02 torres más accesorios se han invertido un promedio de 150,000 dólares

Monitoreo: El personal de líneas y subestaciones ha recibido el entrenamiento del armado de torres y manejo del software para el cálculo de los ángulos y número de retenidas según sea el caso de aplicación. Se ha previsto realizar entrenamiento al personal nuevo que pertenecerá al grupo de respuesta rápida ante contingencia (en un primer instante se entrenará al personal de la zona bajo una calificación previa).

5.4 SVC – Subestación Vizcarra

El SVC cumple un papel importante en el comportamiento y topología del anillo Vizcarra. La compensación reactiva y filtrado de corrientes armónicas que es requerida por el sistema de potencia involucrado en el anillo. La falla del SVC por diferentes razones pone vulnerable al anillo a inestabilidad, incremento de distorsión armónica y dependencia directa del comportamiento del resto del sistema eléctrico interconectado para cumplir con un nivel de tensión adecuado para el normal funcionamiento de las cargas del complejo minero.

A continuación se plantea las mejoras y plan de contingencia para asegurar la estabilidad y perfil de tensión en el anillo Vizcarra

5.4.1 SVC – Sistema de control Mach2 y OWS (Operator Work Station)

Diagnóstico: El SVC tiene un sistema de control que esta conformado por un Mach 2 (control principal del SVC) y por estaciones de operaciones OWS/Server y OWS/2 que pertenecen a los sistemas de arranque y parada del SVC por medio de un HMI (interacción máquina-hombre) y trabajan con el sistema operativo en el entorno Windows NT.

Desde la puesta en servicio en el 2001 se ha registrado fallas con la fuente del computador de Mach2 y fallas en las tarjetas de comunicaciones de las computadoras de OWS que han producido paradas inmediatas del SVC.

A continuación se muestra un diagrama de bloque con las jerarquías actuales de control

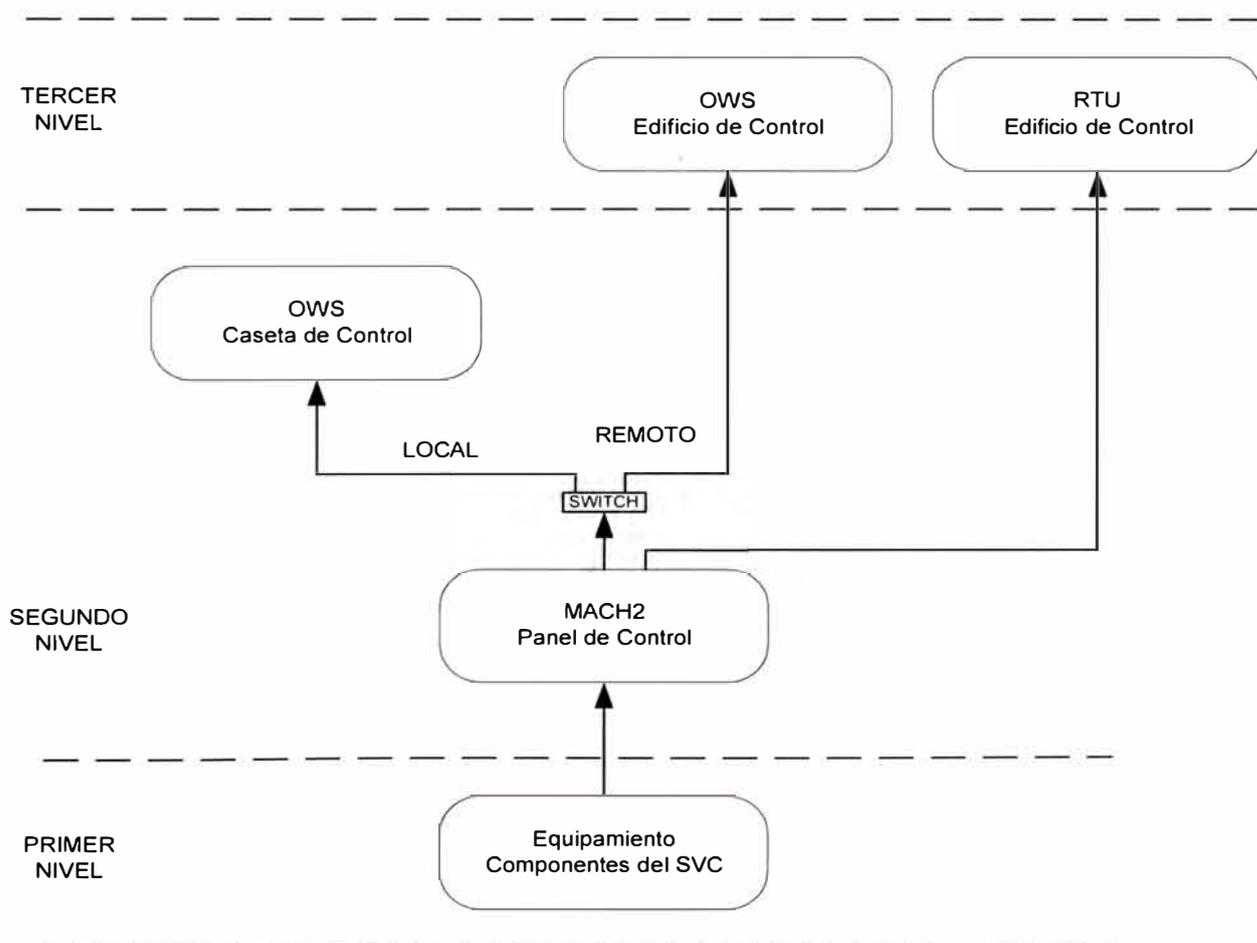


Gráfico 5.7 - Operación jerarquizada del SVC

Alternativa de solución: Luego de las fallas ocurridas en el sistema de control del SVC se ha trabajado conjuntamente con el fabricante del SVC y se esta planteando emigrar a un sistema de operación Windows XP y a versiones vigentes del Intoch (Software de interfase). En esta propuesta planteada se esta superando la situación en que las fallas posibles del OWS no afecten a la operación del SVC y que sean detectadas automáticamente por el control SCADA implementado. Además con la implementación de esta mejora estaríamos superando el tema de repuestos que se encuentran vigentes y con el soporte técnico garantizado.

Inversión: La inversión propuesta se encuentra alrededor de 150,000 dólares

Monitoreo: La propuesta incluye entrenamiento de los nuevos sistemas y se comprobará la versatilidad en las operaciones y manejo de base de datos y oscilografías. Antamina deberá solicitar una garantía al fabricante luego de la implementación para posibles ajustes de las actualizaciones.

5.4.2 Estudio actualizado del sistema de potencia sin SVC

Diagnóstico: El estudio y dimensionamiento del SVC ha sido realizado con base de datos del sistema eléctrico interconectado nacional del año 1999 y en la actualidad el sistema del anillo de la subestación Vizcarra ha cambiado su topología con el ingreso de la línea L2254 (Paragsha - Vizcarra) que esta uniendo esta parte de la sierra central con las nuevas centrales de generación que han entrado en servicio en los años posteriores al 2002.

Alternativa de solución: Realizar el estudio de estabilidad transitoria y análisis de los armónicos con respecto a la carga total del Antamina cuando el SVC se encuentre fuera de servicio. Se debe de analizar todos los escenarios posibles que comprometan las respuestas en estado transitorio y las posibles resonancias en paralelo y serie del sistema.

Inversión: La inversión aproximadamente asciende a 50,000 dólares.

Monitoreo: Luego del estudio se debe de difundir los resultados y actualizar los procedimientos de maniobras para condiciones normales y contingencias que se pueden presentar con el SVC.

5.5 Mejora en la filosofía de control del PFC – Subestación Antamina

Para mejor explicación de los planteamientos de las mejoras se muestran en los gráficos 5.8, 5.9 y 5.10 los diagramas unifilares del circuito PFC y los filtros de armónicos.

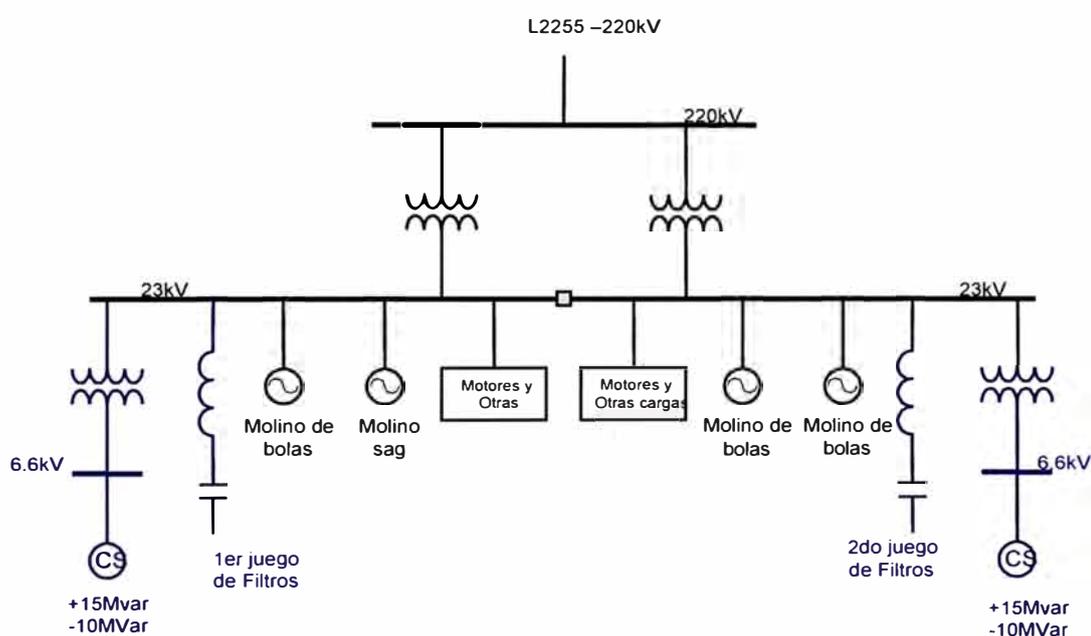


Gráfico 5.8 – Diagrama unifilar del sistema de compensación - PFC

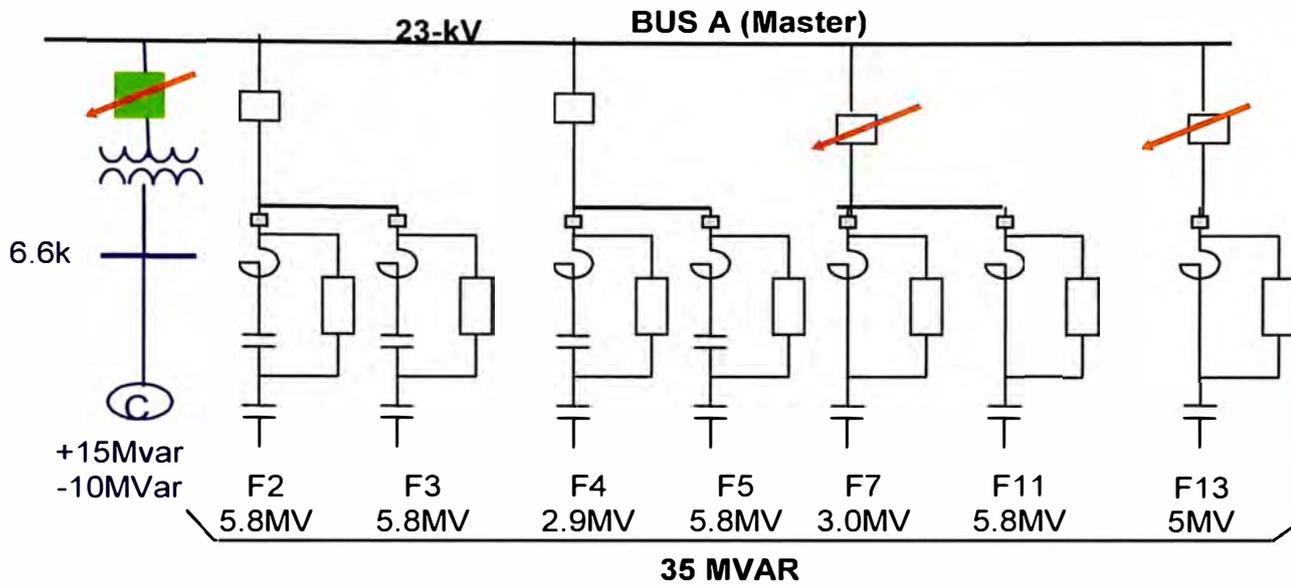


Gráfico 5.9 – Diagrama unifilar de los filtros Master

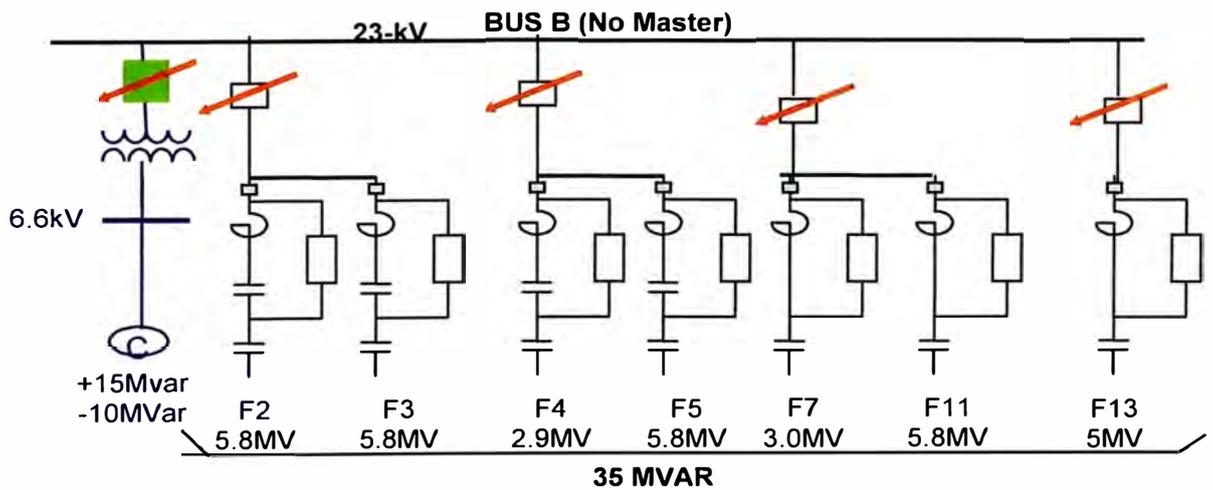


Gráfico 5.10 – Diagrama unifilar de los filtros No master

En los gráficos 5.9 y 5.10 se ilustra el modo entrada y salida de filtros

Entrada de filtros en forma ascendente

1ro) Bus Master : Filtros 2/3 - 4/5 - 7/11 - 13

2do) Bus No master : Filtros 2/3 - 4/5 - 7/11 - 13

Salida de filtros en forma descendente

1ro) Bus No master : Filtros 13 - 7/11 - 4/5 - 2/3

2do) Bus -Master : Filtros 13 - 7/11 - 4/5 - 2/3

Existe un intervalo de 5 minutos entre cada entrada y salida de filtros.

Salida de los 02 condensadores síncronos

Por interlock de forma inmediata el control abre del bus no-master todos los filtros y del bus Master sólo los filtros 13 y 7/11

5.5.1 Mejora en el comportamiento del Condensador síncrono ante perturbaciones

Diagnóstico: Cuando se produce una perturbación transitoria en el sistema de potencia ocasiona la salida de los 04 molinos (60 - 65 MW), casi siempre salen de servicio los 02 condensadores síncronos por sobre tensión luego de la pérdida de carga y el sistema se queda compensado capacitivamente.

Seguimiento y evaluación

- Al salir los 04 molinos de línea, se produce una salida repentina de potencia reactiva del orden de los 40 a 50 MVar, los cuales ocasionan una sobre tensión al quedarse la barra de 23 KV sobre compensada con potencia reactiva capacitiva (pérdida de carga importante en forma repentina).
- Los condensadores síncronos cumplen con la función de compensación fina de reactivos con el objetivo de mantener el factor de potencia en 0.96 y tienen límites en forma inductiva de 10 MVar (sub excitado) y en forma capacitiva de 15 MVar (sobre excitado)
- La potencia reactiva en los molinos varía con el tipo de mineral, pero estimamos que debe de ser del orden de 33 a 47 MVar.

- Si la tensión supera el 10% de 23 KV (25.3 KV) el PLC después de 4 segundos ordenará un trip (salida) a todos los filtros al ser ésta considera como una falla crítica
- Ante la elevación de tensión los condensadores síncronos generarán inductivos a fin de compensar los capacitivos de los filtros y del sistema. Los condensadores síncronos intentarán controlar la sobre tensión pero si llegan a su límite de sub excitado en un lapso de aproximadamente 3 segundos tripeará (salen de servicio) y luego saldrán los filtros de orden superior por interlock, quedando solo 04 filtros del master.

La filosofía de control de los condensadores síncronos y los filtros están conceptualizados para la compensación de potencia reactiva del sistema, pero no contempla el comportamiento de variaciones bruscas de potencias reactivas, siendo este punto a mejorar.

En el gráfico 5.11 se muestra el comportamiento de la tensión durante el periodo de perturbación que ocasiona la salida de los molinos y los comportamientos de los condensadores síncronos y filtros de armónicos. Este es un registro real tomado por el analizador de redes Dranetz durante una perturbación en una línea de 220 KV

Explicación del Grafico 5.11- Comportamiento de la tensión durante una perturbación

Evento 03 de diciembre del 2004

Título: Bus 23 kV _CS TRIP UNDEREXCITATION (falla bifásica en fases R y S en línea L2251 por descarga atmosférica)

TRAMO 1-2 y 3

- La perturbación se inicia en el punto 1.
- El voltaje cae hasta 18.2 KV (punto2) como consecuencia de una descarga atmosférica (perturbación), produciendo con ello la salida del molino Sag y los 03 molinos de bolas, saliendo con ello 50 MVAR(42 MVAR de los molinos y 08 Mvar de los servicios auxiliares).
- La repentina salida de 50 MVAR inductivos produce un súbito incremento de la tensión que llega a 25 KV (punto 3).

TRAMO 4 y 5

- En el punto 4 se observa la reacción de los filtros.
- Los condensadores síncronos inmediatamente generan reactivos inductivos para compensar la pérdida de 50 MVAR del sistema y tratan de reducir el voltaje en barras, este intento produce la rampa que se aprecia en este tramo, finalmente (punto 5) llegan al límite y actúa su protección por sub excitación (10 MVAR cada uno).

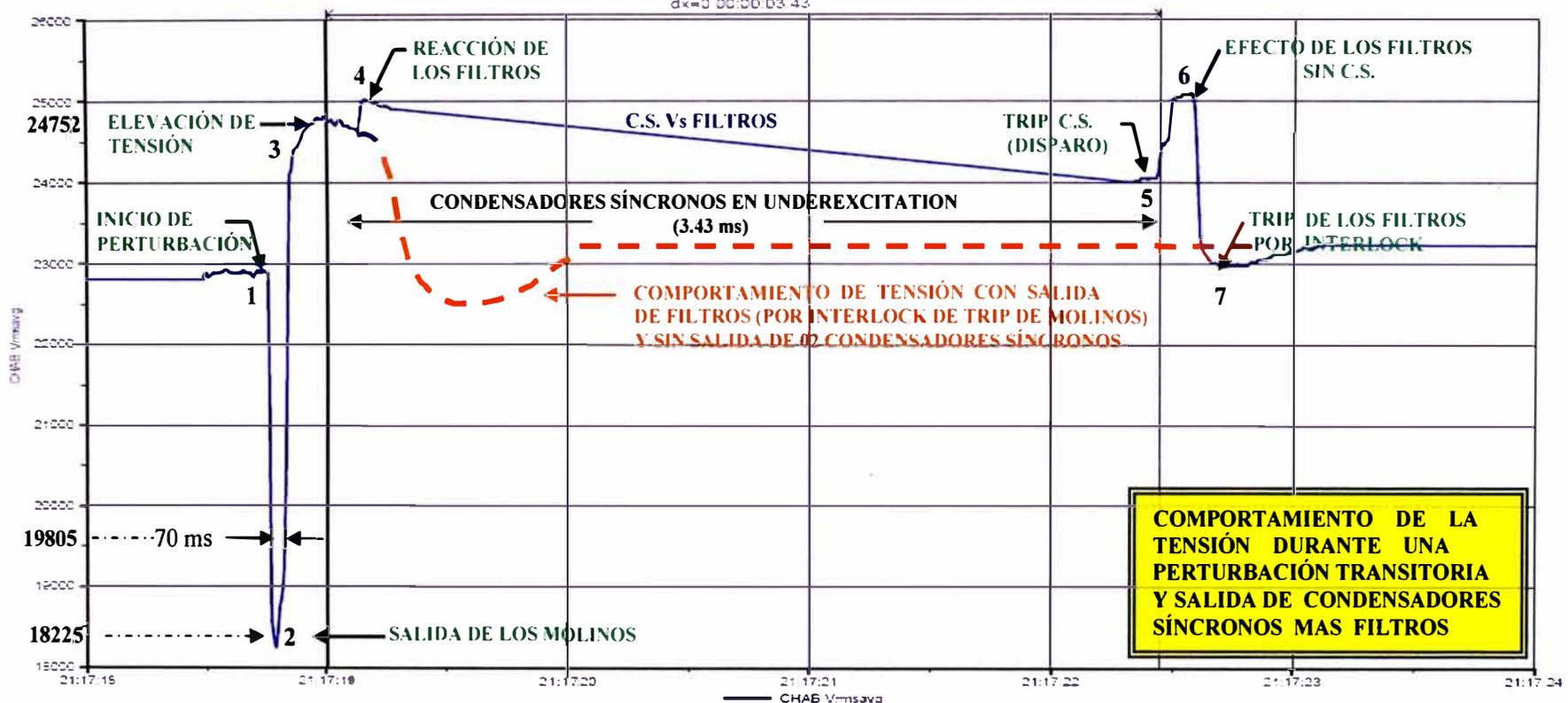
TRAMO 6-7

- En el punto 6 se observa el efecto de sobre tensión por los filtros sin los condensadores síncronos.
- En el punto 7 se observa la salida de los filtros por interlock (condición de operación de los filtros con respecto a los condensadores síncronos). El voltaje llega a normalizarse en 23.3 KV en un periodo aproximado de 6 segundos después de iniciado la perturbación.
- La carga total del sistema queda con aproximadamente 25 MW donde el factor de potencia no es regulado.

Subestacion Antamina - Nivel 23 KV

Date: 01/05/2005 Page 1
 Issued By:
 File: bus b dnv

Grafico 1: Bus 23KV_CS Trip underexcitacion (falla bifásica R y S por descarga atmosférica en L2251)



VOLTAJE RS & CORRIENTE R
 Evento: 12/03/2004 21:17:18.00 - 12/03/2004 21:17:24.00

Version: E9.27 Wilson Alonso Compañia Minera Antamina Unidad: 12/03/04

Grafico 5.11- Comportamiento de la tensión durante una perturbación

Alternativa de solución: El análisis del comportamiento de la filosofía de control ha llevado al monitoreo y captura del comportamiento del perfil de tensión durante una perturbación, llevando a plantear las siguientes modificaciones en el control con el objetivo de impedir la salida de los condensadores síncronos y así predisponer al sistema de potencia para el arranque de los molinos que tiene como premisa la operación de los mismos antes de su arranque.

Ante la pérdida intempestiva de carga debemos lograr sacar los 50 MVAR capacitivos que corresponde a los filtros de armónicos de orden superior y dejar a los condensadores que se adapten a la regulación controlado por el PLC sin ser sometidos a compensaciones que estén fuera de sus rangos permisibles.

Se plantean las siguientes modificaciones:

- ✓ Configurar en el PCL la salida de los filtros simultáneamente a la salida de los molinos.

La salida de los Molinos la puede registrar el PLC del PFC mediante dos opciones:

- 1.- Lógica de detección de caída brusca del nivel de potencia superior a los 50MVar.
- 2.- Mediante comunicación a través de la red Ethernet transferir el estado de marcha de cada molino.

- ✓ Estado abierto de los 04 interruptores de potencia que corresponden a los alimentadores de los molinos. Se plantea cablear en serie los estados de posiciones de los interruptores y sólo cuando los cuatro se encuentren abiertos enviará al PLC una orden que indica que los molinos han salido de servicio.

En el PLC ambas condiciones deben cumplirse para ordenar la salida rápida de los filtros seleccionados de orden superior en un tiempo menor a 2 segundos.

El planteamiento simula la recuperación rápida del control de tensión por parte de los condensadores síncronos y por ende amortigua los niveles de distorsiones armónicas que por el mantenimiento de potencia de corto circuito no se vuelve vulnerable a estas distorsiones.

En los gráficos 5.12, 5.13 y 5.14 se muestra la lógica a modificar y la señal física a cumplir para enviar orden de salida de los filtros de armónicos en forma instantánea similar al de una parada de emergencia.

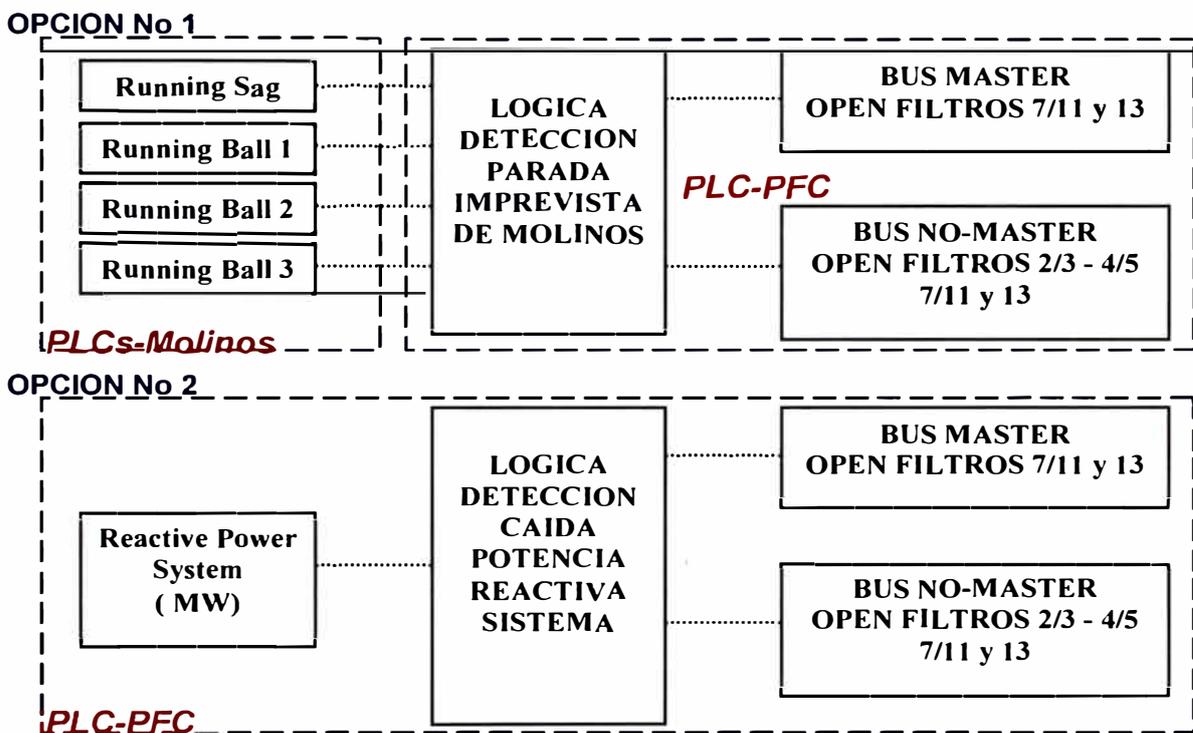


Gráfico 5.12 – Modificación en el PLC que monitorea la condición de los molinos

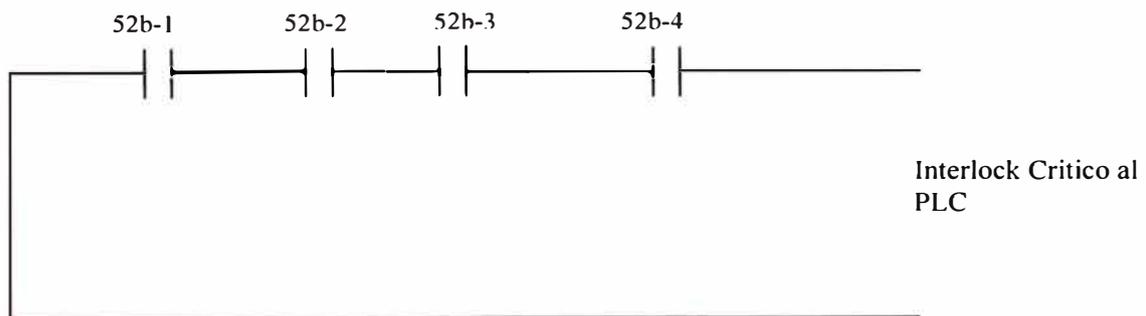


Gráfico 5.13 – Cableado del estado abierto de los interruptores de los molinos

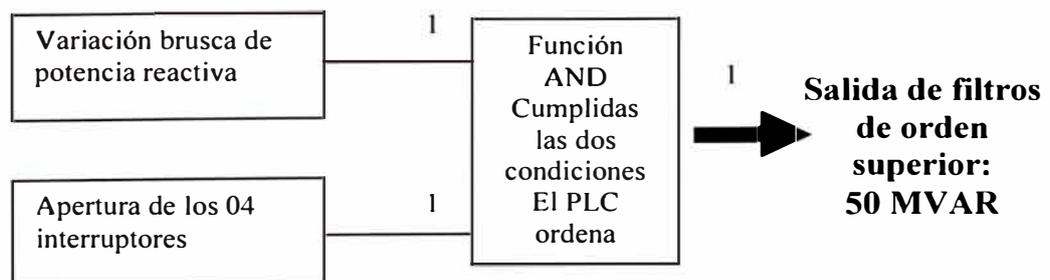


Gráfico 5.14 – Lógica que ordena salida de filtros.

Inversión: Iniciativa y análisis del grupo de sistemas de potencia y control de procesos. Esta iniciativa cuenta con la revisión de un consultor externo. Sin embargo se ha realizado mediciones de niveles de armónicos simulando condiciones de salida de los filtros (ver anexo F).

Monitoreo: El monitoreo va a consistir en el comportamiento de los niveles de armónicos después de la perturbación. Además la verificación de los límites de operación de los condensadores síncronos. Para esto se instalará analizadores de redes de alta resolución con capacidad de capturar transitorios de tensión y corriente las cuales estarán en línea en todo momento.

Con esta mejora se busca evitar las continuas operaciones de los interruptores alargando la vida útil de los mismos. Así mismo evitar las terribles presiones a los electricistas por parte de operaciones cuando no se tienen listos estos equipos.

Esto va a significar un ahorro de tiempo y permitirá que los molinos arranquen en menos de 5 minutos, logrando significativos ahorros en producción y evitando de esta manera los atoramientos en sistema de flotación después de no disponibilidad rápida de los molinos.

5.5.2 Mejora en la sincronización de los condensadores síncronos

Diagnóstico: Luego de la salida de los condensadores síncronos por lo general estos entran en línea después del segundo o tercer intento, ocasionado con ello un retardo mayor a 25 minutos en dar luz verde para el arranque de los molinos

Seguimiento y evaluación

Este punto tiene que ver directamente con la frecuencia de la red y éstas pueden sufrir variaciones por las siguientes causas:

- La frecuencia de la red varía de acuerdo a la naturaleza de la falla.
- Si salen de servicio línea L2251 y se pierden los generadores de Aguaytía, es probable que la frecuencia decrezca hasta 59.4 Hz.
- Si salen de servicio las líneas L2252, L2253, L2254 o el circuito de mina y se pierden 60 MW de la carga total de Antamina, el sistema ocasionará que la frecuencia suba aproximadamente hasta 60.5 Hz.

- Si la falla se produce fuera del anillo Vizcarra el sistema adopta diferentes configuraciones (topologías).

El control de arranque y puesta en sincronismos con la barra de 23 KV tiene la siguiente secuencia:

- Una vez presionado el botón de arranque el PLC ordena al variador (ASC600-ABB) ir hasta 900 RPM, luego de ello el panel de excitación ordena el cierre del interruptor principal del motor síncrono sin recibir la información de la frecuencia real de la red que no necesariamente es 60.00 Hz. Este método no asegura un perfecto sincronismo a 60 Hz y dependiendo de la potencia de cortocircuito del sistema provocará un mayor desbalance de corrientes y la actuación del rele 87 de protección diferencia del transformador intermedio (23 /6.6 kV).

Alternativa de solución: Se debe monitorear la frecuencia real de la red y hacer un lazo de comparación con la velocidad del motor síncrono antes de ordenar cerrar el interruptor, para ello plateamos lo siguiente:

1. Habilitar al variador ASC600 para que lleve al pony motor hasta un rango de 910 RPM.
2. Instalar un traductor de frecuencia en la línea de 23 KV de tal manera que compare con los RPM reales del motor síncrono y la frecuencia de la red.
3. El panel de excitación debe ordenar el cierre del interruptor del motor síncrono sólo cuando el deslizamiento esté muy próximo a cero entre la red y la velocidad del motor síncrono.

Inversión: Esta mejora es iniciativa del grupo de sistema de potencia

Monitoreo: Se plantea analizar los parámetros de tensiones y caídas de tensiones que se producen cuando intenta o sincroniza con la red los condensadores síncronos. Sin embargo es importante mencionar que el éxito de la sincronización también depende de la potencia de cortocircuito que en ese momento tenga el sistema de potencia.

La coordinación con nuestro suministrador de energía ayuda en la sugerencia de mantener la frecuencia a 60 HZ estable del sistema que es administrado por el COES durante el proceso de sincronización.

Importante mejora implementada

Luego de la salida de los condensadores síncronos, se determinó con mediciones en línea que se puede arrancar todos los molinos con un sólo condensador síncrono ya que el ingreso del otro condensador síncrono no ocasiona la salida de los molinos cuando estos se encuentren operando porque la máxima caída de tensión registrada estaba alrededor de 20.5 kV (umbral inferior para actuación de la protección de sub tensión de los molinos).

5.6 Propuesta de implementación de fusibles de potencia ultrarrápidos en circuito mina

Diagnóstico: El circuito de la mina esta conformado por líneas aéreas de 23 kV y estas están expuestas a descargas atmosféricas y a fallas de cortocircuito que se pueden producir por acercamiento de fases que a la vez pueden ser provocadas por las voladuras que se realizan en la explotación del mineral y/o producidas cuando se presentan errores en el montaje de la línea que constantemente esta en modificación. Estas fallas alcanzan corrientes superiores a 3000 Amp y provocan caídas por debajo de 19.5 KV que ocasionan la salida de los molinos y del circuito de mina (65 MW salen instantáneamente). Durante estos eventos los interruptores son sometidos a operar con condiciones de corrientes de fallas que aceleran el envejecimiento de los mismos. Para amortiguar estas salidas de los molinos y/o cargas de electrónica de potencia se ha planteado la instalación de fusibles de potencia ultra rápidos con respuestas menores a 1 ciclo (16 ms) en el alimentador del circuito de mina.

Alternativa de solución: Para el planteamiento de esta alternativa el departamento de sistemas de potencia ha entablado conversaciones e intercambio de información con el fabricante de los fusibles ultra rápidos logrando resultados esperados debidamente sustentados.

Descripción detallada de las fallas

Una falla por cortocircuito o por descarga atmosférica produce un incremento instantáneo de las corrientes y una caída de tensión en las fases afectadas.

Las protecciones de los molinos actúan cuando la caída de tensión es menor a 19.5 KV(-15% Vn) y por más de 20 milisegundos. A pesar que los reles de protección del circuito alimentador de la mina se encuentren para que operen en forma instantánea en la práctica existe un tiempo del orden de milisegundos que se toma en abrir el circuito de falla porque se suman los tiempos de respuesta del rele, la orden de apertura al interruptor y la operación del disparo del interruptor (estos tiempos se encuentran entre 150 a 250 milisegundos)

En los gráficos 5.15 y 5.16 se ilustran la comparación de los tiempos de despeje de los interruptores con los fusibles ultra rápidos y las formas de la tensión y la corriente ante una falla en el circuito de la mina (registro real capturado por el analizador Dranetz)

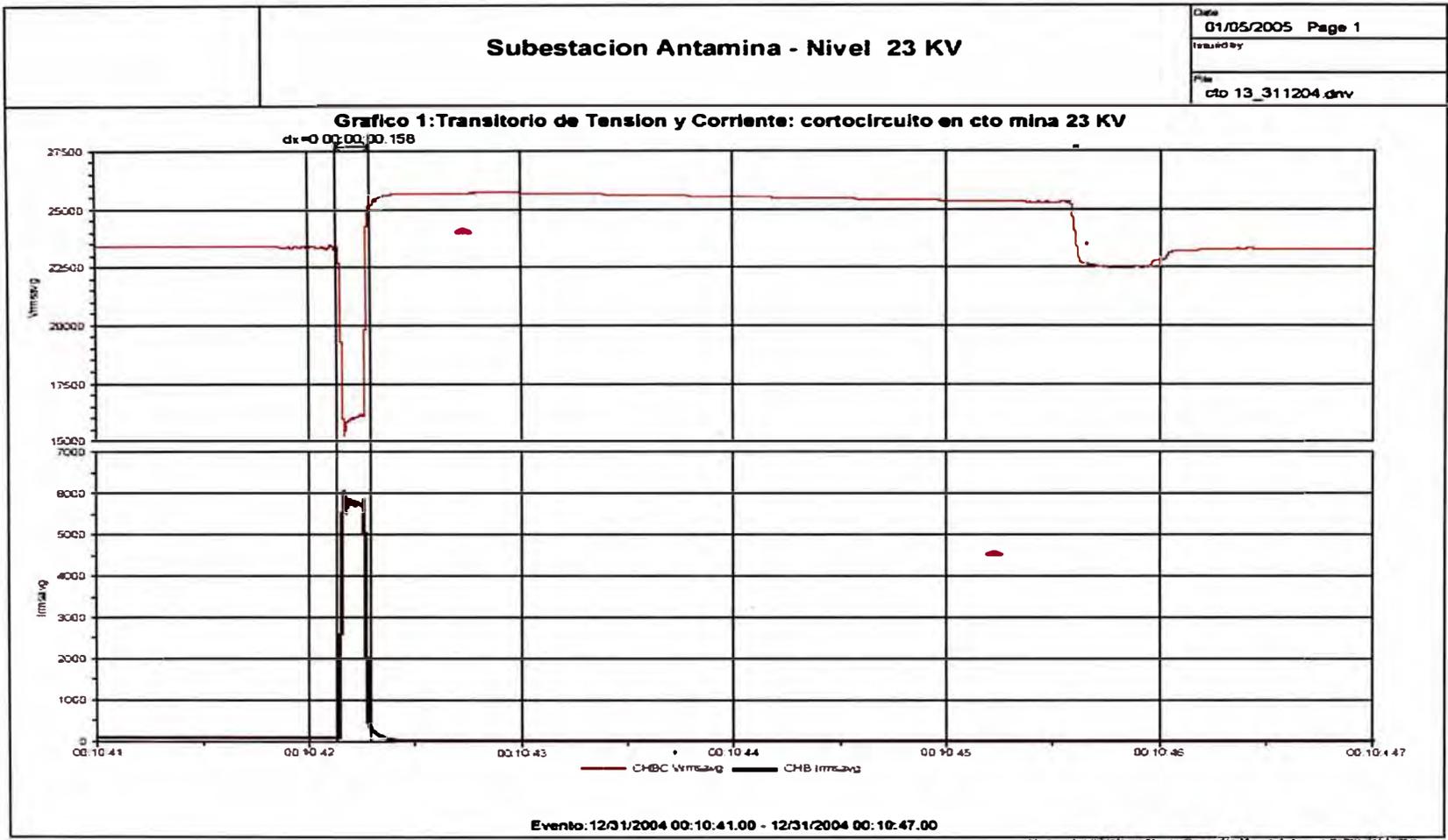


Gráfico 5.15 – Comportamiento de la tensión y corriente durante falla en el circuito mina.

I²t COMPARISON

**FOR 40kA RMS, SYMMETRICAL
FOR COMMON PROTECTION DEVICES**

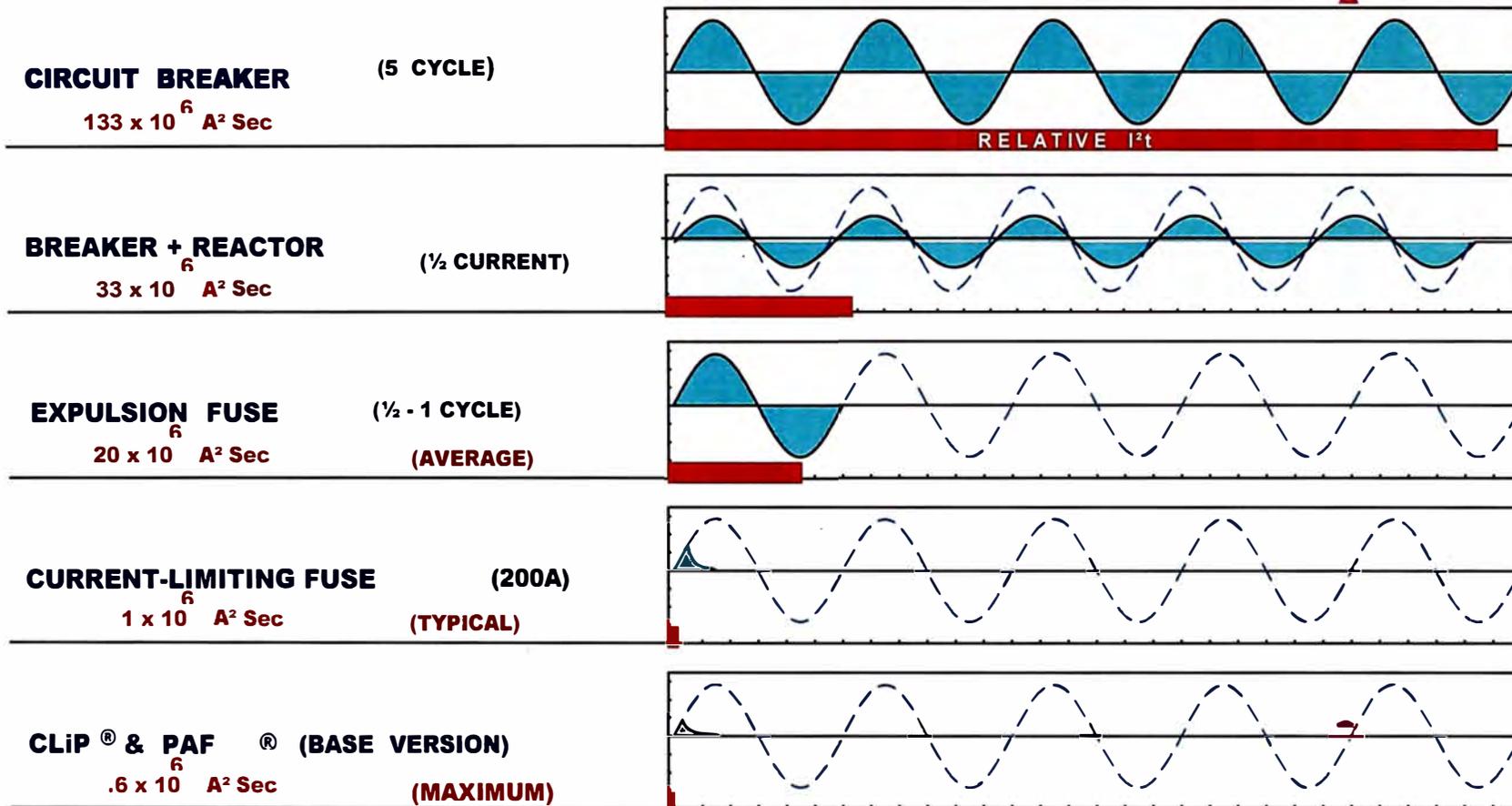


Gráfico 5.16 – Comparación de tiempos de despeje de fallas de interruptores y fusibles ultra rápidos.

El 90 % de las fallas ocurridas en el circuito mina ocasionan salidas de los molinos. Se ha identificado que los cortocircuitos dañinos para el sistema se deben principalmente a las siguientes causas:

- Descargas atmosféricas: Las caídas directas o indirectas ocasionan sobre corrientes instantáneas que buscan el camino hacia tierra y predisponen al sistema a someterse a sobre tensiones directas y/o sobre tensiones reflejas que normalmente son el doble en magnitud con respecto a sobre tensión incidida y estos ocasionan fallas bifásicas y trifásicas en los sistemas de 23 kV principalmente porque el número de aisladores y separación entre fases están diseñados para soportar tensiones menores a 100 kV.
- Cortocircuitos por acercamiento de fases: Estos acercamientos pueden ser por fallas de los armados o flechado incorrectamente de las líneas.
- Cortocircuitos bifásicos por contactos de aves: Por la construcción de los armados de posteria y la presencia de aves que se han parado en los aisladores han ocasionado fallas bifásicas o monofásicas.
- Fallas de aislamiento de los equipos: Algunos equipos han fallado por razones que no cumplen con el Nivel Básico de Aislamiento (BIL) y su falla se ha manifestado en el corto tiempo no cumpliendo con la vida útil especificada por los fabricantes. El nivel de altitud (4500 m.s.n.m.) y el nivel isoceraunico en las cuales se desarrollan las operaciones de mina no necesariamente han sido consideradas por los proyectistas en el dimensionamiento de los equipos. Según lo expuesto en el nivel de 23 kV el BIL adecuado es 200 KV.
- Voladuras: Operaciones mina realiza voladuras para la explotación del mineral en forma intensa y estas han ocasionado que los aisladores sean impactados por las rocas y/o piedras que han producido fallas en el circuito

Los niveles de corrientes de fallas que producen una caída de 15 % en la tensión nominal de 23 kV se encuentran alrededor de 3.4 a 3.6 KAmperios RMS que equivalen a 5.23 KAmperios instantáneo ($\sqrt{2}$ Irms.) Para evitar estas caídas de tensión debemos instalar fusibles ultra rápidos tipo CLIP (Current Limit

Protection). Las cuales deben ser debidamente seleccionados y programados para la correcta operación.

En el gráfico 5.17 se muestra el diagrama lógico de la protección de los molinos por sub tensión.

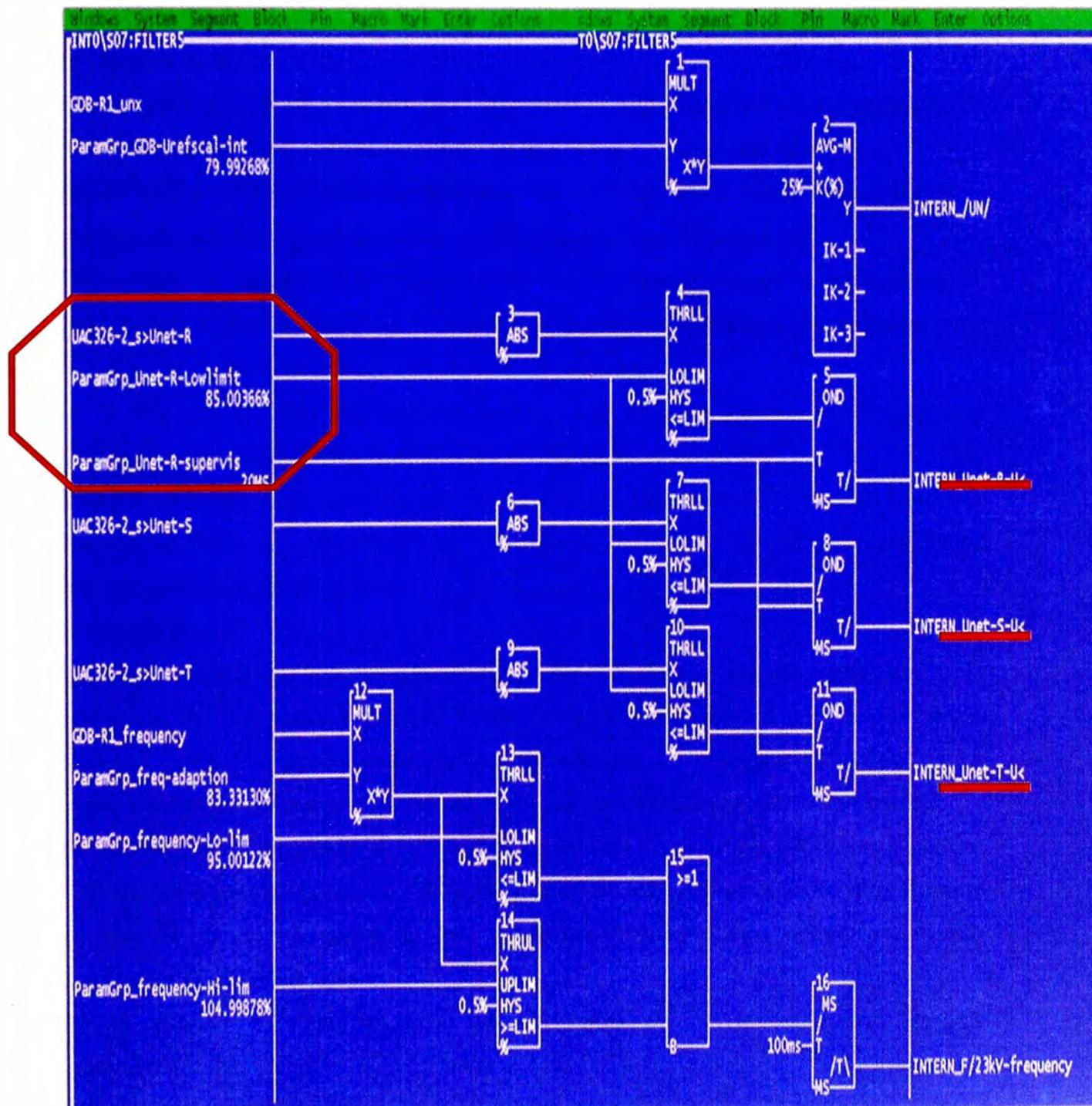


Gráfico 5.17 – Protección de sub tensión de los molinos – Programa Fupla.

Selección del fusible CLIP (Current limiter Protection)

Esta etapa ha involucrado el manejo de mayor información para llegar a un análisis detallado y convincente que encuentre aplicación de los fusibles ultra rápidos para evitar caídas de tensiones transitorias que comprometan la salida de los molinos

Los Fusibles CLIP tienen estandarizados para corrientes de fallas instantáneas de 4kA, 6kA, 8kA, 10 KA, 12kA y 14 kA y pueden ser programados los niveles de fallas para su actuación.

En el gráfico 5.18 se observa que la corriente falla alcanza en el primer ciclo 5.7kAmp instantáneo y en el segundo ciclo 9.3 kAmperios instantáneos.

En el gráfico 5.19 se observa que para las corrientes de fallas mencionadas la tensión rms cae a 14.5 kV (equivale a valor instantáneo de 20.5 kV).

En el gráfico 5.20 (curva de respuesta del fusible para 6kAmperios instantáneo) se observa que el fusible CLIP de 6 kAmperios despejaría la falla en aproximadamente $\frac{1}{2}$ ciclo (8ms) recuperando de esta manera la tensión.

De lo explicado se está eligiendo un fusible CLIP de 6 kA y puede ser programado a valores menores según se cambien la aplicación y/o circuito.

Estos fusibles no tienen una simple fundición como los fusibles normales dado que durante la falla es conmutada al elemento limitador de corriente en forma instantánea despejando la falla.

Corriente inrush.

La energización de los transformadores de 7.5 MVA no comprometen a la operación de los fusibles porque estas corrientes están por debajo de corrientes críticas. Luego la peor condición resulta cuando se energiza de golpe varios transformadores con carga (impedancias en paralelo de mayor corriente inrush).

De los registros obtenidos las corrientes inrush no superan los 1000 Amp, pero si hubiera corrientes mayores de 3000 amp podemos deshabilitar la protección durante el periodo de energización de los transformadores y luego activarlos, siendo totalmente factible este paso.

En el gráfico 5.21 se muestra las corrientes de corrientes inrush de los transformadores.

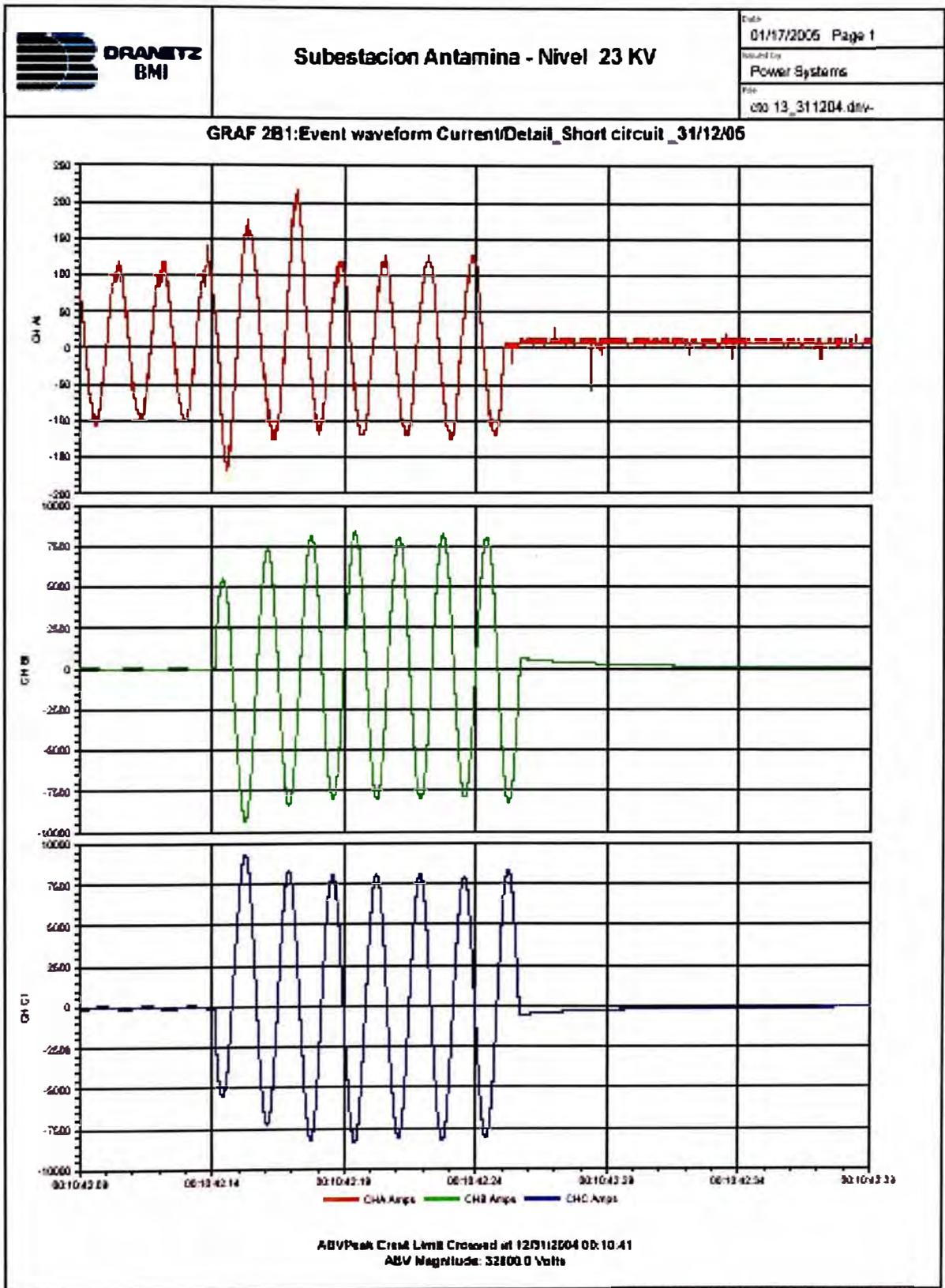


Gráfico 5.18 – Forma de ondas de corriente durante falla en S y T en circuito mina.

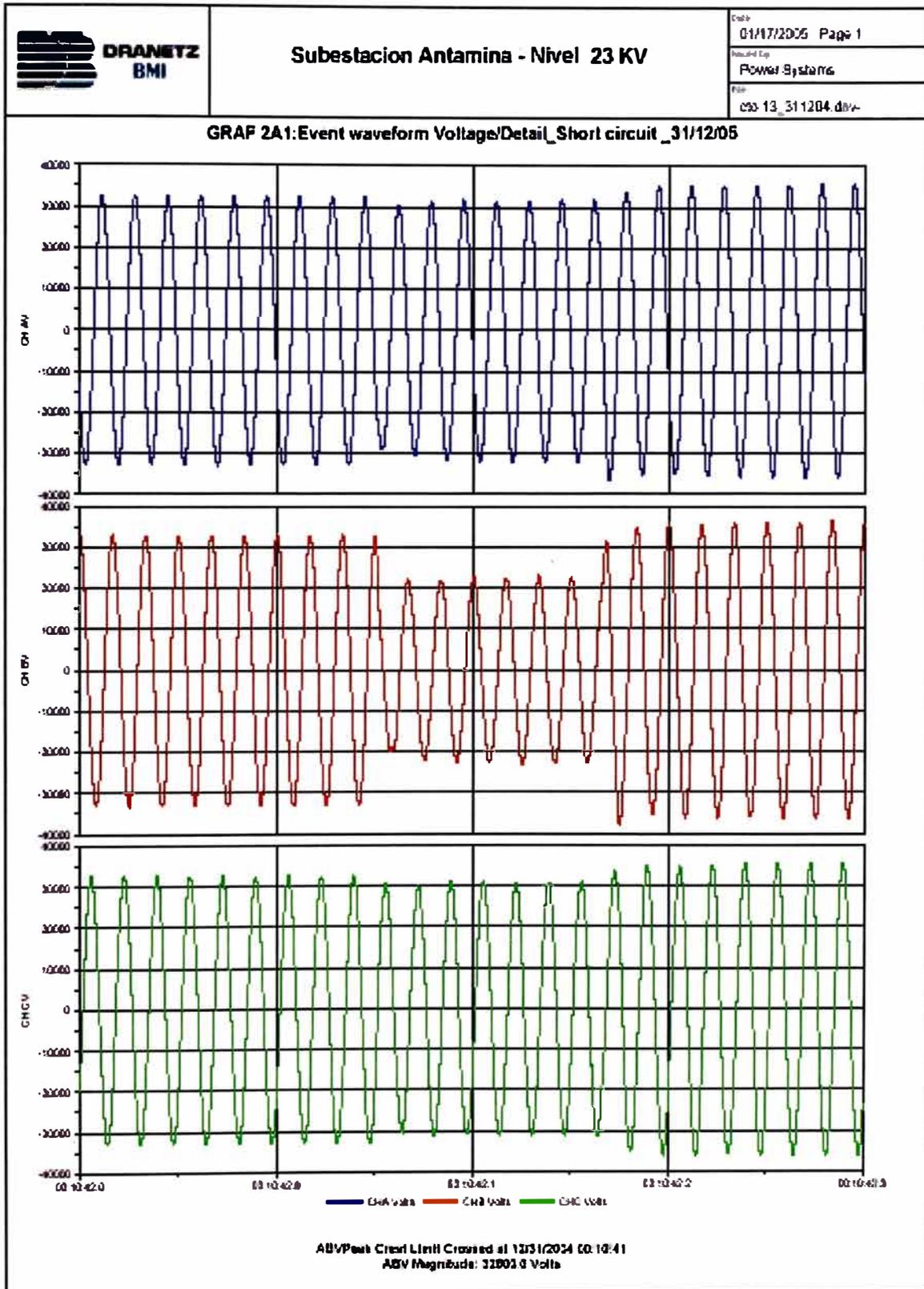


Gráfico 5.19 – Forma de ondas de tensión durante falla en S y T en circuito mina.

CLIP ASYMMETRICAL FAULT INTERRUPT PROJECTED FOR 3kA INSTANTANEOUS TRIGGER LEVEL

CIRCUIT X/R OF 25 IS APPLIED

CRESTS = (rms, sym Amperes) * Asym Pk. Multiplier of 2.662

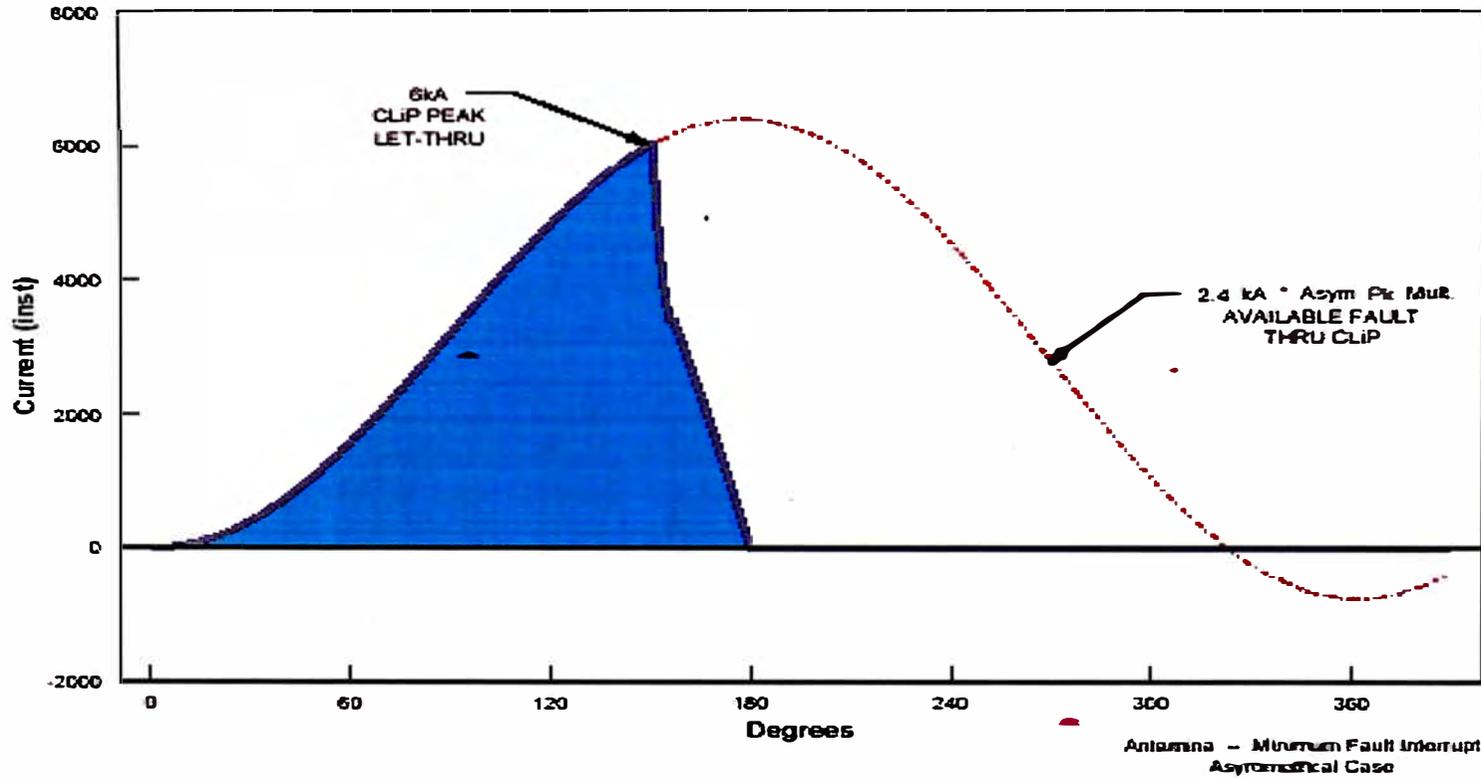


Gráfico 5.20 – Curva de operación del fusible CLIP para 6kAmperios instantáneos

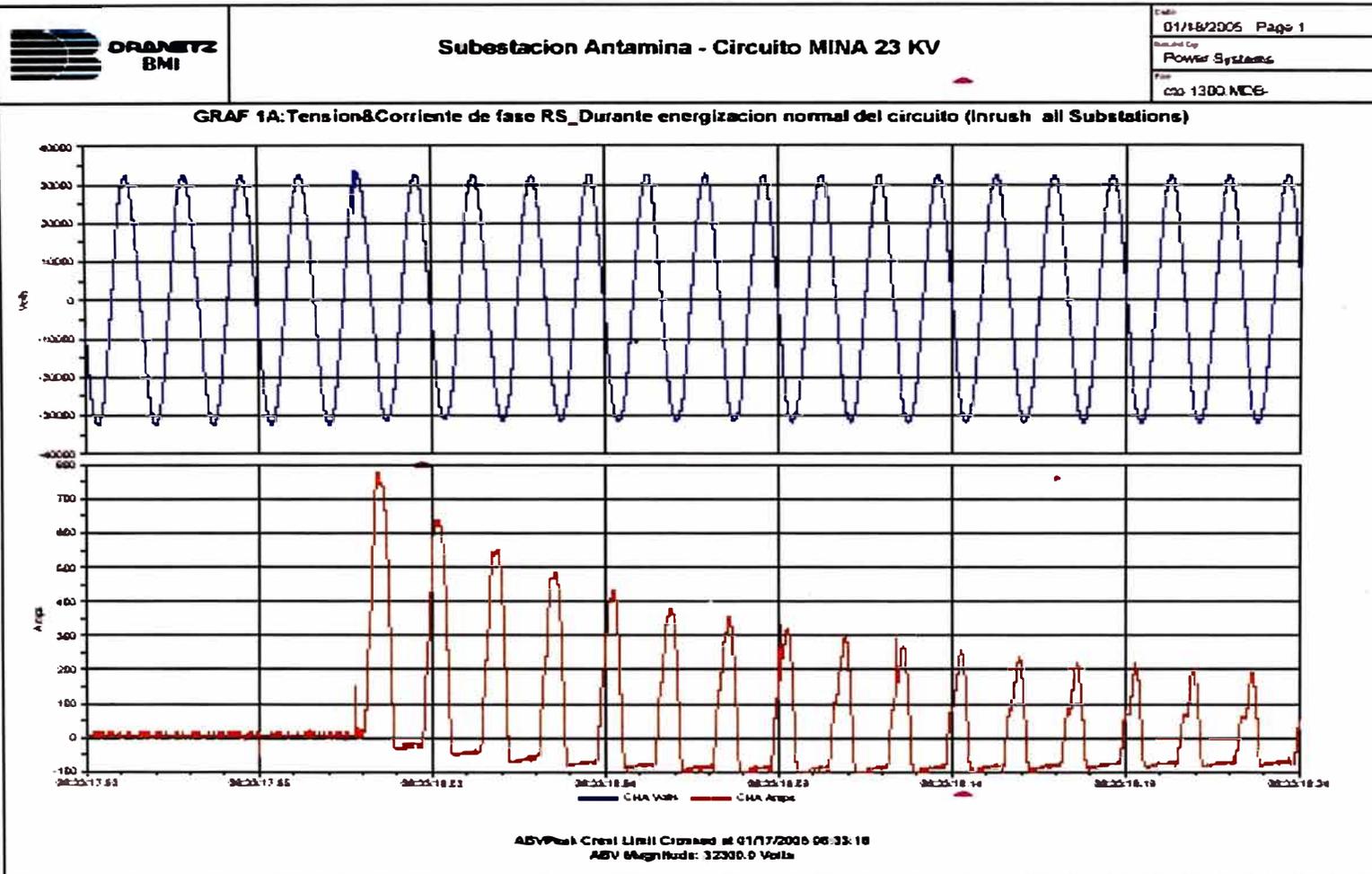


Gráfico 5.21 – Corriente inrush de todos los transformadores en el circuito mina.

Selección de la tensión nominal del fusible

El dispositivo de 27 kV tiene similar distancias de aislamiento a los de 38 kV, para las fallas monofásicas en las cuales se producirán la apertura del fusible (corriente a cero) creando sobre tensiones en las otras fases. La norma ANSI/IEEE & IEC establece las sobre tensiones máximas para 27 KV que alcanza 84 kV y para 38 KV alcanza 119 kV.

En conclusión se ha elegido fusibles CLIP de:

Tensión nominal: 27 kV

Corriente continua: 1200 Amperios

Corriente de actuación instantánea: 6 kA

Rango de corriente máximo: 14 kA

Nivel básico de aislamiento (BIL): 200 kV

Coordinación de protección con el interruptor

Para las fallas monofásicas y bifásicas el dispositivo cuenta con un rele que verifica la presencia de tensión y envía una orden de apertura del interruptor para evitar problemas de ferresonancia (sobre tensiones en las otras fases no falladas) y recuperación rápida de la tensión en el sistema

Flexibilidad en reemplazo de fusibles y mantenimiento

El dispositivo cuenta con operación Local y Remota y la celda en la cual debe estar ubicada debe cumplir con normas nemas y preparadas para la explosión interna que pueda producirse por manejo alto de energía. El mantenimiento consiste en la inspección del estado físico y puede ser monitoreado remotamente. El reemplazo de los fusibles tiene un procedimiento fácil y seguro.

Inversión: El proyecto asciende a 140,000 dólares donde se incluye los repuestos de los fusibles tipo CLIP.

Monitoreo Se ha elaborado y analizado la respuesta que debe tener los fusibles ultrarrápidos mediante el gráfico 5.22 donde se muestra la perturbación que se presenta en la actualidad y el modo de despeje de falla con la operación de los fusibles.

Explicación del evento de falla en el circuito mina registro

En el mes de diciembre del 2004 se ha podido capturar una falla bifásica en las fases R y S. Se plantea la respuesta del fusible y la recuperación del voltaje según el siguiente análisis:

Punto A

Inicio de operación de fusible Clip de 6kA, 1200 Amp y 27 KV para una corriente de 3000 Amperios RMS (5200 Amperios instantáneo) donde la caída de tensión en la barra es 21,500 V.

Punto B

Arranque de protección de sub tensión de los ciclovvertidores (molinos): 20 ms y 85 % U_n (19,500 V)

Punto C

Luego de 8 ms de iniciado la falla se estima que el fusible ha despejado la falla e inicia la rampa de recuperación de la tensión

Punto D

Actuación de la protección por sub tensión (20 ms y -85% U_n) si el fusible no ha despejado la falla. Este tiempo supera largamente la curva de respuesta del fusible.

Punto E

Después de 15 ms (considerando peor condición) de iniciado la caída de tensión queda recuperada la tensión saliendo del umbral de actuación de la protección de sub tensión

Punto F

Muestra la rampa de recuperación de tensión despejada la falla (registro de un evento)

Análisis

Según lo explicado en el gráfico usando un fusible CLIP de 6kAmp inicia su operación cuando la corriente RMS alcanza los 3.0 kAmperios y despejando la falla luego de 8 a 15 ms.

En el punto B cuando la tensión cae por debajo de 85% V_n (19.55kV) ya el fusible tiene contabilizado casi 4 a 6 ms y se estima que para un peor caso la tensión

llegaría 16.8 KV y luego iniciaría su recuperación la tensión sin llegar a superar los 20 ms de duración de la falla.

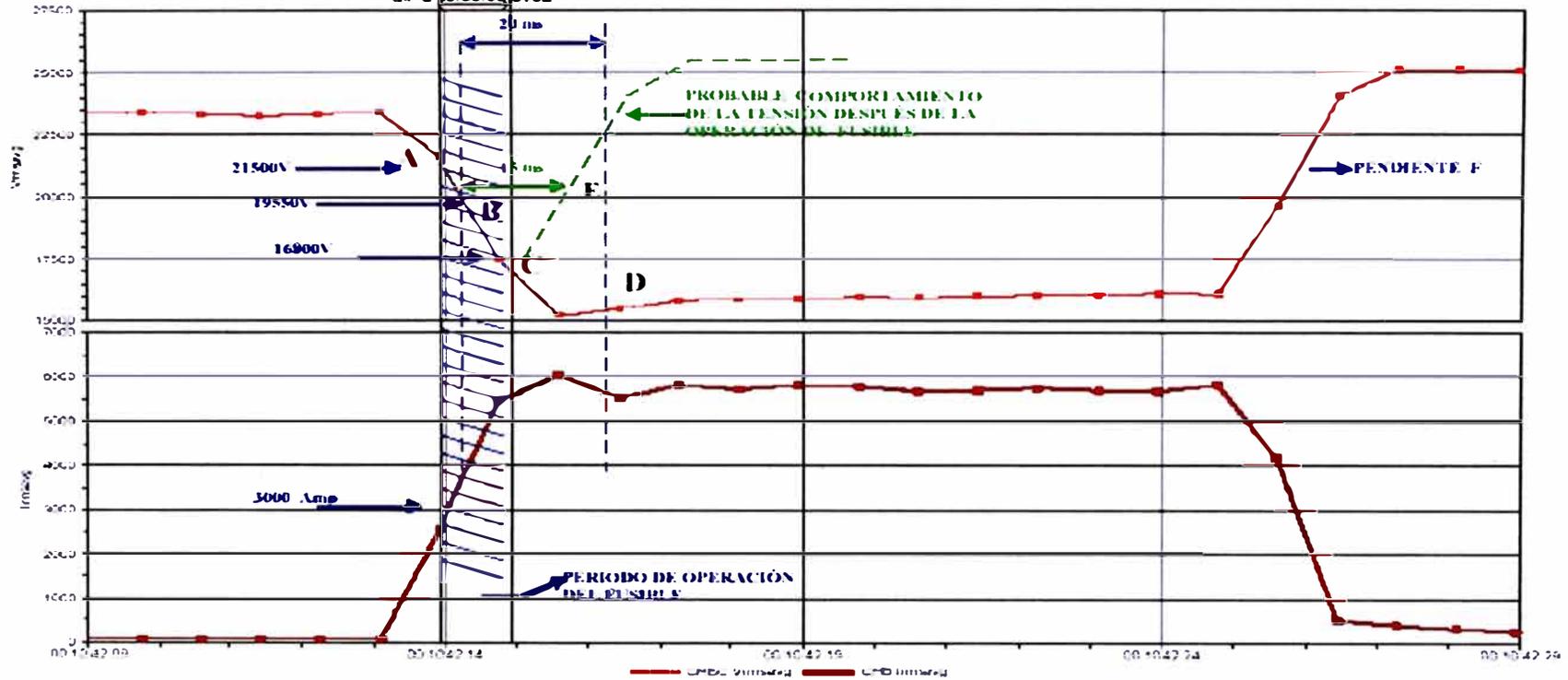
En el gráfico también se ha plotado la pendiente de recuperación de voltaje (pendiente paralela a lo registrado en el punto F).

En conclusión la correcta operación de los fusibles evitaría la salida de los cicloconvertidores.

Subestacion Antamina - Nivel 23 KV

01/06/2005 Page 1
 cto 13_311204.dwg

Grafico 1A: Transitorio de Tension y Corriente: cortocircuito en cto mina 23 KV
 da-0 00 00 00 0102



Evento: 12/31/2004 00:10:42:09 - 12/31/2004 00:10:42:28

Gráfico 5.22 – Análisis de la respuesta del Fusible Vs la recuperación del voltaje.

5.7 Revisión y correcciones a los sistemas de protecciones-Subestación Antamina

Diagnóstico: Luego del arranque de la planta se ha verificado la correcta operación de los relés de protecciones con sus respectivas funciones programadas. En general la protección se ha encontrado con sus relés bien programados y seguros de actuar cuando sean requeridos. Sin embargo se ha encontrado fallas en los conexionados de los relés diferenciales de tierra (87TG) que pertenecen a los transformadores principales de la subestación y que han operado erróneamente no cumpliendo la selectividad en la protección.

Alternativa de solución: El relé diferencial 87TG marca ABB se encontró con problemas en el conexionado. Uno de los problemas fue la incorrecta polaridad de los transformadores de corriente que hacían operar erróneamente al relé (las corrientes en lugar de eliminarse se estaban sumando para condiciones de no falla que compromete la selectividad de 1 relé). Otro de los problemas encontrados fue la incorrecta conexión de los transformadores intermedios que hacen que el relé compare corrientes en el mismo nivel de tensión y compararlas. Los transformadores intermedios en lugar de estar trabajando como elevadores estaban conectados como reductores y luego cuando el relé diferencial comparaba magnitudes encontraba resultante que hacía operar al relé sacando repentinamente al transformador principal produciendo parada de toda la planta.

En la actualidad se han realizado pruebas de actuación a los relés en los circuitos importantes de la producción, teniendo un plan para continuar con el 100% de los relés instalados.

Inversión: El grupo de sistemas de potencia cuenta con una moderna maleta de pruebas de relés que provee pruebas de las diferentes curvas de operación con la elaboración de macros según las ecuaciones de los relés. Se ha invertido 45,000 dólares.

5.8 Modelamiento del Sistemas de potencia de Antamina

Diagnóstico: En la actualidad se tiene modelado el sistema eléctrico de la subestación principal y las cargas de Antamina. Este modelamiento se ha realizado

en el Software ETAP con los datos proporcionados por los fabricantes y data estándar del software. Este modelamiento sirve de base para las especificaciones y desarrollo sostenible de nuevos proyectos.

Se cuenta con resultados de flujo de carga, estudios de cortocircuito y coordinación de protección. En la siguiente etapa en desarrollo se esta contemplando realizar estudios de armónicas y respuesta dinámica del sistema.

5.9 Análisis del comportamiento de armónicos

Se de importancia para el sistema eléctrico de Antamina verificar el comportamiento real del fuljo de armónicos y prever fallas prematuras de equipos por presencia de los armónicos. Se ha analizado los armónicos en el nivel 220 kV y 23 kV.

5.9.1 En las subestaciones Antamina y Vizcarra

Diagnóstico: Se ha realizado mediciones simultáneas en los niveles de 220 kV y 23 KV para diferentes condiciones de cargar con y sin sistema PFC (condensadores síncronos y filtros de armónicos en Antamina) con el objetivo de verificar el flujo de las corrientes armónicas y las capacidades de los filtros de armónicos del SVC.

Estas mediciones se han realizado para 5 condiciones (etapas) de la carga y configuración del sistema de compensación y con 04 analizadores de redes de la marca Dranetz que han sido instaladas estratégicamente en puntos de medición de la subestación Vizcarra y Antamina. Las 5 etapas de medición fueron:

- Etapa I: Antamina a plena carga (80-90 MW) y con los condensadores y filtros en servicio
- Etapa II: Antamina con carga reducida (22-28 MW) y con los condensadores y filtros en servicio.
- Etapa III: Antamina con carga reducida (22-28 MW) y con los condensadores y sin filtros en servicio.
- Etapa IV: Antamina con carga reducida (22-28 MW) y sin los condensadores y sin filtros en servicio.
- Etapa IV: Antamina con carga reducida (22-28 MW) y sin los condensadores y sin filtros en servicio

- Etapa V: Antamina durante el incremento de carga (40-65 MW) y con los condensadores y sin filtros en servicio

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas siguientes:

- Tabla 5.1: Valores máximos registrados de V_{thd} (distorsión armónica total de tensión) y I_{thd} (distorsión máxima total de corriente) en los niveles de 220 kV y 23 kV para las 5 etapas.

Tabla 5.1 – Valores máximos para V_{thd} y I_{thd}

ETAPAS	MÁXIMO THD DE TENSIÓN (%)				MÁXIMO THD DE CORRIENTE (%)			
	Vizcarra 220 kV	SVC 16 kV	Antami 220 kV	CSinc 23 kV	Vizcarra 220 kV	TCR (Fase R)	Antami 220 kV	CSinc 23 kV
Etapa I	1.12	0.65	0.80	0.69	1.92	9.56	2.23	10.54
Etapa II	1.03	0.59	0.74	0.71	3.12	9.73	3.23	2.12
Etapa III	1.21	0.66	0.96	0.99	10.37	9.63	12.37	2.32
Etapa IV	1.57	0.66	2.19	3.22	12.91	9.38	6.78	-
Etapa V	1.41	0.62	1.74	2.02	5.73	8.85	4.66	13.18

Etapa I: Condición de operación a plena carga

Etapa II: Condición de disminución de carga (con Compensador Síncrono y con Filtro del CS)

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (con Compensador Síncrono y sin Filtro del CS)

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin Compensador Síncrono y sin Filtro del CS)

Etapa V: Condición de aumento de carga (con Compensador Síncrono y sin Filtro del CS)

- Tabla 5.2: Se compara las capacidades nominales de los componentes de los filtros de armónicos del SVC con los valores máximos registrados de corriente. Esta tabla demuestra que la capacidad de manejo de corriente en los componentes de los filtros no se encuentran sobrecargados.

Tabla 5.2 – Comparación de valores admisibles de los filtros con y valores máximos registrados de corriente

**CAPACIDAD DE CARGA EN LOS FILTROS DEL SVC PARA
DIFERENTES CONDICIONES DE DEMANDA
(Respecto a la capacidad de corriente rms)**

Filtro	Corriente admisible (Amperio)		Corriente (Amperio)				
	Filtro Capacitor	Filtro reactor	Etapa I	Etapa II	Etapa III	Etapa IV	Etapa V
Filtro 5ta	2279	2139	1829.11	1803.49	1788.27	1757.60	1776.70
Filtro 7ma	1410	1216	1055.52	1039.30	1027.37	1009.60	1021.63
Filtro 11ra	780	419	357.57	351.47	348.62	343.32	346.56

- Tabla 5.3: Se muestra la distribución de corrientes armónicas que son absorbidas por cada filtro donde se observa que la predominancia de corriente armónica son las que coinciden con el orden de filtros. Esta tabla demuestra que los filtros se encuentran correctamente sintonizados para la topología actual del sistema eléctrico del anillo de la Subestación Vizcarra.

Tabla 5.3 – Valores del espectro de corrientes armónicas máximas registradas en cada filtro.

**CORRIENTE EN LOS FILTROS DEL SVC PARA DIFERENTES
CONDICIONES DE DEMANDA**

Armónica	Filtro 5ta (Amperios)					Filtro 7ma (Amperios)					Filtro 11ra (Amperios)				
	Etapas					Etapas					Etapas				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
H02	6.76	3.70	1.70	2.94	2.32	3.54	1.97	1.36	2.60	1.59	0.12	0.08	0.12	0.08	0.07
H03	13.9	8.07	13.2	13.5	14.6	7.10	3.51	5.49	6.50	6.26	0.12	0.11	0.12	0.13	0.12
H04	3.85	2.97	4.75	1.90	2.36	1.10	0.87	0.62	0.72	0.66	0.32	0.10	0.52	0.55	0.68
H05	176	169	233	206	217	45.7	43.2	40.3	36.6	37.5	1.1	0.3	0.7	0.9	0.9
H06	3.06	1.71	2.30	0.71	0.84	5.81	3.68	2.81	4.05	1.59	0.40	0.42	0.56	0.50	0.45
H07	9.4	8.6	18.9	20.3	20.0	90	40	111	104	102	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
H08	0.64	0.38	0.32	0.10	0.12	1.51	0.94	0.39	0.62	0.35	0.15	0.22	0.25	0.12	0.17
H09	1.41	1.37	2.08	1.79	1.74	3.22	2.69	3.67	3.40	3.32	0.23	0.18	0.25	0.24	0.22
H10	0.32	0.24	0.04	0.06	0.05	0.55	0.46	0.18	0.37	0.21	0.14	0.12	0.14	0.13	0.14
H11	5.86	5.69	1.42	2.56	1.00	2.34	5.48	3.14	4.43	2.13	7.04	7.15	7.23	7.25	7.10
H12	0.16	0.07	0.01	0.04	0.03	0.19	0.13	0.00	0.06	0.01	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13
H13	5.56	5.69	6.16	4.30	4.33	6.47	5.92	2.50	4.18	2.02	1.73	1.42	1.82	1.63	1.71
H14	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.08	0.02	0.00	0.03	0.01	0.11	0.12	0.12	0.11	0.10
H15	0.51	0.49	0.52	0.58	0.51	0.43	0.45	0.62	0.71	0.53	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12

Etapa I: Condición de operación a plena carga

Etapa II: Condición de disminución de carga (con Compensador Síncrono y con Filtros del CS)

Desde 5 hr hasta 5:45 hr del 12/07, y desde 21:55 hrs. hasta 22:10 hr, del mismo día.

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (con Compensador Síncrono y sin filtro del CS)

Desde 5:50 hr hasta 18:50 hr del 12/07.

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin Compensador Síncrono y sin Filtros del CS)

Desde 18:55 hr hasta 20:50 hr del 12/07.

Etapa V: Condición de aumento de carga (con Compensador Síncrono y sin filtro del CS)

Desde 20:55 hr hasta 21:50 hr del 12/07.

Los resultados de las mediciones de armónicos realizadas en forma simultáneas en 04 puntos han determinado conocer los flujos de corrientes armónicas del sistema y las capacidades reales a las cuales están trabajando los filtros del SVC. Además comprueban la importancia de los condensadores síncronos de Antamina que amortigua las distorsiones armónicas del sistema, es decir los condensadores síncronos al elevar la potencia de cortocircuito y que por naturaleza de la topología de la red están amortiguando los armónicos.

Inversión: Antamina ha decidido adquirir analizadores de energía del tipo fijo que se encuentren monitoreando en todo momento parámetros de calidad de energía para mejorar el análisis de las diferentes perturbaciones que se pueden presentar en el sistema. En la primera etapa se está adquiriendo 02 analizadores del tipo fijo que asciende a 26,000 dólares.

Monitoreo: El anillo Vizcarra de un tiempo atrás ha tomado importancia dentro del sistema interconectado y está predispuesto a crecer con las instalaciones nuevas de las empresas mineras que se encuentran en la zona de influencia de esta parte de la sierra.

Antamina ha establecido un plan de monitoreo de armónicas y la verificación de la operación correcta de los filtros de armónicos del SVC y los instalados en 23 kV en Antamina. Este plan consiste en verificar que los filtros no se vean sobrecargados o desintonizados (fuera de resonancia con el sistema) por los cambios de topologías que se pueden presentar con las nuevas instalaciones y con ello nuevas cargas no lineales que pueden afectar la capacidad de los filtros. Así mismo Antamina antes de permitir el acceso al anillo Vizcarra solicita que se realice estudios de flujo de armónicos de las nuevas cargas interconectadas con el sistema y también deben de realizarse mediciones simultáneas de flujos de armónicas de las cargas nuevas aisladas para determinar el grado de influencia de las mismas.

Los estudios de armónicos deben de analizar las condiciones de resonancias en paralelo que se pueden presentar bajo ciertas topologías, las mismas que servirán para actualizar los procedimientos de maniobras.

Antamina solicita realizar mediciones de corrientes armónicas luego de interconectado los nuevos sistemas determinando de esta manera los flujos reales de corrientes armónicas.

En el gráfico 5.23 se muestra los flujos de las corrientes armónicas actuales para condiciones de incremento de carga con los condensadores síncronos y sin filtros de armónicos. Se observa que los armónicos de orden 5th y 7th se dirigen de Vizcarra a Antamina.

ETAPA V

CONDICION DE AUMENTO DE CARGA (SIN FILTRO 5ta. Y CON COMPENSADOR SINCRONO)

Desde las 20:55 hrs. hasta las 21:50 hrs. del 12/07/2005.

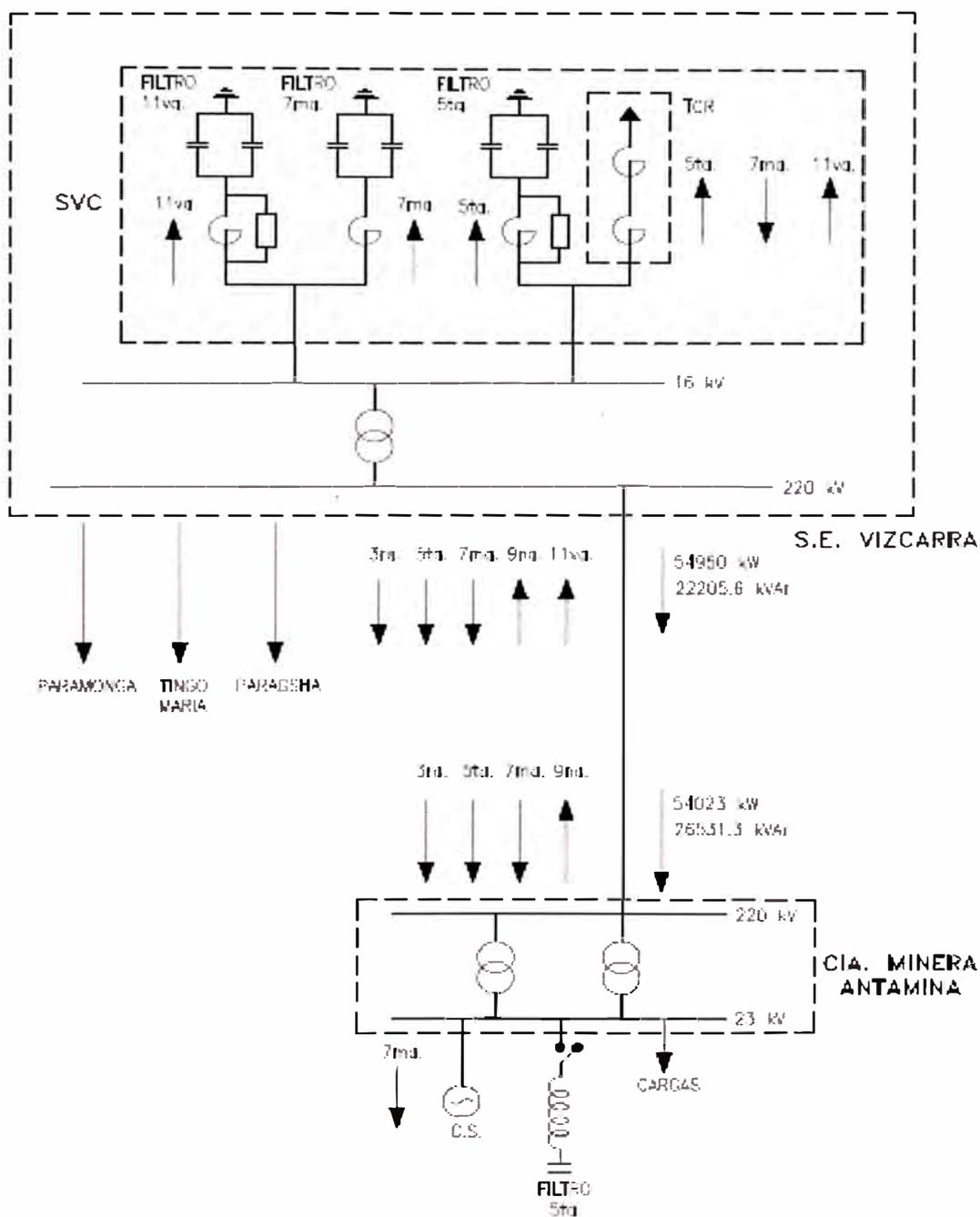


Gráfico 5.23 – Flujo de corrientes armónicas para condiciones de incremento de carga y con condensadores síncronos en servicio.

5.9.2 En los circuitos de las palas y perforadoras de la mina.

Diagnostico: La presencia de armónicos en los circuitos de las subestaciones portátiles de la mina en algunas oportunidades han causado fallas en los circuitos de control de algunos circuitos de bombeo y en algunos equipos de las propias palas y perforadoras.

Tecnología de control de las Palas

Conformado principalmente por un PLC (control lógico programable) y Dispositivo de Control SiBas (Siemens Bahn(tren) Automation Systems) que trabajan coordinadamente.

El PLC tiene el control de los modos de operación de la palas como son Crowd, Hoist, Swing y Propel.

El SiBas es usado para manejo de parámetros y puntos de prueba. Además que monitorea y controla los armónicos, mediante un lazo de control de generación y eliminación de armónicas mediante los métodos de filtros activos de potencia (FAP). Las aplicaciones de SiBas fue diseñado por Siemens Alemania y empleados en los trenes de última generación.

En el gráfico 5.24 se muestra el lazo de control y monitoreo de los parámetros de la red que deben ser compensados.

En los gráficos 5.25 y 5.26 se muestran formas de ondas distorsionadas por presencia de armónicos y método de eliminación de armónicas mediante la generación de las mismas con desfases opuestos respectivamente

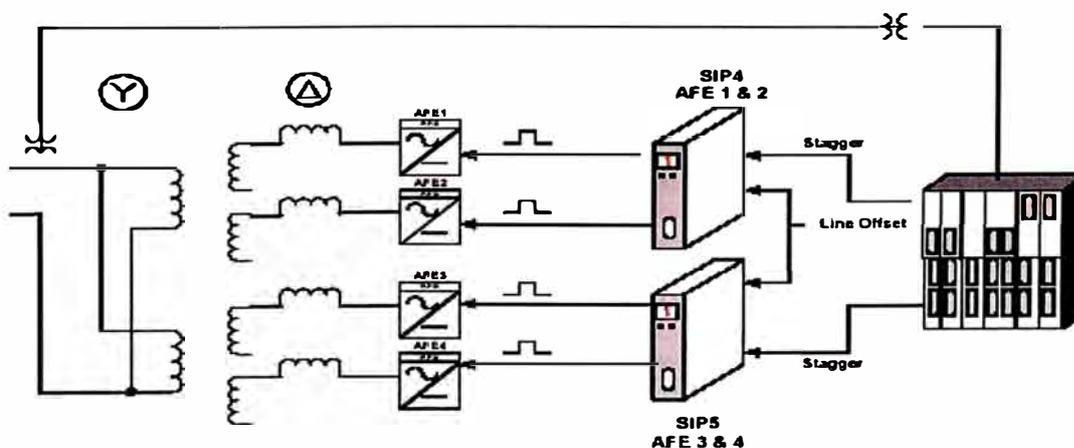


Gráfico 5.24 - Monitoreo y control de parámetros de la red.- Sibas.

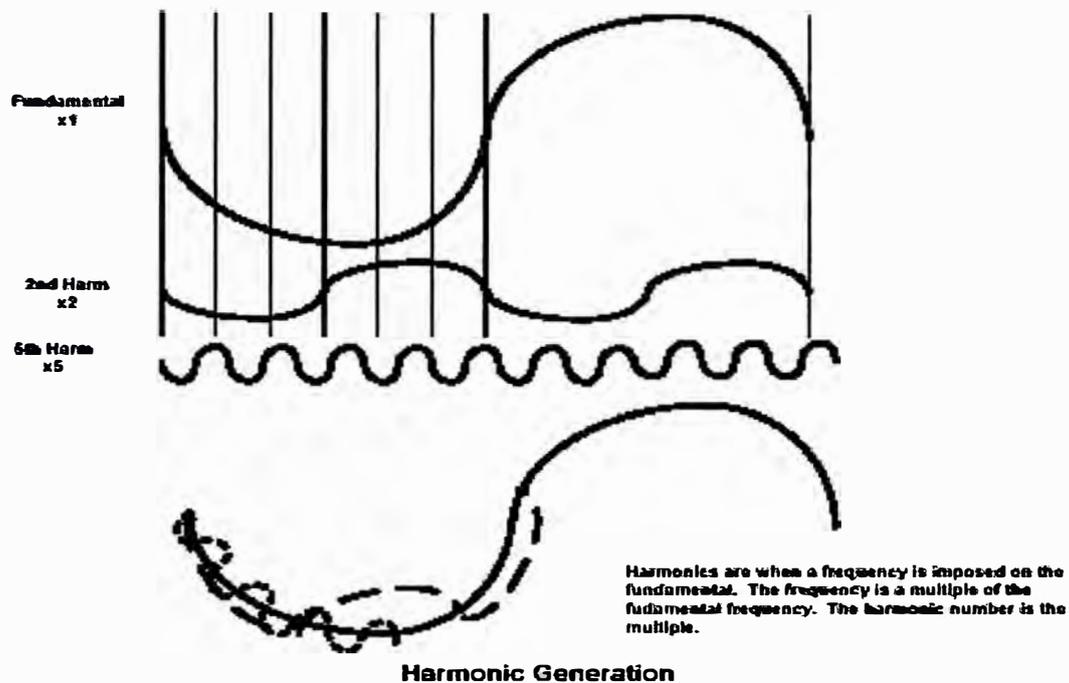


Gráfico 5.25 - Deformación de las ondas ante la presencia de los armónicos

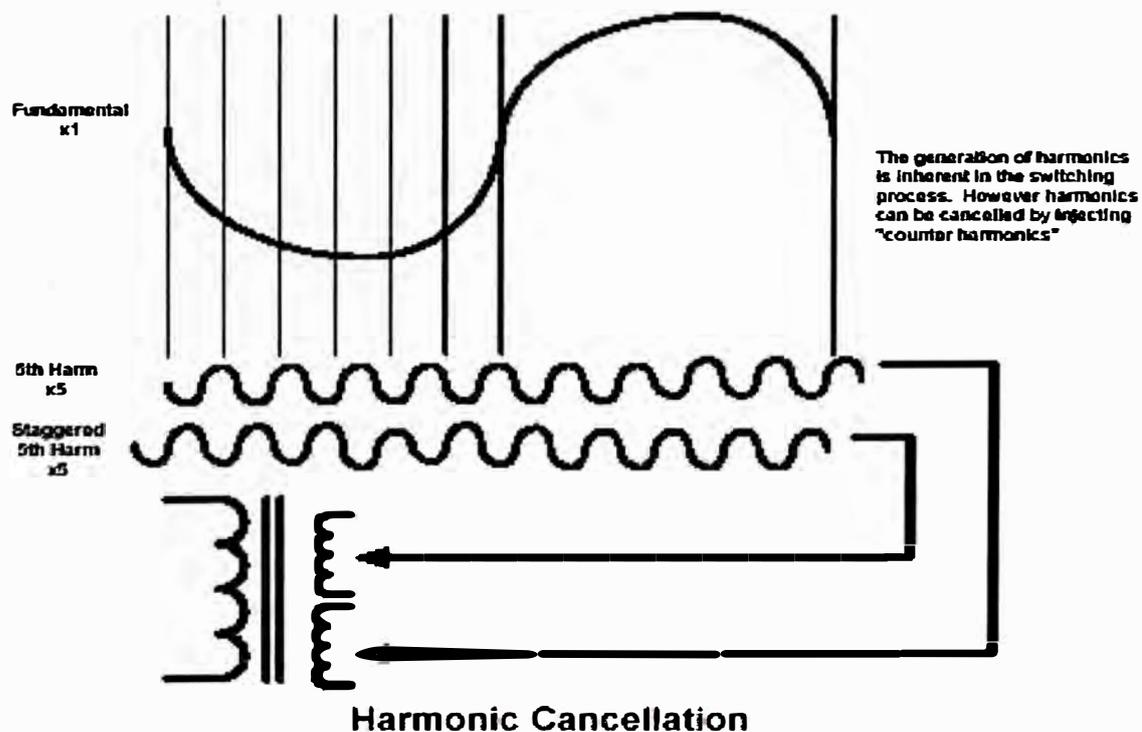


Gráfico 5.26 - Eliminación de armónicos mediante desfases opuestas

Plan de acción: Por lo complejo que resulta el control del sistema de electrónica de potencia de los varidores de los motores de las palas y perforadoras se plantea realizar mediciones simultáneas en diferentes puntos de los circuitos de potencia y control que pertenecen a la palas con el objetivo de obtener el flujo de corrientes armónicas presentes en las redes del circuito mina.

Por la información suministrada del fabricante las operaciones de las palas y perforadoras cuentan con un control y monitoreo activo de distorsiones armónicas, pero estas han sido diseñadas en condiciones estables y balanceadas de la red eléctrica y no necesariamente interconectadas con otras fuentes de armónicos que están presentes en las operaciones del complejo minero. Según los resultados de mediciones de armónicos realizados el 2002 se ha observado que existen distorsiones altas de corriente y tensiones cuando las palas operan en sus diferentes modos (son 4 modos) y tienen comportamientos temporales (del orden de segundos).

Con el inicio de mediciones se puede realizar estudios donde se modele la red completa para analizar las condiciones de resonancia para las diferentes topologías de la red porque las ubicaciones de las palas son dinámicas según lo que avanza la explotación del mineral. Las posibles resonancias causarían mucho daño a los equipos sensibles como son los de control, tarjetas electrónicas, Ups y otros.

Inversión: Se tiene previsto adquirir analizadores de redes para trabajos en línea. Esta inversión asciende a 20,000 dólares.

5.10 Línea de distribución 23 KV – Circuitos mina / otros

Diagnóstico: Las fallas ocurridas en los circuitos de 23 kV representan el 30% de las fallas totales que hacen que la planta concentradora salga fuera de servicio.

Alternativas de solución: Se han planteado las siguientes mejoras:

- Instalación de pararrayos en línea tipo TLA, hasta el 2005 se tiene instalado casi 280 pararrayos.
- Reemplazo de armados de postes por torres: En los circuitos principales aumentando la distancia de separación entre fase y fase a tierra.

- Mejoramiento de puesta a tierra: Se esta empleando cemento conductorio San Earth obteniendo valores bajos de resistencias de tierra.
- Colocación de mangas protectoras: se ha instalado mangas dieléctricas en lugares estratégicos para prevenir fallas por aves que ocasionaban cortocircuitos.
- Repotenciación de Subestaciones portátiles: Muchos de los equipos han fallado en el lapso de 5 años; las causas principales fueron el no correcto dimensionamiento del Nivel Básico de Aislamiento (BIL). Se ha realizado los análisis correspondientes y se ha iniciado con la repotenciación de dos subestaciones portátiles de 10 MVA cada una y con equipos preparados para 38 KV, 15 KV y BIL de 200 KV respectivamente.

Inversión: Para las propuestas realizadas el costo de inversión asciende a 600,000 dólares

Monitoreo: Luego de implementado las mejoras se tiene que obtener una reducción drástica en las salida de los molinos

5.11 Instalación de apartarrayos activos – Mejora de protección contra descargas atmosféricas

Diagnóstico: Las operaciones del complejo minero se desarrolla en lugares donde se tiene un alto índice isoceraúnico que sobrepasan las 60 tormentas/ km² – año. La protección del las personas y equipos son para Antamina tan importantes como la producción misma razón por la cual se ha decidido realizar estudios que evalúen el comportamiento de los pararrayos existentes desde el proyecto. El estudio realizado ha determinado que no se esta protegido al 100 % y que la mayoría de pararrayos son el tipo Franklin que no necesariamente están correctamente instalados según normas internacionales.

Alternativa de solución: Se ha trabajado directamente con los fabricantes de pararrayos INDELEC de Francia y se tiene zonificado las áreas donde se debe de instalar pararrayos del tipo Pevectron que cuentan con tecnología reciente y con buenos resultados en Estados Unidos. Japón, Francia, Brasil y otros países asiáticos.

Campo eléctrico

Durante una tormenta, el valor del campo eléctrico aumenta radicalmente hasta un valor de varios kV/m. Esta intensificación provoca la aparición de un efecto corona a la cima de las puntas mas altas (mástiles, edificios, árboles...). Para que el aire se vuelva conductor (arco eléctrico), el campo debe alcanzar unos 10kV/m

En los gráficos 5.27 y 5.28 se muestran los *traceadores* ascendentes y descendentes que se unen provocando la descarga

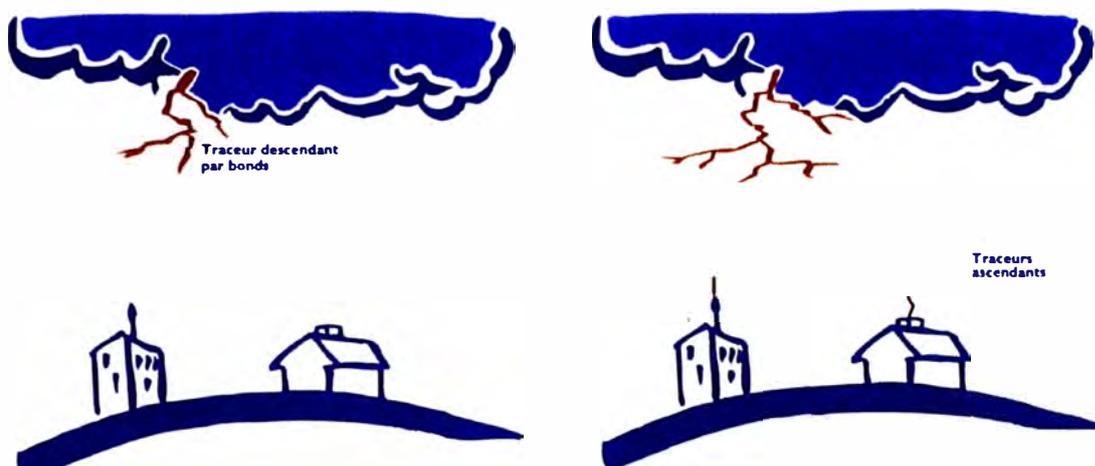


Gráfico 5.27 – Traceadores ascendentes y descendentes

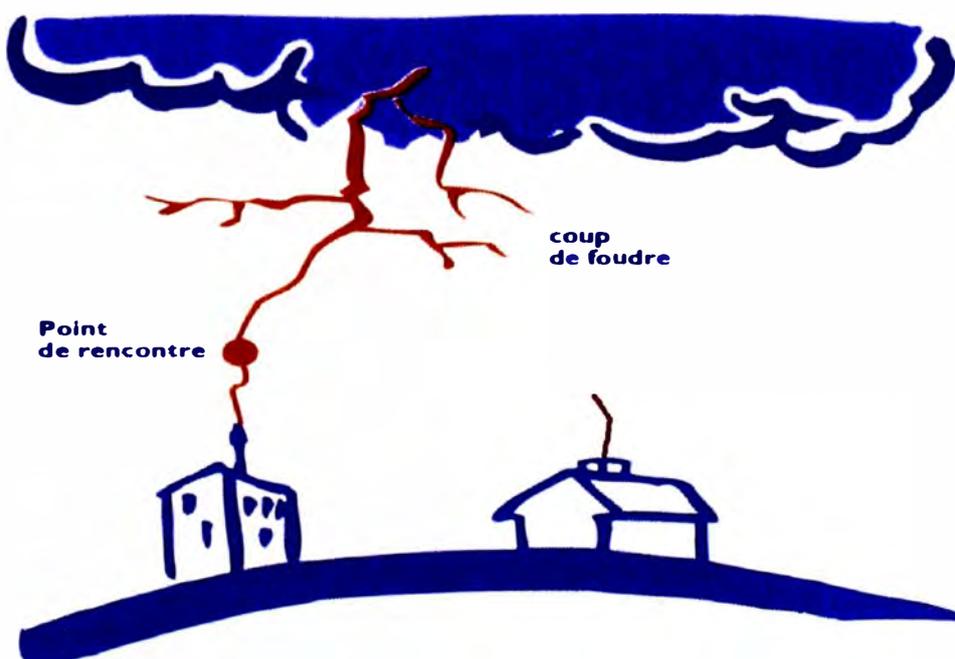
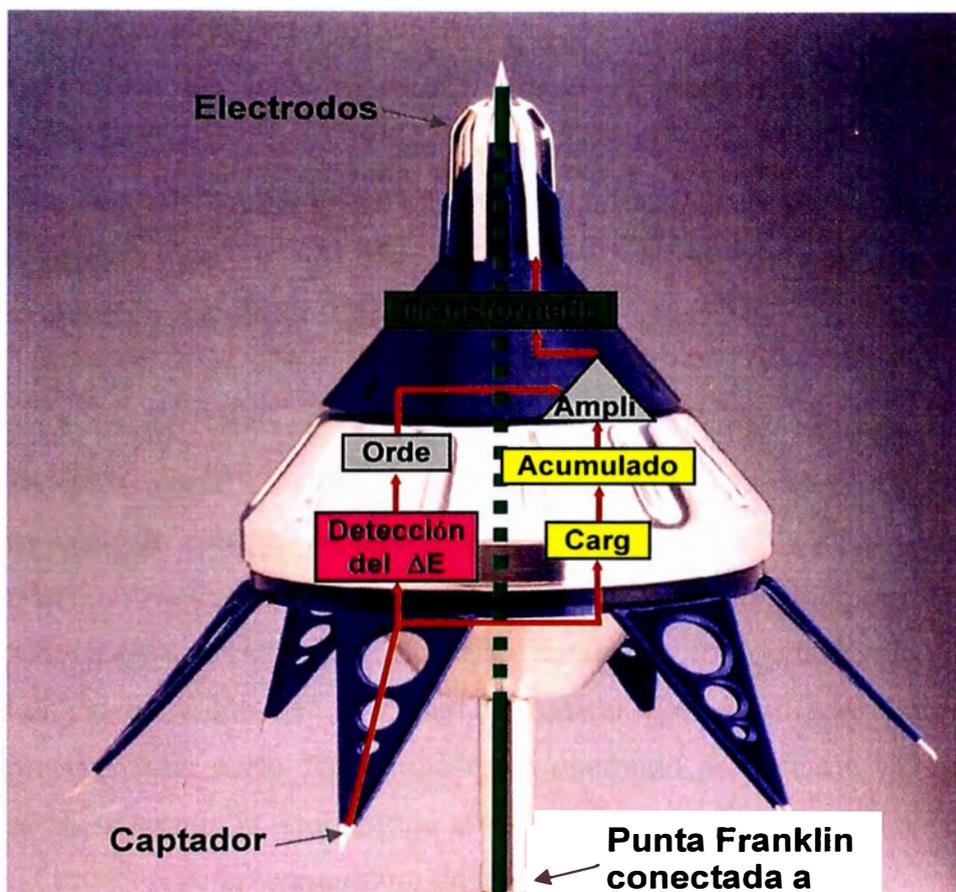


Gráfico 5.28 – Efecto de descarga atmosférica

Pararrayo Pevectron de Indelec

Es un pararrayo con dispositivo de cebado autónomo. Cuando existe presencia de cambios de campos eléctricos, estos hacen operar el circuito interno del pararrayo generando los traceadores ascendentes que buscan a los descendentes y captarán la descarga.

En el gráfico 5.29 se muestra los componentes internos del pararrayo activo.



En el gráfico 5.29 Pararrayo Pevectron y sus componentes internos.

Ventajas del Pevectron

- Probado en laboratorio de alta tensión.
- Probado en condiciones naturales (Estaciones de pruebas en EEUU y Brasil).
- Funcionamiento en fase con el campo eléctrico.
- Continuidad eléctrica de la punta hasta la tierra.
- Sistema eléctrico autónomo.
- Gama extendida de tiempo de cebado (ΔT).

- Conforme con las normas internacionales existentes.

Eficacia del PREVECTRON®

Del 90% durante la primera campaña de pruebas en 1998, los resultados han pasado a 100% con el Prevelectron®2 *Millenium* durante la campaña de 2001.

Fiabilidad del PREVECTRON®

Varios rayos de mas de 200 kA fueron registrados sin dañar los componentes internos del Prevelectron (para información, la intensidad media de los rayos son de 35 kA en Florida y 50 kA en Brasil).

Inversión: Según el estudio realizado se propone invertir en la primera etapa 60,000 dólares.

Monitoreo: Los pararrayos cuentan con dispositivos de monitoreo que determinan la operatividad y además con dispositivo de contador de descargas para su evaluación real de su operatividad.

5.12 Análisis de los problemas de aislamiento en los motores importantes

Diagnóstico: El aislamiento de los motores principales que corresponden a los molinos de bolas ha fallado en un periodo menor a 5 años. La clase aislamiento de estos motores son del tipo F (para 155 C) pero han fallado prematuramente.

Alternativa de solución: Se ha evaluado los comportamientos de operaciones de las cargas y las temperaturas de trabajo. Los resultados han indicado que los motores gran parte del tiempo están operando por encima y/o igual a su potencia nominal siendo la temperatura un factor importante en la vida del aislamiento.

Evaluación de la temperatura de trabajo

De los registros de temperaturas se han observado que las temperaturas en los bobinados llegan hasta 115 C y por las condiciones de las presiones atmosféricas para alturas mayores de 4000 m.s.n.m. el aire existente en el entrehierro no se comporta como si se estuviera trabajando a menos de 1000 m.s.n.m.

En conclusión las temperaturas Hot Spot de los motores se ven incrementas por las condiciones del aire, es decir no contribuyen a mejorar la ventilación del bobinado que se manifiesta en la degradación del aislamiento y falla prematura.

Mejorar el sistema de enfriamiento

Se plantea mejorar la eficiencia de la ventilación realizando modificaciones en los grados de refrigeración, es decir se debe bajar el nivel de temperatura en el sistema enfriamiento y/o trabajar coordinadamente con el fabricante para diseñar un eficiente sistema de enfriamiento. También se debe de trabajar con el departamento de operaciones concentradora para concienciar al personal sobre los modos correctos y seguros de operación para los motores.

CAPÍTULO VI EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1 Introducción

En este capítulo se realizará la evaluación económica de las inversiones a realizar para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de potencia del complejo minero. Estas mejoras tienen como objetivos disminuir las salidas de los cicloconvertidores que pertenecen a los molinos y variadores de media lográndose mejorar la disponibilidad de la planta concentradora y superando metas de producción.

6.2 Parámetros medibles

Se define como parámetros medibles a todos aquellos que se pueden cuantificar económicamente representados en dólares. Los parámetros medibles para el presente trabajos son:

- No operación de los Molinos: con los precios actuales de los minerales se estima que por hora de parada se deja de ganar \$ 400,000. La no operación de los molinos prácticamente hace que la planta concentradora no opere.
- Salida de la línea de mina en 23 KV: se estima que por hora de no disponibilidad se deja de ganar \$ 40,000.
- Salida de línea L2255: paraliza todas las operaciones en la mina y su no disponibilidad por hora está calculada en \$500,000.

6.3 Parámetros no medibles

Estos parámetros no se pueden cuantificar económicamente pero se sabe que la operación anormal de estos aumenta el riesgo de falla definitiva. En este grupo se encuentran los equipos de potencia como son:

- Interruptores de potencia: disminuyen su vida útil cuando son sometidos a muchas aperturas con corrientes de cortocircuito

- Aislamiento de equipos: Las sobre tensiones temporales durante las fallas monofásicas reducen la vida útil de los equipos.

Dependiendo dónde se encuentren estos equipos comprometerán en forma parcial o total la producción en la planta.

6.4 Análisis de las inversiones

En el presente análisis se ha tenido en cuenta la estadística de fallas que comprometen la salida de los molinos. En la tabla 6.1 se muestra el resumen de fallas registradas del 2002 al 2006

Tabla 6.1 – Estadística de fallas en 220 kV y 23 kV del 2002 al 2006

Líneas	Número de fallas				
	AÑOS				
	2002	2003	2004	2005	2006
L2251 : Tingo Maria - Aguaytia	4	2	3	0	4
L2252 : Vizcarra - Tingo Maria	6	2	6	6	1
L2253 : Vizcarra - Paramonga	0	3	3	1	4
L2254 : Vizcarra - Paragsha	4	3	8	9	3
L2255 : Vizcarra – Antamina (*)	1	3	2	0	0
Circuito Mina - 23 KV (*)	6	4	8	11	4
Circuito Seepage - Huincush - 23 KV (*)	0	1	1	1	0
TOTAL:	21	18	31	28	16

114

Total
registrado.

Nota:

(*): Son circuitos que pertenecen a Antamina.

En la tabla se observa que muchas de las fallas se producen en líneas que pertenecen a otras empresas y que la aplicación de las mejoras dependen de la aceptación de las mismas, para luego implementarlas.

Las propuestas de las mejoras deben ser implementadas al 100% en los próximos 2 años para garantizar la reducción drástica de las fallas que se han explicado en los capítulos anteriores.

Las inversiones deben cumplir con el análisis Beneficio Vs Costo, siendo rentable para valores mayores que la unidad según la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} > 1$$

En la tabla 6.2 se muestran los proyectos de mejoras con las inversiones y cálculos de Beneficio / Costo, considerando que la no disponibilidad de los molinos asciende a un costo de \$400,000 dólares por hora.

Tabla 6.2 – Inversiones y análisis Beneficio / Costo

	Inversión (\$)	Beneficio/ Costo	Proyecto Rentable para 1 falla
Instalación de Pararrayos TLA en 22° KV	135,000	2.9	Cumple
Mejoramiento de puesta a tierra en L2255	28,000	14.3	Cumple
Compra de 02 torres de emergencia	150,000	2.6	Cumple
Mejoramiento sistema de control del SVC	150,000	2.6	Cumple
Estudio de estabilidad sin SVC	50,000	8	Cumple
Mejoramiento en filosofía de control del PFC	0		Cumple
Instalación de fusibles Ultra rápidos	140,000	2.8	Cumple
Estudios de armónicos en el circuito mina	20,000	20	Cumple
Instalación de pararrayos TLA en 23 KV	84,000	4.7	Cumple
Repontenciación de 02 subestaciones portátiles	600,000	1.33	Cumple (para 2 fallas)
Instalación de apartarrayos activos	60,000	6.6	Cumple
Inversión total	1,417,000	1.12	Cumple (para 4 fallas)

Nota Importante: Luego de la salida de los molinos por fallas en el sistema de potencia toma de 1 a 1.5 hr en reponer completamente la planta concentradora.

Según lo mostrado en la tabla 6.2 las propuestas son rentables y aumentan la disponibilidad de los molinos aumentando la producción de concentrado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los capítulos previos se ha expuesto la teoría de los sistemas de potencia y compensaciones eléctricas en general. Se ha detallado el sistema de potencia para la operación del complejo minero, analizando las perturbaciones y limitaciones de los sistemas de compensaciones para luego plantear alternativas de soluciones a los diferentes casos plenamente identificados y complementados con una evaluación económica para determinar su factibilidad e implementación de los mismos.

Las conclusiones importantes del presente trabajo son las siguientes

1. Es posible mitigar el número de perturbaciones que afectan la disponibilidad de los molinos implementando las alternativas de soluciones en los sistemas de potencia involucrados a las subestaciones Vizcarra y Antamina.
2. La realización del estudio de estabilidad y comportamiento de armónicos sin el SVC va a determinar las ratificaciones y / o modificaciones de los procedimientos de maniobras a emplear en las subestaciones de Vizcarra y Antamina
3. La implementación de mejora en la filosofía de control del sistema PFC (Power Factor Correction) reducirá tiempo valioso para el arranque de la planta concentradora.
4. La instalación de pararrayos tipo TLA en las líneas de 220 kV y 23 kV reducirán las perturbaciones transitorias producidas por las descargas atmosféricas en el sistema de potencia del complejo minero.
5. El mejoramiento de la puesta a tierra con cemento conductor ha demostrado la efectividad en los resultados consiguiendo valores de resistencias menores a 15 ohmios. Además que dificulta el robo de estos sistemas logrando que el mantenimiento tenga mayor intervalo de inspección.

6. De las fallas prematuras de los equipos de potencia se ha determinado que el nivel básico de aislamiento (BIL) para los equipos de 23 kV debe ser 200 kV.
7. La instalación de fusibles ultra rápidos van a reducir las perturbaciones de cortocircuito que se pueden presentar en los circuitos de la mina, logrando despejar la falla en el orden de 8 milisegundos y evitando la salida de los molinos.
8. Las repotenciaciones de las subestaciones portátiles de mina van a aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los mismos.
9. La instalación de apartarrayos activos protegerán mejor a las personas, equipos, y edificios que se encuentran dentro de la zona de operaciones del complejo minero.
10. La evaluación económica de las propuestas de mejoras son rentables y se recuperan cuando evitan 4 salidas de los molinos. Este análisis se ha realizado con los precios actuales de los minerales.
11. El entrenamiento permanente del personal de operaciones y mantenimiento de sistema de potencia va a contribuir en la solución de los problemas en tiempos aceptables.

Las recomendaciones que se plantean son las siguientes:

12. Antes de permitir el acceso a nuevas líneas o cargas al anillo de la subestación Vizcarra se debe de realizar estudios de armónicos y respuestas de impedancias en función de la frecuencia con el fin de identificar y prevenir las posibles resonancias que se puedan presentar en el sistema de potencia.
13. Actualizar los sistemas operativos del control del SVC implementando redundancias que aumenten la confiabilidad de la operación.
14. En el circuito de mina se debe realizar estudios detallados de los niveles de armónicos para prever fallas a los equipos de control que se encuentren en dichos sistemas.
15. El Ministerio de Energía y Minas deberá de actualizar las normas de calidad de energía donde contemplen la mitigación de perturbaciones transitorias, porque el desarrollo del país está fuertemente comprometido con las operaciones de nuevas minas y estas cuentan con equipos de electrónica de potencia de última

generación que exigen límites en los parámetros de calidad de energía para su eficiente operación.

ANEXO A
ESCENARIOS ANALIZADOS PARA FLUJO DE CARGA Y
CORTOCIRCUITO

Table 2 - Short Circuit Results

Case #	Antamina				CNIS					AEDP						3-phase Short Circuit MVA			Case #
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2	Viz. 220 kV	Ant. 220 kV	Ant. 23 kV	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	768	604	488	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	730	583	476	2
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	730	583	475	3
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	690	560	461	4
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	598	506	429	5
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	514	452	392	6
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	725	581	474	7
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	687	559	461	8
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	683	557	459	9
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	645	534	445	10
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	556	480	411	11
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	470	422	371	12
13	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	746	592	481	13
14	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	708	571	468	14
15	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	708	571	468	15
16	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	668	548	454	16
17	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	575	492	420	17
18	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	492	437	382	18
19	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	470	422	371	19
20	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	492	437	382	20
21	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	345	328	301	21
22	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	315	303	282	22
23	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	285	279	264	23
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	514	452	392	24
25	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	696	564	464	25
26	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	658	542	450	26

120

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				3-phase Short Circuit MVA			Case #		
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2	Viz. 220 kV		Ant. 220 kV	Ant. 23 kV
27	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	653	539	448	27
28	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	616	516	434	28
29	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	440	401	356	29
30	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	709	572	469	30
31	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	669	549	455	31
32	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	534	466	402	32
33	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	633	528	442	33
34	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	575	492	419	34
35	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	452	410	365	35
36	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	762	599	429	36
37	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	723	578	420	37
38	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	590	500	388	38
39	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	730	561	442	39
40	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	692	541	429	40
41	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	562	465	383	41
42	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	689	517	396	42
43	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	652	496	384	43
44	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	523	423	339	44
45	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	665	0	0	45
46	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	638	0	0	46
47	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	515	0	0	47
48	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	587	499	423	48
49	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	519	455	394	49
50	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	401	372	337	50
51	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	640	531	444	51
52	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	600	507	428	52
53	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	462	417	368	53
54	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	689	520	336	54
55	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	652	500	328	55

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				SROS		3-phase Short Circuit MVA			Case #
	Viz.-Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.-Para. Line	Para.-Chim. Line 1	Para.-Chim. Line 2	Para.-Zapa. Line 1	Para.-Zapa. Line 2	Viz.-T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2	Viz. 220 kV	Ant. 220 kV	Ant. 23 kV	
56	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	523	426	298	56
57	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	618	480	320	57
58	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	580	459	311	58
59	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	454	381	278	59
60	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	652	499	326	60
61	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	611	476	318	61
62	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	441	372	272	62
63	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	590	463	312	63
64	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	538	433	299	64
65	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	370	323	248	65
66	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	453	379	311	66
67	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	335	297	255	67
68	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	247	230	205	68

Table 3 - Power Flow Results

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				SROS		Power Flow				Case #
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2	Ant. 220 Voltage	Ant. 23 Voltage	Min. Load % to Fix	Recom. Load % to Fix	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			2
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0.9909	1.0227			3
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0.9909	1.0227			4
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			5
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0.9909	1.0227			6
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			7
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			8
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0.9909	1.0227			9
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0.9909	1.0227			10
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			11
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0.9909	1.0227			12
13	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			13
14	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			14
15	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0.9903	1.0221			15
16	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0.9909	1.0227			16
17	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			17
18	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0.9909	1.0227			18
19	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0.9909	1.0227			19
20	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0.9909	1.0227			20
21	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			21
22	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0.9909	1.0227			22
23	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			23
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0.9909	1.0227			24
25	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			25
26	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			26

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				Power Flow				Case #		
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2	Ant. 220 Voltage	Ant. 23 Voltage		Min. Load % to Fix	Recom. Load % to Fix
27	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0.9871	1.0192			27
28	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0.9909	1.0227			28
29	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0.9909	1.0227			29
30	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0.9909	1.0227			30
31	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0.9909	1.0227			31
32	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			32
33	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0.9909	1.0227			33
34	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0.9909	1.0227			34
35	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			35
36	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9886	1.0002			36
37	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9886	1.0002			37
38	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9886	1.0002			38
39	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			39
40	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			40
41	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			41
42	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			42
43	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			43
44	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			44
45	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9909	1.0227			45
46	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9909	1.0227			46
47	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			47
48	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0.9909	1.0227			48
49	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0.9909	1.0227			49
50	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			50
51	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0.9909	1.0227			51
52	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0.9909	1.0227			52
53	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			53
54	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.9822	0.9805			54
55	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0.9822	0.9805			55

134

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				Power Flow				Case #		
	Viz.-Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.-Para. Line	Para.-Chim. Line 1	Para.-Chim. Line 2	Para.-Zapa. Line 1	Para.-Zapa. Line 2	Viz.-T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2	Ant. 220 Voltage	Ant. 23 Voltage		Min. Load % to Fix	Recom. Load % to Fix
56	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0.9822	0.9805			56
57	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0.9793	0.9768			57
58	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0.9822	0.9805			58
59	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0.9822	0.9805			59
60	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0.9481	0.9353	-1%	-2%	60
61	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0.9822	0.9805			61
62	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0.9822	0.9805			62
63	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	Blown Up		-8%	-10%	63
64	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0.9822	0.9805			64
65	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0.9822	0.9805			65
66	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			66
67	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			67
68	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.9909	1.0227			68

ANEXO B
ESCENARIOS ANALIZADOS EN ESTADO DINÁMICO PARA DISEÑO
DEL SVC

Table 4 - Dynamics Results

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				SROS		Dynamics	Case #
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/ 23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Antamina voltage ok. System stable.	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Antamina voltage ok. System stable.	2
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 12% needed to meet voltage criteria, but will cause Aguaytia generator to overspeed further and trip.	3
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	Aguaytia generator underspeeds, will trip on under-frequency protection.	4
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	System collapses.	5
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	System collapses	6
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	Antamina voltage ok. System stable.	7
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	Antamina voltage ok. System stable.	8
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 15% needed to meet voltage criteria, but will cause Aguaytia generator to overspeed further and trip.	9
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	Aguaytia generator underspeeds, will trip on under-frequency protection.	10
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	System collapses	11
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	System collapses	12
13	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	Antamina voltage ok. System stable.	13
14	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	Antamina voltage ok. System stable.	14
15	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 16% needed to meet voltage criteria, but will cause Aguaytia generator to overspeed further and trip.	15

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				SROS		Dynamics	Case #
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2		
16	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	Aguaytia generator underspeeds, will trip on under-frequency protection.	16
17	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	System collapses	17
18	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	System collapses	18
19	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	System collapses	19
20	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	System collapses	20
21	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	System collapses	21
22	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	System collapses	22
23	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	System collapses	23
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	System collapses	24
25	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	Antamina voltage ok, but growing system oscillations.	25
26	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	Antamina voltage ok. System stable.	26
27	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 19% needed to meet voltage criteria, but will cause Aguaytia generator to overspeed further and trip.	27
28	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	Aguaytia generator underspeeds, will trip on under-frequency protection.	28
29	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	System collapses	29
30	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	Antamina voltage ok. System stable.	30
31	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	Antamina voltage ok. System stable.	31
32	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	System collapses	32
33	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	Antamina voltage ok. System stable.	33
34	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	Aguaytia generator becomes unstable and voltage collapses. Pre-disturbance load curtailment of 5% needed to meet system stable, but Aguaytia generator still underspeeds.	34
35	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	System collapses	35

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				SROS		Dynamics	Case #
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2		
36	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Antamina voltage ok. System stable.	36
37	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Antamina voltage ok. System stable.	37
38	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	System collapses	38
39	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Antamina voltage ok. System stable.	39
40	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Antamina voltage ok. System stable.	40
41	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	System collapses	41
42	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Antamina voltage ok. System stable.	42
43	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Antamina voltage ok. System stable.	43
44	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	System collapses	44
45	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Not Applicable.	45
46	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0		46
47	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1		47
48	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	Antamina voltage ok. System stable.	48
49	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	Aguaytia generator becomes unstable and voltage collapses. Pre-disturbance load curtailment of 9% needed to meet system stable, but Aguaytia generator still underspeeds.	49
50	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	System collapses	50
51	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	Antamina voltage ok. System stable.	51
52	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	Antamina voltage ok. System stable.	52
53	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	System collapses	53
54	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Aguaytia generator becomes unstable and voltage collapses. Pre-disturbance load curtailment of 10% needed to meet system stable.	54
55	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	Aguaytia generator becomes unstable and voltage collapses. Pre-disturbance load curtailment of 8% needed to meet system stable.	55

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				SROS		Dynamics	Case #
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/ 23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	SROS Gen. 1	SROS Gen. 2		
56	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	6-Cycle SLG fault at Vizcarra, reclosing into fault and loss of Vizcarra – Paramonga line. System collapses	56
57	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	Aguaytia generator becomes unstable and voltage collapses. Pre-disturbance load curtailment of 12% needed to meet system stable, with growing oscillations.	57
58	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	Aguaytia generator becomes unstable and voltage collapses. Pre-disturbance load curtailment of 9% needed to meet system stable.	58
59	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	System collapses.	59
60	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 35% needed to meet voltage criteria, but will likely cause Aguaytia generator to overspeed further and trip.	60
61	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 12% needed to meet voltage criteria, but Aguaytia generator will still underspeed and trip.	61
62	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	System collapses	62
63	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 39% needed to meet voltage criteria, but will likely cause Aguaytia generator to overspeed further and trip.	63
64	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	Antamina voltage low on recovery. Pre-disturbance load curtailment of 14% needed to meet voltage criteria, but Aguaytia generator will still underspeed and trip.	64
65	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	System collapses	65

Case #	Antamina				CNIS					AEDP				SROS		Dynamics	Case #
	Viz.- Ant. Line	Sync Cond. 1	Sync Cond. 2	Ant. 220/ 23 Trf. 2	Viz.- Para. Line	Para.- Chim. Line 1	Para.- Chim. Line 2	Para.- Zapa. Line 1	Para.- Zapa. Line 2	Viz.- T.M. Line	Agua. Gen. 1	Agua. Gen. 2	T.M. Trf.	Gen. 1	Gen. 2		
66	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	6-Cycle SLG fault at Vizcarra, reclosing into fault and loss of Vizcarra – Paramonga line.	66
67	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	System collapses	67
68	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	System collapses	68

ANEXO C
ESCENARIOS ANALIZADOS DE LOS ARMÓNICOS

Table 1 Operation Study Frequency Scan Case List

Case #	Vizcarra-Antamina Line Connected	Sync Cond.	Antamina 220/23-kV Transformer	Central Northern Interconnected System (SICN)			Aguaytia Energy Del Peru System (AEDP)		
				Vizcarra-Paramonga Line L253 Connected	Paramonga-Chimbote # Lines Connected	Paramonga-Zapallal # Lines Connected	Vizcarra-Tingo Maria Line L252 Connected	Aguaytia Number of Generators Operating	Tingo Maria Auto Trfmr Circuit Brkr #5 Closed
1	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	2	Yes
2	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	1	Yes
3	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	2	No
4	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	1	No
5	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	0	Yes
6	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	0	No
7	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	2	Yes
8	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	1	Yes
9	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	2	No
10	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	1	No
11	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	0	Yes
12	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	0	No
13	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	2	Yes
14	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	1	Yes
15	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	2	No
16	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	1	No
17	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	0	Yes
18	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	0	No
19	Yes	2	2	Yes	2	1	No	N/A	N/A
20	Yes	2	2	Yes	1	2	No	N/A	N/A
21	Yes	2	2	No	N/A	N/A	Yes	2	Yes
22	Yes	2	2	No	N/A	N/A	Yes	2	No
23	Yes	2	2	No	N/A	N/A	Yes	1	Yes

Table 1 Operation Study Case List - Continued

Case #	Vizcarra-Antamina Line Connected	Sync. Cond.	Antamina 220/23-kV Transformer	Central Northern Interconnected System (SICN)			Aguaytia Energy Del Peru System (AEDP)		
				Vizcarra-Paramonga Line L.253 Connected	Paramonga-Chimbote # Lines Connected	Paramonga-Zapallal # Lines Connected	Vizcarra-Tingo Maria Line L.252 Connected	Aguaytia Number of Generators Operating	Tingo Maria 220/138 Connected
24	Yes	2	2	Yes	2	2	No	0	N/A
25	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	2	Yes
26	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	1	Yes
27	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	2	No
28	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	1	No
29	Yes	2	2	Yes	1	1	No	0	N/A
30	Yes	2	2	Yes	0	2	Yes	2	Yes
31	Yes	2	2	Yes	0	2	Yes	1	Yes
32	Yes	2	2	Yes	0	2	Yes	0	Yes
33	Yes	2	2	Yes	2	0	Yes	2	Yes
34	Yes	2	2	Yes	2	0	Yes	1	Yes
35	Yes	2	2	Yes	2	0	Yes	0	Yes
36	Yes	2	1	Yes	2	2	Yes	2	Yes
37	Yes	2	1	Yes	2	2	Yes	1	Yes
38	Yes	2	1	Yes	2	2	Yes	0	Yes
39	Yes	1	2	Yes	2	2	Yes	2	Yes
40	Yes	1	2	Yes	2	2	Yes	1	Yes
41	Yes	1	2	Yes	2	2	Yes	0	Yes
42	Yes	0	2	Yes	2	2	Yes	2	Yes
43	Yes	0	2	Yes	2	2	Yes	1	Yes
44	Yes	0	2	Yes	2	2	Yes	0	Yes
45	No	N/A	N/A	Yes	2	2	Yes	2	Yes
46	No	N/A	N/A	Yes	2	2	Yes	1	Yes
47	No	N/A	N/A	Yes	2	2	Yes	0	Yes
48	Yes	2	2	Yes	1	0	Yes	2	Yes
49	Yes	2	2	Yes	1	0	Yes	1	Yes
50	Yes	2	2	Yes	1	0	Yes	0	Yes
51	Yes	2	2	Yes	0	1	Yes	2	Yes
52	Yes	2	2	Yes	0	1	Yes	1	Yes
53	Yes	2	2	Yes	0	1	Yes	0	Yes
54	Yes	0	1	Yes	2	2	Yes	2	Yes
55	Yes	0	1	Yes	2	2	Yes	1	Yes
56	Yes	0	1	Yes	2	2	Yes	0	Yes
57	Yes	0	1	Yes	1	1	Yes	2	Yes
58	Yes	0	1	Yes	1	1	Yes	1	Yes
59	Yes	0	1	Yes	1	1	Yes	0	Yes

Case #	Vizcarra-Antamina Line Connected	Sync. Cond.	Antamina 220/23-kV Transformer	Central Northern Interconnected System (SICN)			Aguaytia Energy Del Peru System (AEDP)		
				Vizcarra-Paramonga Line L253 Connected	Paramonga-Chimbote # Lines Connected	Paramonga-Zapallal # Lines Connected	Vizcarra-Tingo Maria Line L252 Connected	Aguaytia Number of Generators Operating	Tingo Maria 220/138 Connected
60	Yes	0	1	Yes	2	2		2	No
61	Yes	0	1	Yes	2	2		1	No
62	Yes	0	1	Yes	2	2	Yes	0	No
63	Yes	0	1	Yes	1	1	Yes	2	No
64	Yes	0	1	Yes	1	1	Yes	1	No
65	Yes	0	1	Yes	1	1	Yes	0	No

Harmonic Performance Verification Case List

Case #	Vizcarra-Antamina Line Connected	Sync. Cond.	Antamina 220/23-kV Transformer	Central Northern Interconnected System (SICN)			Aguaytia Energy Del Peru System (AEDP)		
				Vizcarra-Paramonga Line 1.253 Connected	Paramonga-Chimbote # Lines Connected	Paramonga-Zapallal # Lines Connected	Vizcarra-Tingo Maria Line 1.252 Connected	Aguaytia Number of Generators Operating	Tingo Maria Auto Trfmr Circuit Brkr #5 Closed
1	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	2	Yes
2	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	1	Yes
3	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	2	No
4	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	1	No
5	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	0	Yes
6	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	0	No
7	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	2	Yes
8	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	1	Yes
9	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	2	No
10	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	1	No
11	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	0	Yes
12	Yes	2	2	Yes	2	1	Yes	0	No
13	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	2	Yes
14	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	1	Yes
15	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	2	No
16	Yes	2	2	Yes	2	2	Yes	1	No
17	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	0	Yes
18	Yes	2	2	Yes	1	2	Yes	0	No
19	Yes	2	2	Yes	2	1	No	N/A	N/A
20	Yes	2	2	Yes	1	2	No	N/A	N/A
21	Yes	2	2	No	N/A	N/A	Yes	2	Yes
22	Yes	2	2	No	N/A	N/A	Yes	2	No
23	Yes	2	2	No	N/A	N/A	Yes	1	Yes

Harmonic Performance Verification Case List - Continued

Case #	Vizcarra-Antamina Line Connected	Sync. Cond.	Antamina 220/23-kV Transformer	Central Northern Interconnected System (SICN)			Aguaytia Energy Del Peru System (AEDP)		
				Vizcarra-Paramonga Line L253 Connected	Paramonga-Chimbote # Lines Connected	Paramonga-Zapallal # Lines Connected	Vizcarra-Tingo Maria Line L252 Connected	Aguaytia Number of Generators Operating	Tingo Maria Auto Trfmr Circuit Brkr #5 Closed
24	Yes	2	2	Yes	2	2	No	N/A	N/A
25	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	2	Yes
26	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	1	Yes
27	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	2	No
28	Yes	2	2	Yes	1	1	Yes	1	No
29	Yes	2	2	Yes	1	1	No	N/A	N/A
30	Yes	2	2	Yes	0	2	Yes	2	Yes
31	Yes	2	2	Yes	0	2	Yes	1	Yes
32	Yes	2	2	Yes	0	2	Yes	0	Yes
33	Yes	2	2	Yes	2	0	Yes	2	Yes
34	Yes	2	2	Yes	2	0	Yes	1	Yes
35	Yes	2	2	Yes	2	0	Yes	0	Yes
36	Yes	2	1	Yes	2	2	Yes	2	Yes
37	Yes	2	1	Yes	2	2	Yes	1	Yes
38	Yes	2	1	Yes	2	2	Yes	0	Yes
39	Yes	1	2	Yes	2	2	Yes	2	Yes
40	Yes	1	2	Yes	2	2	Yes	1	Yes
41	Yes	1	2	Yes	2	2	Yes	0	Yes
42	Yes	0	2	Yes	2	2	Yes	2	Yes
43	Yes	0	2	Yes	2	2	Yes	2	Yes
44	Yes	0	2	Yes	2	2	Yes	1	Yes
45	No	N/A	N/A	Yes	2	2	Yes	0	Yes
46	No	N/A	N/A	Yes	2	2	Yes	1	Yes
47	No	N/A	N/A	Yes	2	2	Yes	0	Yes

ANEXO D
NIVELES DE ARMÓNICOS DE ANTAMINA Y SISTEMA EXTERNOS

current spectra for the ball mills and the sag mill are based on the higher speed, that is, at 14.22 rpm and 11.23 rpm, respectively.

The harmonic current spectra for the other plant loads (excluding the ball mills and the sag mill) are shown in Table E-3.

Table B-1 Ball Mill Integer Harmonic Current Spectrum

Harmonic Number	Frequency (Hz)	Harmonic Currents (A)			
		11.2 MW @ 7.9 rpm	11.2 MW @ 10.1 rpm	11.2 MW @ 11.38 rpm	11.2 MW @ 13.43 rpm
2	120	1.8	1.8	1.8	1.8
3	180	3.7	3.7	3.7	3.7
4	240	1.8	1.8	1.8	1.8
5	300	2.2	2.6	5.0	5.0
7	420	1.1	1.5	2.9	2.9
11	660	7.3	8.4	16.0	16.0
13	780	5.9	6.9	12.3	12.3
17	1020	0.4	0.4	0.7	0.7
19	1140	0.4	0.4	0.5	0.5
23	1380	2.2	2.2	2.9	2.9
25	1500	1.8	1.8	1.9	1.9
29	1740	0.0	0.0	0.1	0.1
31	1860	0.0	0.0	0.0	0.0
35	2100	0.4	0.0	0.8	0.8
37	2220	0.4	0.0	1.0	1.0
41	2460	0.0	0.0	0.1	0.1
43	2580	0.0	0.0	0.1	0.1
47	2820	0.0	0.4	1.0	1.0
49	2940	0.4	0.4	0.8	0.8

Table B-2 Sag Mill Integer Harmonic Current Spectrum

Harmonic Number	Frequency (Hz)	Harmonic Currents (A)			
		20.14 MW @ 6.24 rpm	20.14 MW @ 8.0 rpm	20.14 MW @ 9.23 rpm	20.14 MW @ 10.22 rpm
2	120	3.4	3.4	3.4	3.4
3	180	6.7	6.7	6.7	6.7
4	240	3.4	3.4	3.4	3.4
5	300	4.0	4.0	8.9	8.9
7	420	2.0	2.0	5.0	5.0
11	660	12.1	11.5	24.6	24.6
13	780	9.4	8.8	17.4	17.4
17	1020	0.7	0.7	0.8	0.8
19	1140	0.7	0.0	0.5	0.5
23	1380	2.7	1.4	1.0	1.0
25	1500	1.4	0.7	1.4	1.4
29	1740	0.0	0.0	0.3	0.3
31	1860	0.0	0.0	0.3	0.3
35	2100	0.7	0.7	2.4	2.4
37	2220	0.7	0.7	2.1	2.1
41	2460	0.0	0.0	0.1	0.1

43	2580	0.0	0.0	0.1	0.1
47	2820	0.7	0.7	0.3	0.3
49	2940	0.7	0.7	0.5	0.5

Table E-3 Harmonic Current Spectra for other Antamina Load

Frequency Hz	Amperes From 7200 V and converted to 23 kV	Amperes From 4160 V and converted to 23 kV
60	189.968	390.048
300	3.602	34.149
420	2.058	24.209
660	0.726	15.077
780	0.448	12.586
1020	0.334	9.333
1140	0.316	8.213
1380	0.223	6.561
1500	0.162	5.940
1740	0.086	4.970
1860	0.081	4.589
2100	0.079	3.974
2220	0.066	3.723
2460	0.023	3.303
2580	0.026	3.125
2820	0.191	2.815
2940	0.256	2.678

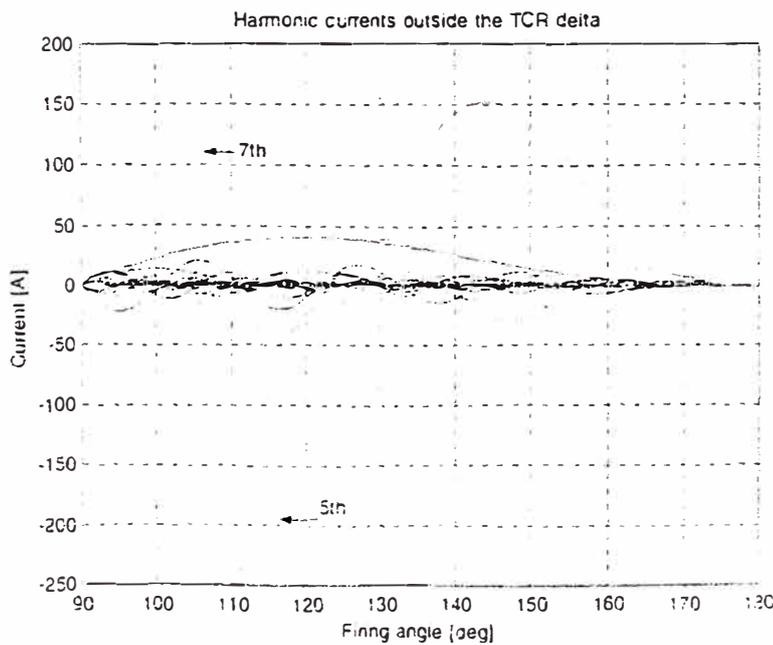
B2. Vizcarra SVC

The harmonics produced by the SVC at Vizcarra 16-kV bus are shown in Table B-4 below:

Table B-4

Frequency Hz	Current Amps	Frequency Hz	Current Amps
120	3.1	1560	0.3
180	40.5	1620	4.4
240	1.9	1680	0.3
300	245.8	1740	7.4
360	1.3	1800	0.3
420	126.0	1860	6.4
480	1.0	1920	0.3
540	13.7	1980	3.5
600	0.8	2040	0.2
660	51.1	2100	4.9
720	0.7	2160	0.2
780	36.6	2220	4.4
840	0.6	2280	0.2
900	8.2	2340	2.9
960	0.5	2400	0.2
1020	21.4	2460	3.7
1080	0.4	2520	0.2
1140	17.1	2580	3.3
1200	0.4	2640	0.2
1260	5.7	2700	2.5
1320	0.4	2760	0.2
1380	11.7	2820	2.8
1440	0.3	2880	0.2
1500	9.8	2940	2.6
		3000	0.2

The table values represent the highest magnitude for each harmonic, not the magnitudes that would occur at the same time as shown below. Thus the results will be conservative.



B3. Equivalent Background Harmonic Source

Table B-5 Background harmonic current inputs

Harmonic Number	Current at Chimbote 138 kV (A)	Current at Tingo Maria 138 kV (A)	Phase Angle (Degree)
2	78.3	10.9	-40
3	19.3	10.7	27
4	2.51	5.01	-90
5	93.9	8.3	155
6	6.4	1.07	-62
7	19.0	2.72	180
8	1.1	0.44	50
9	0.56	1.13	-120
10	1.15	1.49	70
11	4.58	1.39	130
12	6.57	0.51	0
13	21.4	0.14	90
14	3.5	0.27	0
15	51.4	0.54	0
16	54.3	1.32	0
17	74.9	6.57	0
18	1.03	1.54	-30
19	33.5	25.7	30
20	9.35	35.5	60
21	2.87	11.5	180
22	5.10	8.67	180
23	28.3	28.3	30
24	2.04	4.29	120
25	8.97	1.63	180

A positive phase angle means that the source at Chimbote leads the source at Tingo Maria.

ANEXO E
VALORES DE V_{THD} MEDIDOS Y CALCULADOS CONSIDERADOS POR
ABB

The input currents along with the relative phase angles used are presented in Appendix B.

Table 1
Summary Of Calculated And Measured Harmonic Voltages
Per Cent of Phase to Ground Voltage

	Vizcarra 220		Antamina 220		Paramonga 220		Tingo Maria 220	
	EMTP	Measured	EMTP	Measured	EMTP	Measured	EMTP	Measured
THD	3.55	3.1 *	3.71	3.5 **	3.33	2.3 *	3.19	2.1 *
120.	1.72	1.73	1.74	0.87	1.83	0.43	1.22	1.13
180.	2.43	1.96	2.48	2.36	1.88	1.14	1.95	0.61
240.	0.91	0.63	0.94	0.43	0.71	0.22	0.53	1.21
300.	1.56	1.49	1.65	1.65	1.11	1.05	1.61	0.27
360.	0.25	0.31	0.27	0.48	0.34	0.16	0.33	1.17
420.	0.65	0.59	0.73	0.62	1.45	1.22	1.36	0.15
480.	0.05	0.19	0.06	0.31	0.26	0.08	0.22	0.17
540.	0.02	0.13	0.02	0.15	0.09	0.09	0.09	0.12
600.	0.22	0.16	0.27	0.24	0.13	0.06	0.26	0.17
660.	0.10	-	0.13	0.24	0.17	0.16	0.08	0.07
720.	0.06	0.08	0.09	0.16	0.07	0.04	0.08	0.21
780.	0.05	-	0.07	0.31	0.19	0.28	0.01	0.08
840.	0.03	0.16	0.05	0.11	0.08	0.06	0.04	0.14
900.	0.02	-	0.03	0.55	0.03	0.17	0.02	0.11
960.	0.04	0.16	0.08	0.12	0.04	0.04	0.03	0.34
1020.	0.24	-	0.56	0.31	0.22	0.34	0.12	
1080.	0.07		0.20	0.08	0.06		0.04	
1140.	0.07		0.23	0.31	0.02		0.08	
1200.	0.02		0.10	0.08	0.02		0.07	
1260.	0.02		0.11	0.24	0.04		0.04	
1320.	0.01		0.03	0.08	0.04		0.05	
1380.	0.01		0.12	0.20	0.07		0.14	
1440.	0.01		0.05	0.08	0.04		0.05	
1500.	0.01		0.16	0.16	0.05		0.06	

* These are the maximum THD values from the report but are not corrected for measurement error and do not necessarily occur during the chosen interval.

** This is the maximum THD from the report but does not occur during the chosen measurement interval as this time interval was not included in the report for Antamina. Harmonic voltage readings are not available for the Vizcarra, Paramonga, and Tingo Maria buses for frequencies above 1020 Hz due to the response characteristics of the CCVT's used to measure the voltage.

THD is still below 1.5% at all of the monitored 220-kV buses. Table 3 below summarizes the results for the cases with the highest magnitudes. These are the cases that come the closest to the IEEE 519 limits but not necessarily the cases that are closest to the Peruvian limits. The maximum individual harmonics are within the IEEE 519 limits for the points of common coupling (Vizcarra 220 kV and Antamina 220 kV). There was one case where the limits set in the Peruvian standard were exceeded for the 35th harmonic. This was case 21 where the value was 0.183% (the limit is 0.171%) at the Antamina 220-kV bus. This case also produced values of 0.203 at the Tingo Maria 220-kV bus and 0.202 at the Aguaytia 220-kV bus.

**Table 3 – Voltage Distortions Due to Vizcarra SVC and Antamina Plant Harmonics
Vizcarra Filters and Both Antamina Filters in Service**

220-kV Bus	Voltage THD (%)	Max. Individual Voltage HD (%)
Antamina	0.906 Case 21	0.664 (19 th) Case 21
Vizcarra	1.001 Case 22	0.789 (13 th) Case 22
Paramonga	0.763 Case 28	0.667 (5 th) Case 28
Tingo Maria	1.209 Case 28	1.129 (5 th) Case 28
Aguaytia	1.188 Case 28	1.011 (5 th) Case 28

Table 4 presents similar results for the case where one of the Antamina filter banks is not energized but the Vizcarra bank is. The THD results are higher than with both banks in service but the maximums are within both the IEEE 519 and the Peruvian limits. The maximum individual harmonic voltages are higher at Antamina and Vizcarra with the 13th harmonic at Vizcarra slightly above the IEEE 519 limit but below the Peruvian limit. The maximum individual harmonic voltage is lower for the same system conditions at Paramonga and Tingo Maria. At Aguaytia the maximum harmonic voltage is at a different frequency than the maximum with all filters in service and occurs with different system conditions. The only case that the Peruvian limits are exceeded are for the 35th harmonic with the system conditions for case 21 at Antamina and case 25 at Tingo Maria and Aguaytia.

**Table 4 – Voltage Distortions Due to Vizcarra SVC and Antamina Plant Harmonics
Vizcarra Filters and One Antamina Filters in Service**

220-kV Bus	Voltage THD (%)	Max. Individual Voltage HD (%)
Antamina	1.164 Case 21	0.734 (19 th) Case 21
Vizcarra	1.277 Case 22	1.037 (13 th) Case 22
Paramonga	0.793 Case 28	0.660 (5 th) Case 28
Tingo Maria	1.279 Case 28	1.116 (5 th) Case 28
Aguaytia	1.486 Case 18	1.129 (13 th) Case 22

3.1.3.2 Currents

The maximum currents into the Aguaytia generators when both harmonic sources are considered together are listed in Table 5 for both the case with two filter banks in operation at Antamina and one filter in operation. The cases with either the Vizcarra filters out of service or both the Antamina filters out of service are not included as both

harmonic sources would not occur under these conditions. The maximums all occur for case 28 which is a three contingency case with the Tingo Maria transformer out of service along with two of the lines connected to Paramonga (one to Chimbote and one to Zapallal).

Table 5 – Aguaytia Generator Currents Due to Vizcarra SVC and Antamina Plant Harmonics

Conditions	Total Current – Amperes	Max. Individual Harmonic Current - Amperes
Both Antamina Filter Banks in Operation	30.8 Case 28	27.8 (5 th) Case 28
One Antamina Filter Bank Out of Service	32.0 Case 28	27.5 (5 th) Case 28

These results show that the absence of one Antamina filter bank has a small effect on the currents injected into the Aguaytia generators from the combination of the two harmonic sources. This is primarily true because the major harmonic current comes from the source at Vizcarra rather than from Antamina.

3.1.4 Background Harmonic Sources

3.1.4.1 Voltages

With the background injections alone and with all filters in service, there are many cases where the THD is above 1.5% at all of the monitored 220-kV buses (Figures 1-5). The maximum values of the THD and individual harmonics are presented in Appendix D. Table 6 summarizes the maximum THD and maximum individual harmonic along with the case number that produced the result.

**Table 6 – Voltage Distortions Due to Background Harmonics
Vizcarra Filters and Both Antamina Filters in Service**

220-kV Bus	Voltage THD (%)	Max. Individual Voltage HD (%)
Antamina	3.490 Case 37	2.596 (5 th) Case 37
Vizcarra	7.776 Case 45	6.154 (2 nd) Case 45
Paramonga	4.927 Case 33	3.744 (5 th) Case 33
Tingo Maria	9.329 Case 37	8.867 (5 th) Case 37
Aguaytia	8.333 Case 37	7.808 (5 th) Case 37

If only half of the filters are in service at Antamina, the harmonic levels in the maximum cases are increased at Antamina and Aguaytia, the same at Vizcarra, and decreased slightly at Paramonga and Tingo Maria. These results are plotted in Figures 11 to 15.

The maximum values are summarized in Table 7. In both cases, there are many frequencies that are above the Peruvian harmonic standards.

**Table 7 – Voltage Distortions Due to Background Harmonics
Vizcarra Filters and One Antamina Filter in Service**

220-kV Bus	Voltage THD (%)	Max. Individual Voltage HD (%)
Antamina	4.062 Case 37	3.437 (2 nd) Case 33
Vizcarra	7.776 Case 45	6.154 (2 nd) Case 45
Paramonga	4.650 Case 33	3.701 (5 th) Case 23
Tingo Maria	8.919 Case 37	8.336 (5 th) Case 37
Aguaytia	8.351 Case 35	7.340 (5 th) Case 37

3.1.4.2 Currents

The maximum total harmonic current injection into the Aguaytia generators due to background harmonics occurs when the lines to Antamina are out of service. The maximum total harmonic current had a value of 5.87% and occurred for case 46. The maximum individual harmonic current was the 5th harmonic and occurred for case 37. The magnitude was slightly higher when all of the filters were in service (5.03% versus 4.73%).

3.1.5 Vizcarra, Antamina, and Background Harmonics

3.1.5.1 Voltages

Including the harmonic sources from Vizcarra and Antamina had only a slight effect on the maximum values calculated. The harmonics from the various sources are combined by the square root of the sum of the squares. The background harmonics thus predominate since they are much higher than those from Antamina and Vizcarra. These values are also plotted in Figures 1 to 5 for all filters in service and Figures 11 to 15 for only one Antamina filter set in operation. Tables 8 and 9 present a summary of the maximum results.

**Table 8 – Voltage Distortions Due to All Harmonic Sources
Vizcarra Filters and Both Antamina Filters in Service**

220-kV Bus	Voltage THD (%)	Max. Individual Voltage HD (%)
Antamina	3.578 Case 37	2.607 (5 th) Case 37
Vizcarra	7.802 Case 45	6.158 (2 nd) Case 45
Paramonga	4.953 Case 33	3.755 (5 th) Case 33
Tingo Maria	9.366 Case 37	8.890 (5 th) Case 37
Aguaytia	8.381 Case 37	7.828 (5 th) Case 37

If only half of the filters are in service at Antamina, the harmonic levels in the maximum cases are increased at Antamina and Aguaytia, the same at Vizcarra, and decreased slightly at Paramonga and Tingo Maria. See Table 9.

**Table 9 – Voltage Distortions Due to All Harmonic Sources
Vizcarra Filters and One Antamina Filter in Service**

220-kV Bus	Voltage THD (%)	Max. Individual Voltage HD (%)
Antamina	4.197 Case 37	3.439 (2 nd) Case 33
Vizcarra	7.802 Case 45	6.158 (2 nd) Case 45
Paramonga	4.693 Case 33	3.701 (5 th) Case 23
Tingo Maria	8.977 Case 37	8.363 (5 th) Case 37
Aguaytia	8.446 Case 35	7.364 (5 th) Case 37

3.1.5.2 Currents

As was the case for the voltages, the addition of the harmonics from Vizcarra and Antamina had only a minor effect on the currents injected into the Aguaytia generators. The maximum total current went up to 5.89% for case 46 which has the Antamina line out of service thus the maximum was the same regardless of the status of the Antamina filters. The maximum harmonic was again the 5th harmonic for the conditions of case 37. Also, the maximum 5th harmonic current was higher with all Antamina filters in service than with only half (5.04% versus 4.75%).

Table 5 - All Filters in service

Case	VIZ	THD > 5%			AGUA	VIZ	THD > 7.5%			AGUA	VIZ	THD > 10%			AGUA
		ANT	PARA	TM			ANT	PARA	TM			ANT	PARA	TM	
1				X											
2				X	X										
3									X						
4				X											
5				X	X										
6															
7				X											
8				X	X				X	X					
9															
10				X	X										
11				X	X										
12															
13															
14				X	X				X						
15															
16															
17				X	X										
18															
19															
20															
21															
22															
23				X	X										
24															
25															
26				X	X				X						
27															
28				X											
29															
30															
31				X	X										
32															
33				X											
34				X	X				X	X					
35				X	X										
36				X											
37				X	X				X	X					
38				X	X										
39				X											
40				X	X				X	X					
41				X	X										
42				X											
43				X	X				X	X					
44	X			X	X										
45	X			X	X	X			X	X					
46				X	X				X						
47				X	X										
48				X											
49				X	X										
50				X	X										
51															
52				X	X										
53															
54				X											
55				X	X				X	X					
56				X	X										
57				X											
58				X	X										
59					X										
60															
61				X	X										
62															
63															
64				X	X										
65															

Table 6 - 1/2 Filters at Antamina, all filters at Vizcarra

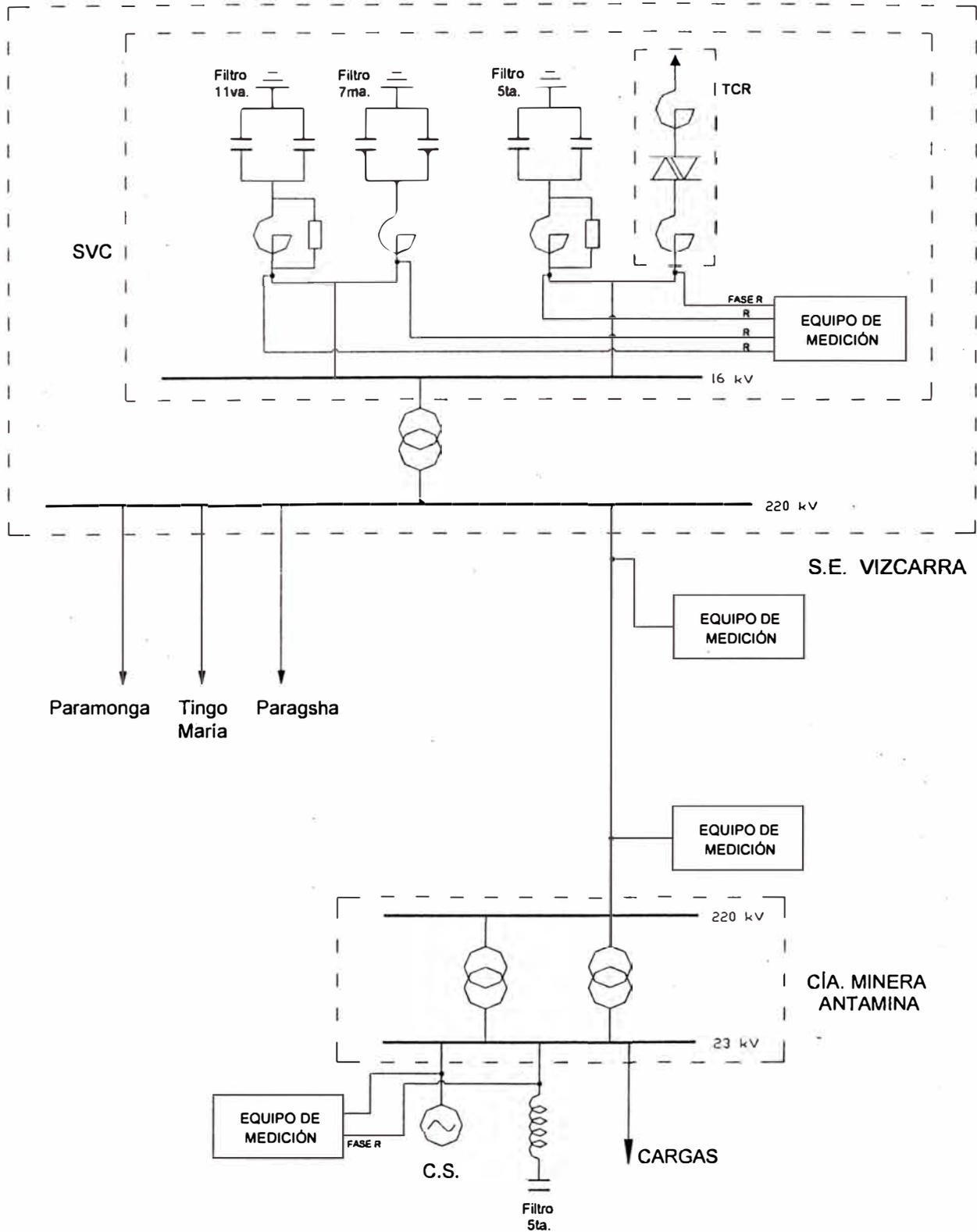
Case	VIZ	THD > 5%			AGUA	VIZ	THD > 7.5%			AGUA	VIZ	THD > 10%			AGUA
		ANT	PARA	TM			ANT	PARA	TM			ANT	PARA	TM	
1				X											
2				X	X										
3										X					
4				X											
5				X	X										
6															
7				X											
8				X	X					X					
9															
10				X											
11				X	X										
12															
13															
14				X	X										
15															
16															
17				X	X										
18															
19															
20															
21															
22															
23				X	X										
24															
25															
26				X											
27															
28															
29															
30					X										
31				X	X										
32															
33				X											
34				X	X					X	X				
35				X	X						X				
36				X											
37				X	X					X	X				
38				X	X										
39				X											
40				X	X					X					
41				X	X										
42				X											
43				X	X					X					
44				X	X										
45	X			X	X	X				X					
46				X	X					X	X				
47				X	X										
48				X											
49				X	X										
50				X	X										
51															
52				X											
53															
54				X											
55				X	X					X	X				
56				X	X										
57				X											
58				X	X										
59					X										
60															
61				X	X										
62															
63															
64				X											
65															

Table 7 – Half filters at both stations

Case	THD > 5%				THD > 7.5%					THD > 10%					
	VIZ	ANT	PARA	TM	AGUA	VIZ	ANT	PARA	TM	AGUA	VIZ	ANT	PARA	TM	AGUA
1				X											
2				X	X				X						
3															
4				X	X										
5				X	X										X
6					X										
7				X											
8				X	X				X	X					
9															
10				X	X										
11				X	X										
12				X	X										
13															
14				X	X										
15															
16															
17				X	X										
18															
19															
20															
21															
22															
23				X	X										
24															
25				X											
26				X	X										
27															
28															
29															
30															
31				X	X										
32					X										
33	X		X	X											
34	X	X	X	X	X				X	X					
35	X		X	X	X				X	X					
36				X	X										
37				X	X				X	X					
38				X	X										
39				X											
40				X	X				X						
41				X	X										X
42				X											
43				X	X				X						
44				X	X										X
45	X			X	X										
46	X			X	X				X	X					
47	X			X	X	X			X	X					
48			X	X											
49				X	X										
50				X	X										X
51															
52				X											
53															
54				X											
55				X	X				X	X					
56				X	X										
57				X											
58				X	X				X						
59				X	X										
60															
61				X	X										
62															
63															
64				X	X										
65															

ANEXO F
MEDICIONES DE LOS NIVELES ARMÓNICOS ACTAULIZADOS AL
2006

UBICACIÓN DE LOS ANALIZADORES DURANTE EL DESARROLLO DE LA MEDICIÓN



Cuadro N° 2.4a
NIVELES DE THD DE TENSION PARA REGISTRO CONTÍNUO DURANTE 48 HORAS
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA VIZCARRA

Punto de Medición	Descripción	THD V (%) MINIMO			THD V (%) MAXIMO			THD V (%) MEDIO			Armonica Predominante
		RS	ST	TR	RS	ST	TR	RS	ST	TR	
Linea L-255	Etapa I	0,33	0,33	0,33	1,02	1,05	1,12	0,76	0,78	0,63	5ta (0.97 %) 7ma (0.55%) 11va (0.07%)
	Etapa II	0,56	0,55	0,59	0,89	0,94	1,03	0,67	0,66	0,74	5ta (0.95 %) 7ma (0.40%) 11va (0.06%)
	Etapa III	0,56	0,56	0,63	1,05	1,14	1,21	0,74	0,76	0,85	5ta (0.88 %) 7ma (0.70%) 11va (0.07%)
	Etapa IV	1,11	1,21	1,29	1,40	1,45	1,57	1,30	1,37	1,48	5ta (1.48 %) 7ma (0.48%) 11va (0.18%)
	Etapa V	0,80	0,87	0,94	1,24	1,37	1,41	0,91	0,98	1,06	5ta (1.47 %) 7ma (0.46%) 11va (0.09%)
SVC (16 kV)	Etapa I	0,38	0,37	0,39	0,63	0,61	0,65	0,50	0,46	0,51	5ta (0.43 %) 7ma (0.19%) 11va (0.14%)
	Etapa II	0,41	0,40	0,41	0,58	0,57	0,59	0,50	0,49	0,51	5ta (0.38 %) 7ma (0.10%) 11va (0.13%)
	Etapa III	0,48	0,49	0,49	0,65	0,66	0,66	0,61	0,59	0,62	5ta (0.44 %) 7ma (0.23%) 11va (0.14%)
	Etapa IV	0,56	0,55	0,57	0,66	0,59	0,62	0,59	0,57	0,60	5ta (0.39 %) 7ma (0.21%) 11va (0.12%)
	Etapa V	0,45	0,46	0,47	0,61	0,59	0,62	0,57	0,55	0,57	5ta (0.40 %) 7ma (0.21%) 11va (0.11%)

Cuadro N° 2.4b
NIVELES DE THD DE TENSION PARA REGISTRO PUNTUAL
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA VIZCARRA

Punto de Medición	Descripción	THD V (%) MINIMO			THD V (%) MAXIMO			THD V (%) MEDIO			Armonica Predominante
		RS	ST	TR	RS	ST	TR	RS	ST	TR	
SVC (220 kV)	36 minutos	0,89	0,99	1,01	1,08	1,16	1,22	0,98	1,07	1,11	5ta (1.05 %) 7ma (0.57%) 11va (0.06%)

Nota:

Etapa I: Condición de operación a plena carga.

Etapa II: Condición de disminución de carga (con filtro 5ta. y compensador síncrono)

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y sin compensador síncrono)

Etapa V: Condición de aumento de carga (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

Cuadro N° 2.4c
NIVELES DE THD DE TENSION PARA REGISTRO CONTÍNUO DURANTE 48 HORAS
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ANTAMINA

Punto de Medición	Descripción	THD V (%) MINIMO			THD V (%) MAXIMO			THD V (%) MEDIO			Armonica Predominante
		RS	ST	TR	RS	ST	TR	RS	ST	TR	
Línea L-255	Etapa I	0,43	0,41	0,46	0,80	0,77	0,78	0,61	0,59	0,61	5ta. (0.56 %) 7ma. (0.34 %) 13va. (0.22 %)
	Etapa II	0,40	0,38	0,41	0,66	0,69	0,74	0,51	0,49	0,52	5ta. (0.59 %) 11va. (0.29 %) 7ma. (0.26 %)
	Etapa III	0,43	0,40	0,44	0,86	0,98	0,92	0,65	0,68	0,71	7ma. (0.64 %) 5ta. (0.58 %) 13va. (0.32 %)
	Etapa IV	0,80	0,83	0,83	1,94	2,18	2,19	1,53	1,60	1,72	5ta. (1.60 %) 11va. (1.08 %) 7ma. (0.59 %)
	Etapa V	0,88	0,73	0,78	1,51	1,57	1,74	0,99	1,06	1,12	5ta. (1.54 %) 7ma. (0.53 %) 11va. (0.50 %)
Compensador Síncrono 23 kV	Etapa I	0,40	0,42	0,42	0,69	0,69	0,69	0,56	0,57	0,57	5ta. (0.25 %) 7ma. (0.27 %) 13va. (0.16 %)
	Etapa II	0,39	0,40	0,40	0,68	0,70	0,71	0,46	0,48	0,48	5ta. (0.38 %) 13va. (0.31 %) 11va. (0.22 %)
	Etapa III	0,43	0,45	0,42	0,96	0,99	0,96	0,72	0,70	0,72	7ma. (0.47 %) 11va. (0.41 %) 5ta. (0.35 %)
	Etapa IV	0,90	0,92	0,90	3,10	3,06	3,22	2,03	1,93	2,03	11va. (1.69 %) 5ta. (1.61 %) 13va. (0.92 %)
	Etapa V	0,79	0,82	0,82	1,95	1,91	2,02	1,32	1,33	1,37	5ta. (1.52 %) 11va. (0.73 %) 13va. (0.56 %)

Nota:

Etapa I: Condición de operación a plena carga.

Etapa II: Condición de disminución de carga (con filtro 5ta. y compensador síncrono)

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y sin compensador síncrono)

Etapa V: Condición de aumento de carga (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

Cuadro N° 2.5a
NIVELES DE THD DE CORRIENTE PARA REGISTRO CONTÍNUO DURANTE 48 HORAS
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA VIZCARRA

Punto de Medición	Descripción	THD I (%) MINIMO			THD I (%) MAXIMO			THD I (%) MEDIO			Armonica Predominante
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	
Línea L-255	Etapa I	0,63	0,66	0,61	1,69	1,74	1,92	1,31	1,25	1,31	5ta. (3.32 A) 7ma. (1.26 A) 25va. (1.33 A)
	Etapa II	1,17	1,14	1,15	3,08	2,97	3,12	1,92	1,81	1,91	5ta. (3.24 A) 7ma. (0.92 A) 25va. (1.33 A)
	Etapa III	3,06	3,02	3,21	9,87	9,06	10,37	6,06	5,57	6,04	3ra. (2.09 A) 5ta. (2.58 A) 25va. (1.52 A)
	Etapa IV	5,00	4,70	4,93	12,91	12,34	11,10	7,42	6,83	6,62	5ta. (2.24 A) 11va. (3.90 A) 13va. (1.92 A)
	Etapa V	2,07	1,83	2,10	5,73	5,56	5,36	3,63	3,37	3,84	5ta. (2.99 A) 11va. (1.89 A) 25va. (2.26 A)
TCR (*)	Etapa I	5,84	-	-	9,56	-	-	6,22	-	-	5ta. (239.66 A) 7ma. (107.12 A) 11va. (47.06 A)
	Etapa II	6,65	-	-	9,73	-	-	6,37	-	-	5ta. (220.96 A) 7ma. (78.52 A) 11va. (45.75 A)
	Etapa III	6,64	-	-	9,63	-	-	6,47	-	-	5ta. (240.41 A) 7ma. (125.06 A) 11va. (48.66 A)
	Etapa IV	6,77	-	-	9,36	-	-	6,76	-	-	5ta. (240.08 A) 7ma. (122.23 A) 11va. (34.32 A)
	Etapa V	7,64	-	-	8,65	-	-	6,31	-	-	5ta. (240.03 A) 7ma. (120.93 A) 11va. (39.22 A)
5ta (*)	Etapa I	1,32	-	-	13,40	-	-	7,17	-	-	5ta. (232.03 A) 7ma. (19.42 A) 13va. (7.40 A)
	Etapa II	4,37	-	-	11,66	-	-	6,41	-	-	5ta. (198.92 A) 7ma. (11.46 A) 13va. (6.19 A)
	Etapa III	6,62	-	-	13,66	-	-	12,56	-	-	5ta. (234.43 A) 7ma. (24.51 A) 13va. (7.91 A)
	Etapa IV	10,45	-	-	12,63	-	-	11,63	-	-	5ta. (213.77 A) 7ma. (21.56 A) 13va. (7.11 A)
	Etapa V	7,46	-	-	12,75	-	-	11,06	-	-	5ta. (217.56 A) 7ma. (21.96 A) 13va. (5.33 A)
7ma (*)	Etapa I	2,96	-	-	10,36	-	-	5,56	-	-	5ta. (49.61 A) 7ma. (90.36 A) 13va. (7.73 A)
	Etapa II	3,53	-	-	6,65	-	-	4,94	-	-	5ta. (43.24 A) 7ma. (50.76 A) 13va. (6.36 A)
	Etapa III	3,46	-	-	12,22	-	-	10,27	-	-	5ta. (50.68 A) 7ma. (111.88 A) 13va. (6.24 A)
	Etapa IV	6,45	-	-	11,46	-	-	9,46	-	-	5ta. (41.70 A) 7ma. (104.60 A) 13va. (7.35 A)
	Etapa V	3,13	-	-	11,16	-	-	9,00	-	-	5ta. (43.89 A) 7ma. (102.51 A) 13va. (5.43 A)
11va (*)	Etapa I	4,29	-	-	11,62	-	-	6,24	-	-	-
	Etapa II	4,31	-	-	10,92	-	-	6,26	-	-	-
	Etapa III	4,60	-	-	10,99	-	-	6,60	-	-	-
	Etapa IV	5,42	-	-	12,66	-	-	7,13	-	-	-
	Etapa V	4,51	-	-	9,87	-	-	9,87	-	-	-

Nota:

Etapa I: Condición de operación a plena carga.

Etapa II: Condición de disminución de carga (con filtro 5ta. y compensador síncrono)

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y sin compensador síncrono)

Etapa V: Condición de aumento de carga (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

(*) Los valores de contenido del SVC en 16kV fueron tomados en la fase R

Cuadro N° 2.5b
NIVELES DE THD DE CORRIENTE PARA REGISTRO PUNTUAL
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA VIZCARRA

Punto de Medición	Descripción	THD I (%) MINIMO			THD I (%) MAXIMO			THD I (%) MEDIO			Armonica Predominante
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	
SVC (220 kv)	36 minutos	9,76	10,92	11,35	13,03	15,29	15,44	11,20	12,88	13,08	5ta (5.28 A) 7ma (1.53 A) 13va (0.57 A)

Cuadro N° 2.5c
NIVELES DE THD DE CORRIENTE PARA REGISTRO CONTINUO DURANTE 48 HORAS
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA ANTAMINA

Punto de Medición	Descripción	THD I (%) MINIMO			THD I (%) MAXIMO			THD I (%) MEDIO			Armonica Predominante
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	
Línea L-255	Etapa I	0,99	0,88	0,92	2,23	2,03	2,20	1,49	1,35	1,46	5ta. (4.08 A) 7ma. (1.77 A) 3ra. (1.23 A)
	Etapa II	1,27	1,12	1,19	3,23	2,92	3,06	1,97	1,75	1,88	5ta. (3.88 A) 7ma. (1.30 A) 3ra. (0.78 A)
	Etapa III	3,35	3,01	3,18	12,21	10,87	12,37	8,47	5,82	8,45	5ta. (3.19 A) 3ra. (2.11 A) 7ma. (1.23 A)
	Etapa IV	2,27	2,22	2,25	8,38	8,33	8,78	3,22	3,23	3,20	5ta. (2.57 A) 11va. (2.89 A) 13va. (1.81 A)
	Etapa V	2,51	2,28	2,55	4,58	3,97	4,86	3,56	3,28	3,60	5ta. (3.46 A) 13va. (1.20 A) 11va. (1.15 A)
Compensador Síncrono 23 kV	Etapa I	1,05	1,04	0,94	10,54	8,80	7,50	3,28	3,00	2,59	5ta. (1.87 A) 2da. (1.48 A) 7ma. (1.42 A)
	Etapa II	0,91	0,90	0,83	2,08	2,12	1,99	1,35	1,32	1,21	5ta. (2.73 A) 7ma. (1.49 A) 3ra. (1.34 A)
	Etapa III	1,02	1,01	0,98	2,32	2,13	2,17	1,50	1,43	1,38	5ta. (2.44 A) 2da. (2.01 A) 3ra. (1.98 A)
	Etapa IV	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Etapa V	1,28	1,31	1,28	13,18	12,27	12,03	3,00	2,87	2,82	2da. (4.12 A) 5ta. (3.27 A) 3ra. (3.19 A)

Nota:

Etapa I: Condición de operación a plena carga.

Etapa II: Condición de disminución de carga (con filtro 5ta. y compensador síncrono)

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin filtro 5ta. y sin compensador síncrono)

Etapa V: Condición de aumento de carga (sin filtro 5ta. y con compensador síncrono)

(*) Los valores de corriente del SVC en 16kV fueron tomados en la fase R

CUADRO N° 3.3

LIMITES DE TENSIONES ARMÓNICAS CON RESPECTO A SU VALOR NOMINAL (%)
Subestación Vizcarra Barra 220 kV – Línea L-255

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA DE TENSION Y THD	LIMITES (%) (Referido a la nominal)	REGISTRADO MÁXIMO (%) (Referido al valor fundamental)	
		Condición Normal	Restricción de Carga
Armónica Impar no múltiplo de 3:			
H05	2.00	0.97	1.48
H07	2.00	0.55	0.70
H11	1.50	0.07	0.18
H13	1.50	0.20	0.24
H17	1.00	0.05	0.07
H19	1.00	0.04	0.06
H23	0.70	0.16	0.27
H25	0.70	0.09	0.16
H29	0.19	0.03	0.03
H31	0.18	0.04	0.06
H35	0.17	0.07	0.11
H37	0.17	0.04	0.06
Armónica Impar múltiplo de 3:			
H03	1.50	0.09	0.08
H09	1.00	0.03	0.02
H15	0.30	0.01	0.01
H21	0.20	0.03	0.02
H27	0.20	0.03	0.01
H33	0.20	0.01	0.01
H39	0.20	0.01	0.01
Armónica Par:			
H02	1.50	0.13	0.13
H04	1.00	0.07	0.10
H06	0.50	0.08	0.15
H08	0.20	0.08	0.06
H10	0.20	0.03	0.01
H12	0.20	0.04	0.02
H14	0.20	0.01	0.01
H16	0.20	0.01	0.01
H18	0.20	0.01	0.01
H20	0.20	0.02	0.01
H22	0.20	0.04	0.02
H24	0.20	0.02	0.01
H26	0.20	0.03	0.01
H28	0.20	0.01	0.01
H30	0.20	0.01	0.01
H32	0.20	0.01	0.01
H34	0.20	0.01	0.01
H36	0.20	0.01	0.01
H38	0.20	0.01	0.01
H40	0.20	0.01	0.01
THD (máximo)	3.00	1.12	1.57

Direccionalidad Armónica

Cuadro 3.4.A

Subestación Antamina Entrada de la línea L-255

Armónica	ETAPA I		ETAPA II		ETAPA III		ETAPA IV		ETAPA V	
	Rango de corriente (Amp)	Dirección								
3ra	0.33 - 1.24	Hacia Antamina	0.15 - 0.78	Hacia Antamina	0.12 - 2.12	Hacia Antamina	0.13 - 1.40	Hacia Vizcarra	0.11 - 0.67	Hacia Antamina
5ta	1.24 - 4.08	Hacia Antamina	1.76 - 3.87	Hacia Antamina	1.45 - 3.19	Hacia Antamina	0.40 - 2.57	Hacia Vizcarra	0.57 - 3.46	Hacia Antamina
7ma	0.92 - 1.78	Hacia Antamina	0.97 - 1.30	Hacia Antamina	0.50 - 1.23	Hacia Antamina	0.09 - 0.54	Hacia Vizcarra	0.13 - 1.10	Hacia Antamina
9na	0.11 - 0.35	Hacia Vizcarra	0.09 - 0.15	Hacia Vizcarra	0.03 - 0.23	--	0.05 - 0.13	--	0.04 - 0.12	Hacia Vizcarra
11ra	0.07 - 0.38	--	0.11 - 0.31	--	0.08 - 0.66	Hacia Vizcarra	0.23 - 2.69	Hacia Vizcarra	0.16 - 1.15	--

Cuadro 3.4.B

Subestación Antamina Compensador Síncrono 23 Kv

Armónica	ETAPA I		ETAPA II		ETAPA III		ETAPA IV		ETAPA V	
	Rango de corriente (Amp)	Dirección	Rango de corriente (Amp)	Dirección	Rango de corriente (Amp)	Dirección	Rango de corriente (Amp)	Dirección	Rango de corriente (Amp)	Dirección
3ra	0.32 - 1.40	Variable	0.30 - 1.34	Variable	0.07 - 1.96	--	0.01 - 4.83	--	0.19 - 3.19	--
5ta	1.29 - 1.87	Hacia Compensador	1.54 - 2.74	Hacia Compensador	1.60 - 2.44	Hacia Barra	0.01 - 2.31	--	1.23 - 3.27	Hacia Compensador
7ma	0.49 - 1.42	Hacia Compensador	0.49 - 1.49	Hacia Compensador	0.47 - 1.58	Hacia Compensador	0.01 - 1.35	--	1.15 - 2.30	Hacia Compensador
9na	0.11 - 0.32	Variable	0.04 - 0.22	Variable	0.01 - 0.30	--	0.01 - 0.76	--	0.03 - 0.50	--
11ra	0.05 - 0.23	Variable	0.07 - 0.37	Variable	0.05 - 0.71	Hacia Barra	0.01 - 0.49	--	0.36 - 1.23	--

Nota:

Etapa I: Condición de operación a plena carga.

Etapa II: Condición de disminución de carga.

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (sin filtro de 5ta y con compensador síncrono).

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin filtro de 5ta y sin compensador síncrono).

Etapa V: Condición de aumento de carga.

Direccionalidad Armónica

Cuadro 3.4.C

Subestación Vizcarra Línea L-255

Armónica	ETAPA I		ETAPA II		ETAPA III		ETAPA IV		ETAPA V	
	Rango de corriente (Amp)	Dirección								
3ra	0.37 - 3.29	Hacia Antamina	0.34 - 3.20	Hacia Antamina	0.34 - 2.58	Hacia Antamina	0.27 - 2.19	Hacia Vizcarra	0.32 - 2.89	Hacia Antamina
5ta	0.24 - 3.32	Hacia Antamina	1.51 - 3.24	Hacia Antamina	1.14 - 2.59	Hacia Antamina	1.58 - 2.25	Hacia Vizcarra	1.14 - 2.99	Hacia Antamina
7ma	0.53 - 1.28	Hacia Antamina	0.67 - 0.91	Hacia Antamina	0.15 - 0.82	Hacia Antamina	0.33 - 1.10	Hacia Vizcarra	0.21 - 0.85	Hacia Antamina
9na	0.14 - 0.41	Hacia Vizcarra	0.05 - 0.31	Hacia Vizcarra	0.02 - 0.35	--	0.06 - 0.15	Hacia Vizcarra	0.04 - 0.16	Hacia Vizcarra
11ra	0.05 - 0.24	--	0.08 - 0.54	--	0.05 - 1.01	Hacia Vizcarra	0.33 - 3.90	Hacia Vizcarra	0.45 - 1.69	Hacia Vizcarra

Cuadro 3.4.D

Subestación Vizcarra SVC 220 kV

Armónica	ETAPA I	
	Rango de corriente (Amp)	Dirección
3ra	0.67 - 1.01	Fases R y S hacia SVC Fase T hacia barra
5ta	4.01 - 5.25	Hacia SVC
7ma	0.94 - 1.52	Hacia barra
9na	0.03 - 0.07	--
11ra	0.06 - 0.34	--

Nota:

Etapa I: Condición de operación a plena carga.

Etapa II: Condición de disminución de carga.

Etapa III: Condición de operación con carga restringida (sin filtro de 5ta y con compensador sincrónico).

Etapa IV: Condición de operación con carga restringida (sin filtro de 5ta y sin compensador sincrónico).

Etapa V: Condición de aumento de carga.

CAPACIDAD DE CARGA EN LOS FILTROS DEL SVC PARA DIFERENTES CONDICIONES DE DEMANDA (Respecto a la capacidad de corriente rms)

Filtro	Corriente admisible (Amperio)		Corriente (Amperio)				
	Filtro Capacitor	Filtro reactor	Etapas I	Etapas II	Etapas III	Etapas IV	Etapas V
Filtro 5ta	2279	2139	1829.11	1803.49	1788.27	1757.60	1776.70
Filtro 7ma	1410	1216	1055.52	1039.30	1027.37	1009.60	1021.63
Filtro 11ra	780	419	357.57	351.47	348.62	343.32	346.56

En el Cuadro N° 3.6 se muestra los valores máximos de corriente armónica de su respectivo filtro.

**CUADRO N° 3.6
CORRIENTE EN LOS FILTROS DEL SVC PARA DIFERENTES CONDICIONES DE DEMANDA**

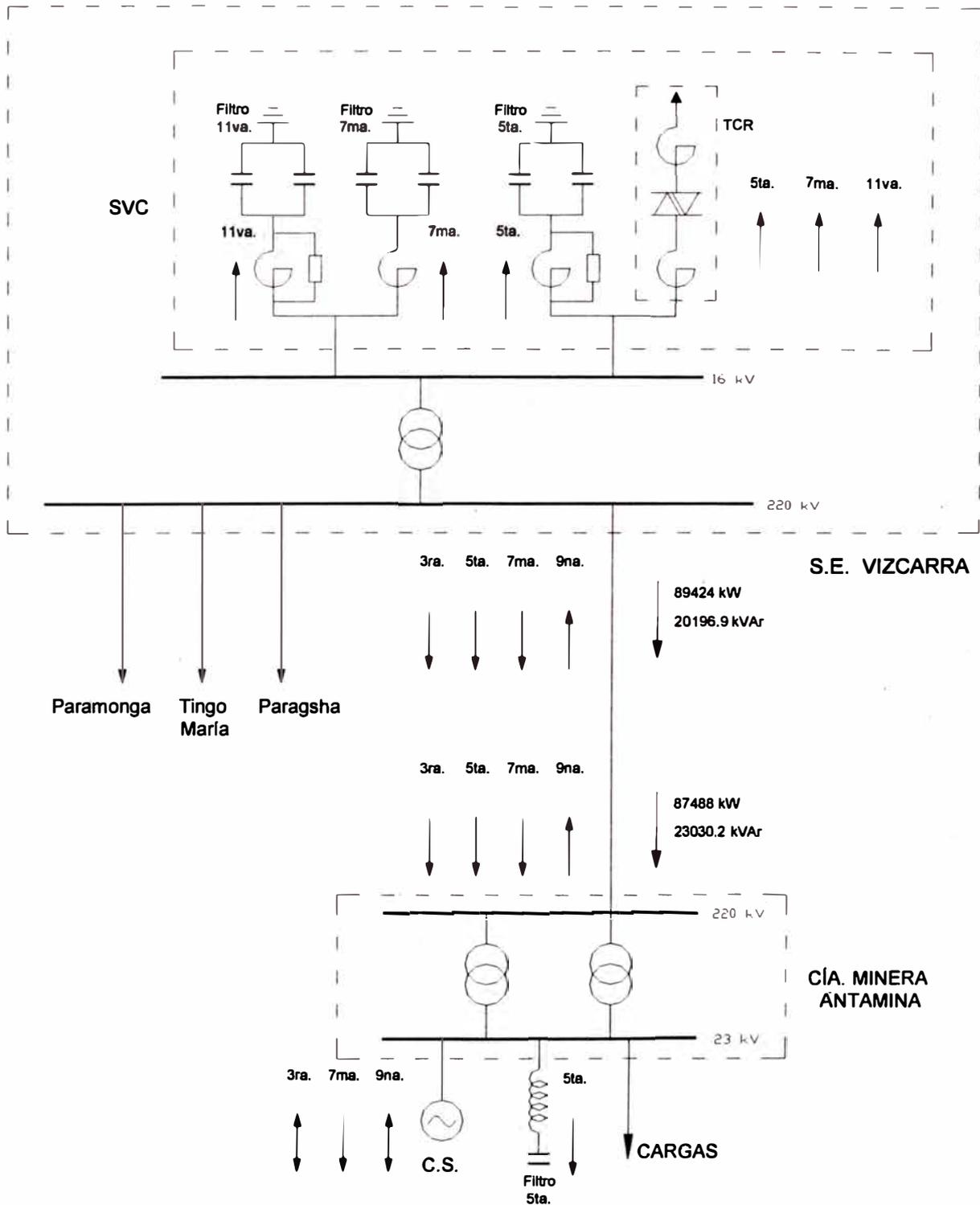
Armónica	Filtro 5ta (Amperios)					Filtro 7ma (Amperios)					Filtro 11ra (Amperios)				
	Etapas					Etapas					Etapas				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
H02	6.76	3.70	1.70	2.94	2.32	3.54	1.97	1.36	2.60	1.59	0.12	0.08	0.12	0.08	0.07
H03	13.9	8.07	13.2	13.5	14.6	7.10	3.51	5.49	6.50	6.26	0.12	0.11	0.12	0.13	0.12
H04	3.85	2.97	4.75	1.90	2.36	1.10	0.87	0.62	0.72	0.66	0.32	0.10	0.52	0.55	0.68
H05	170	199	233	206	217	45.7	43.2	40.3	36.6	37.5	1.1	0.3	0.7	0.9	0.9
H06	3.06	1.71	2.30	0.71	0.84	5.81	3.68	2.81	4.05	1.59	0.40	0.42	0.56	0.50	0.45
H07	9.4	8.6	18.9	20.3	20.0	90	40	111	104	102	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
H08	0.64	0.38	0.32	0.10	0.12	1.51	0.94	0.39	0.62	0.35	0.15	0.22	0.25	0.12	0.17
H09	1.41	1.37	2.08	1.79	1.74	3.22	2.69	3.67	3.40	3.32	0.23	0.18	0.25	0.24	0.22
H10	0.32	0.24	0.04	0.06	0.05	0.55	0.46	0.18	0.37	0.21	0.14	0.12	0.14	0.13	0.14
H11	5.86	5.69	1.42	2.56	1.00	2.34	5.48	3.14	4.43	2.13	7.04	7.15	7.23	7.25	7.10
H12	0.16	0.07	0.01	0.04	0.03	0.19	0.13	0.00	0.06	0.01	0.11	0.10	0.10	0.11	0.13
H13	5.56	5.69	6.16	4.30	4.33	6.47	5.92	2.50	4.18	2.02	1.73	1.42	1.82	1.63	1.71
H14	0.05	0.01	0.01	0.02	0.02	0.08	0.02	0.00	0.03	0.01	0.11	0.12	0.12	0.11	0.10
H15	0.51	0.49	0.52	0.58	0.51	0.43	0.45	0.62	0.71	0.53	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12

- Etapas I:** Condición de operación a plena carga
- Etapas II:** Condición de disminución de carga (con Compensador Síncrono y con Filtros del CS)
Desde 5 hr hasta 5:45 hr del 12/07, y desde 21:55 hrs. hasta 22:10 hr, del mismo día.
- Etapas III:** Condición de operación con carga restringida (con Compensador Síncrono y sin filtro del CS)
Desde 5:50 hr hasta 18:50 hr del 12/07.
- Etapas IV:** Condición de operación con carga restringida (sin Compensador Síncrono y sin Filtros del CS)
Desde 18:55 hr hasta 20:50 hr del 12/07.
- Etapas V:** Condición de aumento de carga (con Compensador Síncrono y sin filtro del CS)
Desde 20:55 hr hasta 21:50 hr del 12/07.

ETAPA I

CONDICIÓN DE OPERACIÓN A PLENA CARGA

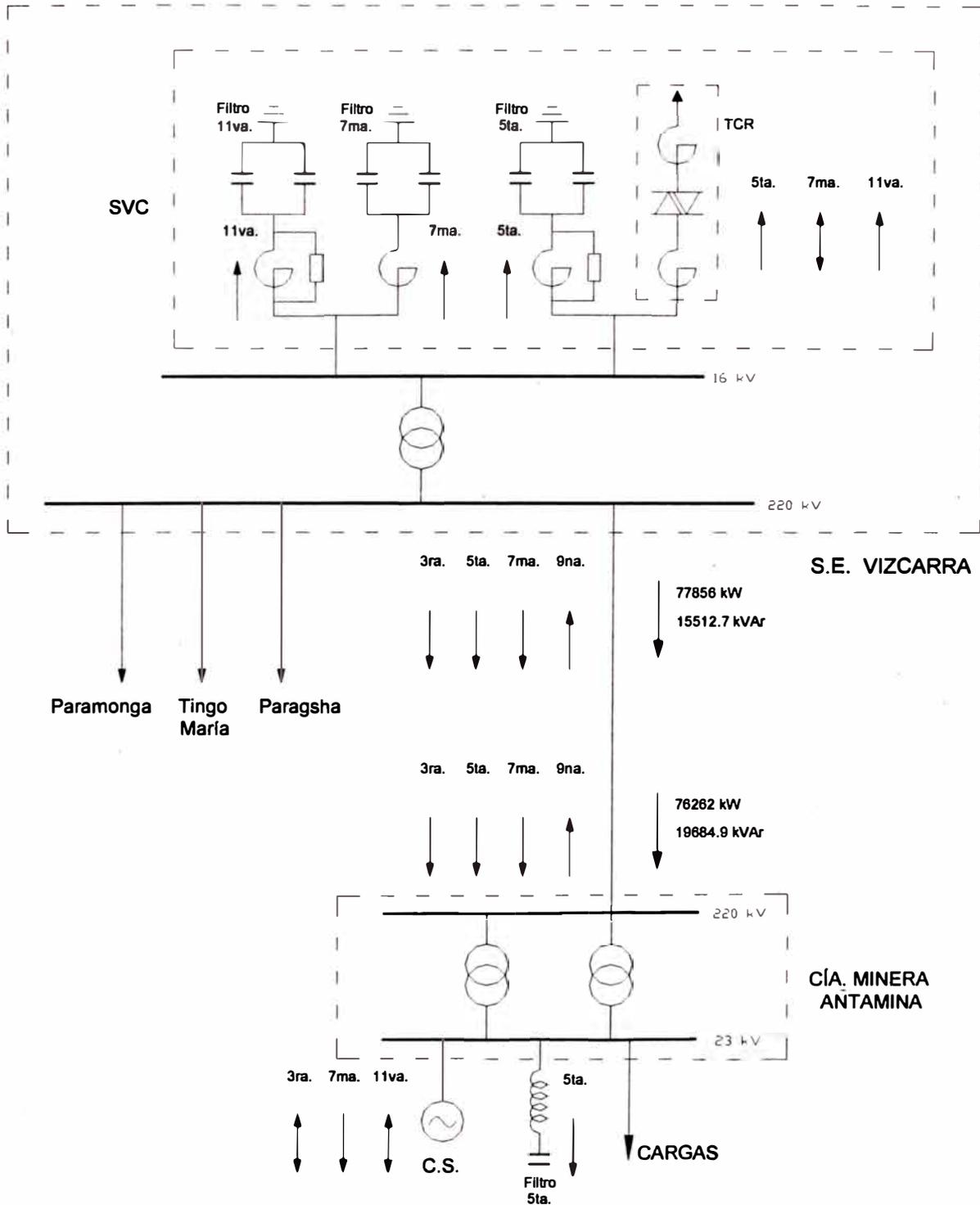
Desde el inicio de la medición hasta las 4:55 hrs. del 12/07/2005 y desde las 22:15 hrs. del 12/07/2005 hasta el fin de la medición.



ETAPA II

CONDICIÓN DE DISMINUCIÓN DE CARGA (CON FILTRO 5TA. Y COMPENSADOR SÍNCRONO)

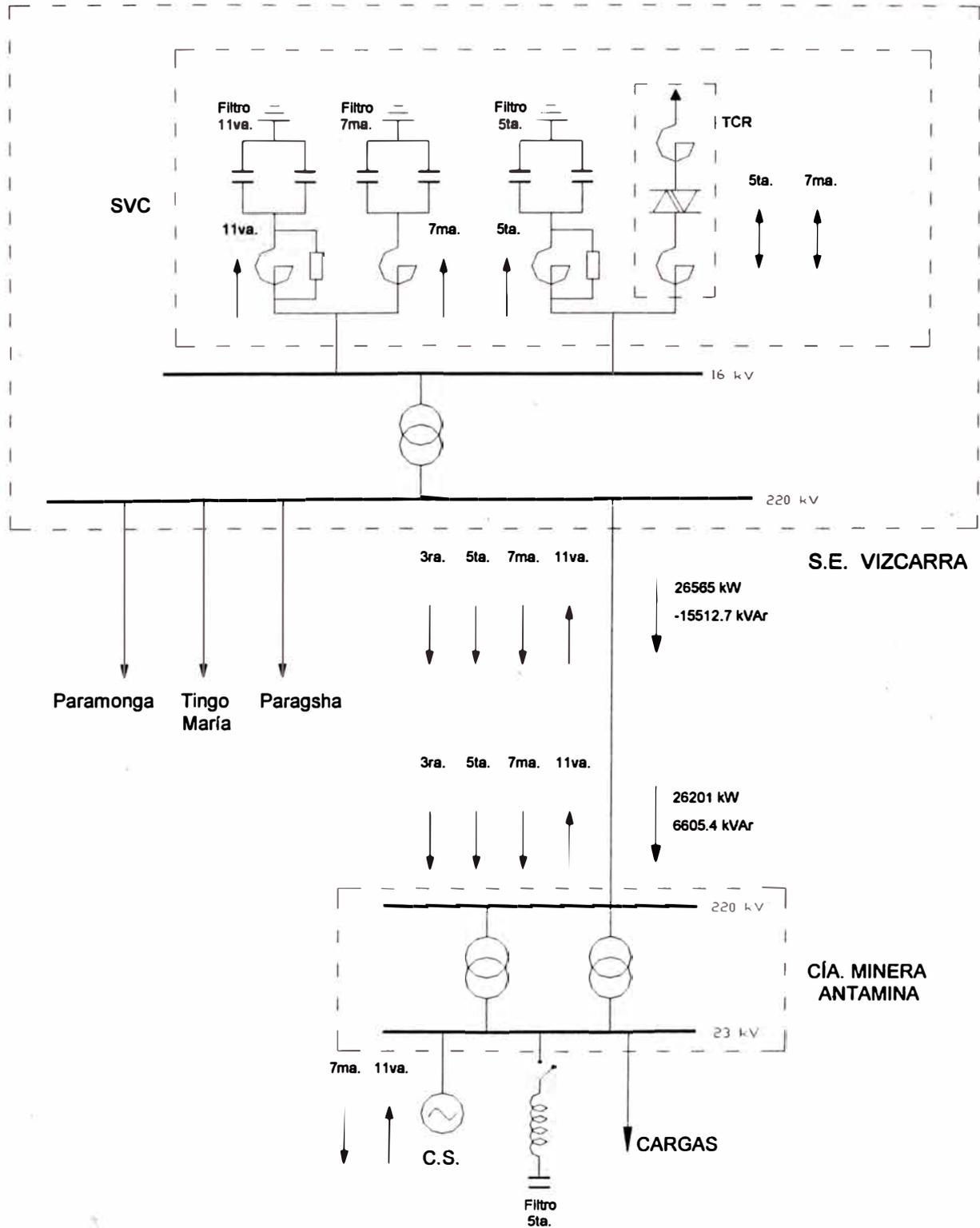
Desde las 5 hrs. hasta las 5:45 hrs. del 12/07/2005 y desde las 21:55 hrs. hasta las 22:10 hrs. del mismo día.



ETAPA III

CONDICIÓN DE OPERACIÓN CON CARGA RESTRINGIDA (SIN FILTRO 5TA. Y CON COMPENSADOR SÍNCRONO)

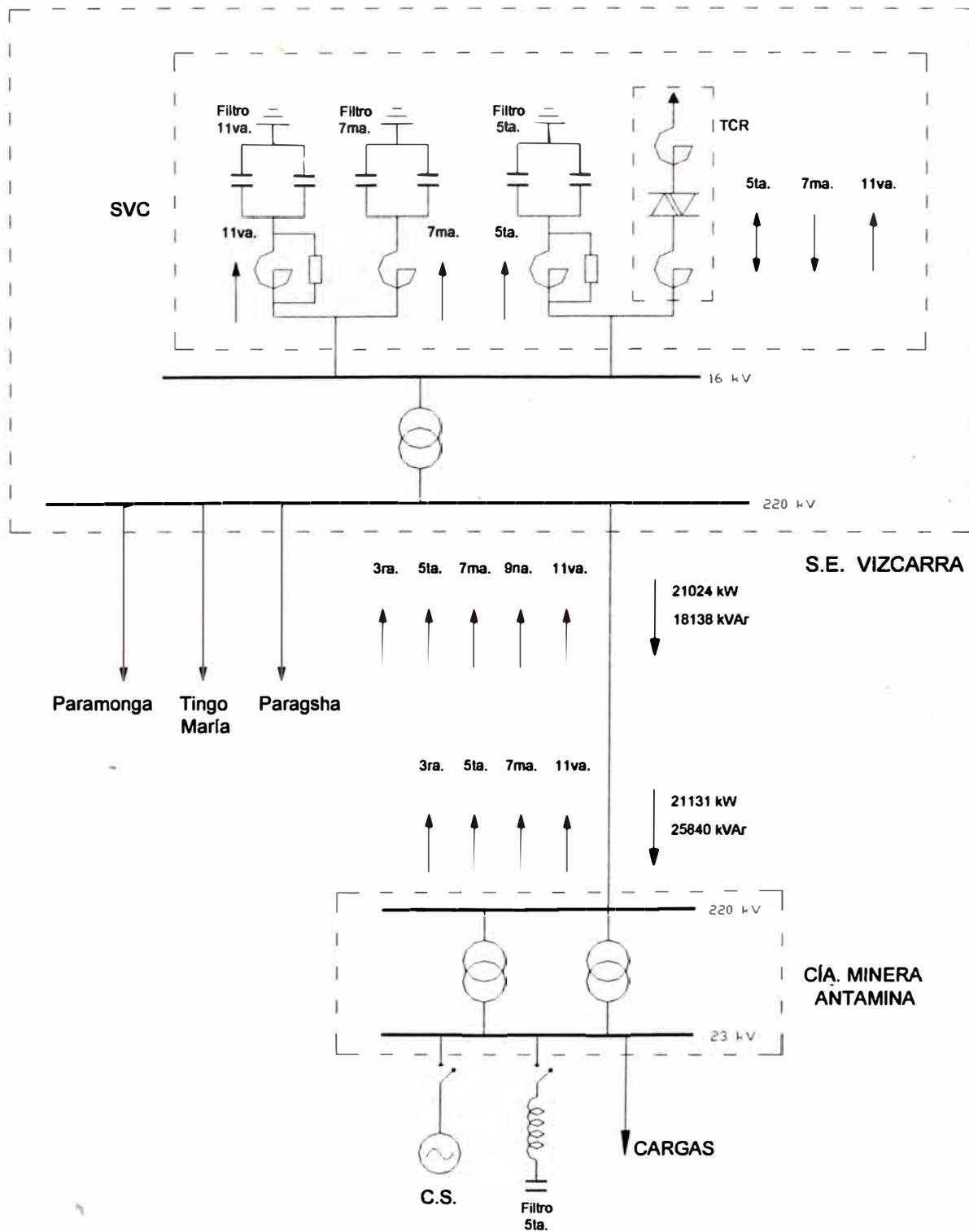
Desde las 5:50 hrs. hasta las 18:50 hrs. del 12/07/2005.



ETAPA IV

CONDICIÓN DE OPERACIÓN CON CARGA RESTRINGIDA (SIN FILTRO 5TA. Y SIN COMPENSADOR SÍNCRONO)

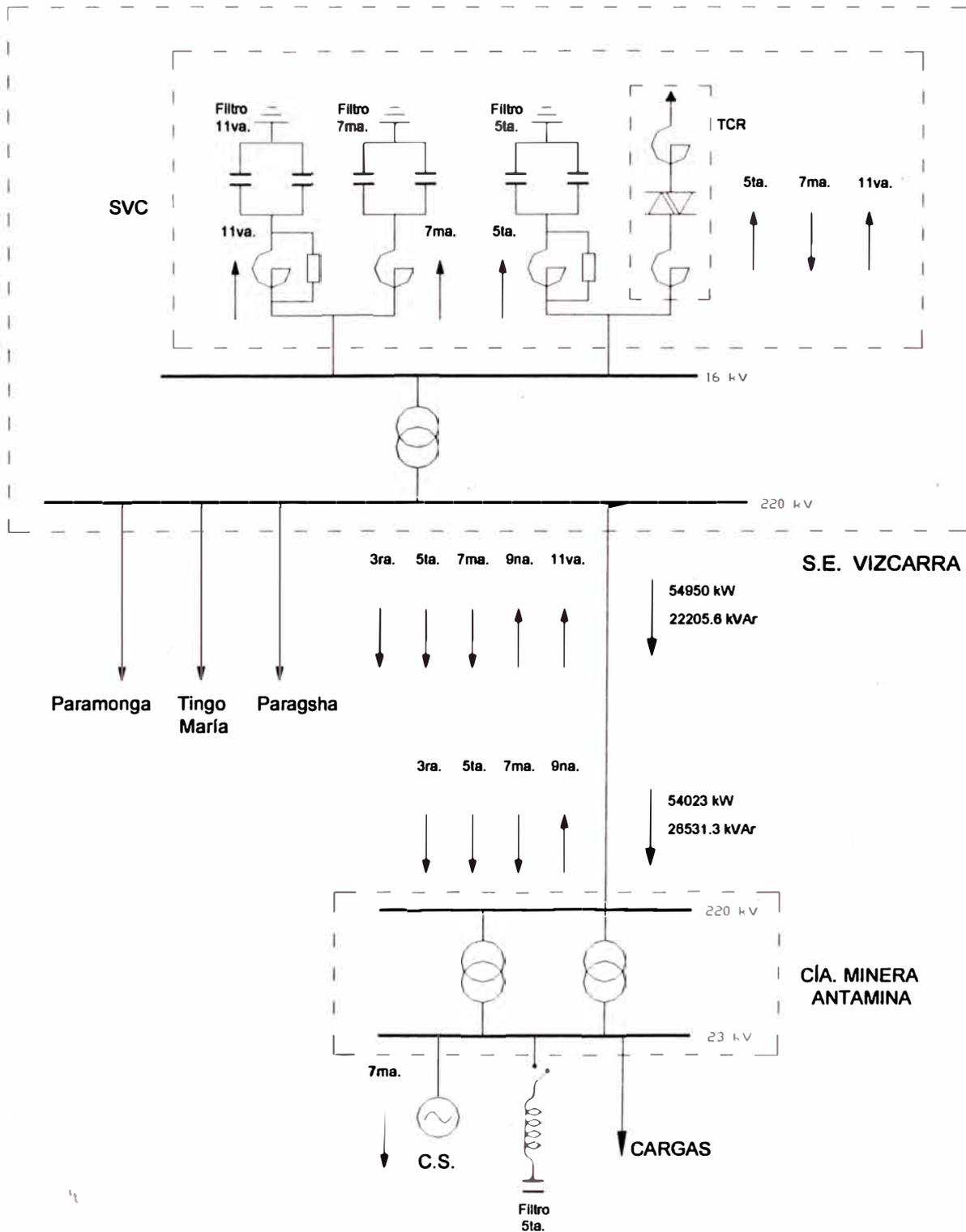
Desde las 18:55 hrs. hasta las 20:50 hrs. del 12/07/2005.



ETAPA V

CONDICIÓN DE AUMENTO DE CARGA (SIN FILTRO 5TA. Y CON COMPENSADOR SÍNCRONO)

Desde las 20:55 hrs. hasta las 21:50 hrs. del 12/07/2005.



ANEXO G
EFFECTOS DE ENERGIZACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES Y
FILTROS

Table 8 Summary Of The Results Of Energizing A Transformer (Maximum Overvoltage Is Anywhere On The 220-kV System)		
System Conditions	Maximum Overvoltage Per unit	Maximum Inrush Current Amperes
Scenario 1		
1. (Case 1) All lines in service, two generators at Aguaytia, and with the SVC active. Energize the first transformer at Antamina.	1.35	850
2. (Case 13) One line from Paramonga to Chimbote open, two generators at Aguaytia, and with the SVC active. Energize the first transformer at Antamina.	1.42	845
3. (Case 15) One line from Paramonga to Chimbote open, two generators at Aguaytia, Tingo Maria transformer out of service, and with the SVC active. Energize the first transformer at Antamina.	1.45	847
4. (Case 17) One line from Paramonga to Chimbote open, no generators at Aguaytia, Tingo Maria transformer out of service, and with the SVC active. Energize the first transformer at Antamina.	1.59	777
5. (Case 22) Line from Vizcarra to Paramonga open, Tingo Maria transformer out of service, two generators at Aguaytia, and with the SVC active. Energize the first transformer at Antamina.	1.94	795
6. (Case 31) Both lines from Paramonga to Chimbote open, one generator at Aguaytia, and with the SVC active. Energize the first transformer at Antamina.	1.58	800
7. (Case 51) Both lines from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, two generators at Aguaytia, and with the SVC active. Energize the first transformer at Antamina.	1.62	781
8. (Case 51) Both lines from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, two generators at Aguaytia, and with the SVC in manual. Energize the first transformer at Antamina.	1.61	780
9. (Case 51) Both lines from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, two generators at Aguaytia, and with the TCR replaced with a fixed inductance of 7.5 mH. Energize the first transformer at Antamina.	1.995	787

Table 8 Summary Of The Results Of Energizing A Transformer (Maximum Overvoltage Is Anywhere On The 220-kV System)		
System Conditions	Maximum Overvoltage Per unit	Maximum Inrush Current Amperes
10. (Case 51) Both lines from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, two generators at Aguaytia, and with SVC set to 0 MVAR net output before switching. Energize the first transformer at Antamina.	1.622	784
Scenario 2		
11. (Case 37) All lines in service, one generator at Aguaytia, full load at Antamina, and with the SVC active. Energize the second transformer at Antamina.	1.14	1045
12. (Case 38) All lines in service, no generators at Aguaytia, full load at Antamina, and with the SVC active. Energize the second transformer at Antamina.	1.12	1000
13. (Case 48) One line from Paramonga to Chimbote open, both lines from Paramonga to Zapallal open, two generators at Aguaytia, full load at Antamina, and with the SVC active. Energize the second transformer at Antamina.	1.12	995
14. (Case 62) Tingo Maria transformer out of service, no generators at Aguaytia, full load with no synchronous condensers at Antamina, and with the SVC active. Energize the second transformer at Antamina.	1.11	816
Scenario 3		
15. (Case 1) Antamina line breaker open and two generators at Aguaytia. Energize the SVC transformer.	1.08	443
16. (Case 3) Antamina line breaker open, two generators at Aguaytia, and Tingo Maria transformer out of service. Energize the SVC transformer.	1.09	440
17. (Case 6) Antamina line breaker open, no generators at Aguaytia, and Tingo Maria transformer out of service. Energize the SVC transformer.	1.22	367
18. (Case 23) Antamina line breaker open, Vizcarra to Paramonga line open, and one generator at Aguaytia. Energize the SVC transformer.	1.55	298
Scenario 4		
19. (Case 12) Full load at Antamina, one line from Paramonga to Zapallal open, no generators at Aguaytia, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the SVC transformer.	1.07	440

Table 8 Summary Of The Results Of Energizing A Transformer (Maximum Overvoltage Is Anywhere On The 220-kV System)		
System Conditions	Maximum Overvoltage Per unit	Maximum Inrush Current Amperes
20. (Case 29) Full load at Antamina, one line from Paramonga to Zapallal open, one line from Paramonga to Chimbote open, and Vizcarra to Tingo Maria line open. Energize the SVC transformer.	1.06	403
21. (Case 60) Full load at Antamina with no synchronous condensers, one transformer at Antamina, one generator at Aguaytia, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the SVC transformer.	1.04	452
22. (Case 65) Full load at Antamina with no synchronous condensers, one transformer at Antamina, one generator at Aguaytia, one line from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the SVC transformer.	1.10	412

1.1.3 SVC Transformer Saturation Characteristics

The following information was provided by ABB Power Systems on 6/6/00.

Service Conditions

- Energized Terminal H1
- Tap Position 0
- DC Magnetization N

Current Calculations

U/U0	U kV	I RMS
1.00	220.0	0.40
1.05	231.0	0.44
1.10	242.0	0.50
1.15	253.0	0.62
1.20	264.0	0.87
1.30	286.0	4.5
1.40	308.0	22
1.60	352.0	102
1.80	396.0	210
2.00	440.0	334

Table 9 Summary Of The Results Of Energizing A Filter (Maximum Overvoltage Is Anywhere On The 220-kV System)	
System Conditions	Maximum Overvoltage Per unit
26. (Scenario 22) Vizcarra to Paramonga line open, Vizcarra to Antamina line open at Antamina, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the 5 th harmonic filter at Vizcarra without arresters on the 220-kV system.	2.15 (Vizcarra)
26a. (Scenario 22) Vizcarra to Paramonga line open, Vizcarra to Antamina line open at Antamina, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the 5 th harmonic filter at Vizcarra with arresters on the 220-kV system.	1.92 (Vizcarra)
27. (Scenario 24)) Line from Vizcarra to Tingo Maria open and the Vizcarra to Antamina line open at Antamina,. Energize the 5 th harmonic filter at Vizcarra.	1.72 (Vizcarra)
28. (Scenario 60) The Vizcarra to Antamina line open at Antamina and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the 5 th harmonic filter at Vizcarra.	1.56 (Antamina line end)
29. (Scenario 1) The Vizcarra to Antamina line open at Antamina, and two generators at Aguaytia. Energize the 7 th and 11 th filters at Vizcarra.	1.32 (Vizcarra)
30. (Scenario 21)) Vizcarra to Paramonga line open and the Vizcarra to Antamina line open at Antamina,. Energize the 7 th and 11 th filters at Vizcarra.	1.47 (Vizcarra)
31. (Scenario 22) Vizcarra to Paramonga line open, the Vizcarra to Antamina line open at Antamina, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the 7 th and 11 th filters at Vizcarra.	1.51 (Vizcarra)
32. (Scenario 46) Vizcarra to Antamina line open and one generator at Aguaytia. Energize the 7 th and 11 th filters at Vizcarra.	1.32 (Vizcarra)

Table 9 Summary Of The Results Of Energizing A Filter (Maximum Overvoltage Is Anywhere On The 220-kV System)	
System Conditions	Maximum Overvoltage Per unit
11. (Scenario 21) Vizcarra to Paramonga line open. Energize the first 13 th filter at Antamina.	1.11 (Antamina)
12. ((Scenario 1) All lines in service and two generators at Aguaytia. Energize the second 2 nd and 3 rd filter set at Antamina.	1.10 (Antamina)
13. (Scenario 13) One line from Paramonga to Chimbote open. Energize the second 2 nd and 3 rd filter set at Antamina.	1.10 (Antamina)
14. (Scenario 21) Vizcarra to Paramonga line open. Energize the second 2 nd and 3 rd filter set at Antamina.	1.14 (Antamina)
15. (Scenario 6) No generators at Aguaytia and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the second 4 th and 5 th filter set at Antamina.	1.20 (Aguaytia)
16. (Scenario 18) One line from Paramonga to Chimbote open, no generators at Aguaytia, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the second 4 th and 5 th filter set at Antamina.	1.21 (Aguaytia)
17. (Scenario 53) Both lines from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, and no generators at Aguaytia. Energize the second 4 th and 5 th filter set at Antamina.	1.13 (Aguaytia)
18. (Scenario 6) No generators at Aguaytia and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the second 7 th and 11 th filter set at Antamina.	1.17 (Aguaytia)
19. (Scenario 12) One line from Paramonga to Zapallal open, no generators at Aguaytia, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the second 7 th and 11 th filter set at Antamina.	1.15 (Aguaytia)
20. (Scenario 18) One line from Paramonga to Chimbote open, no generators at Aguaytia, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the second 7 th and 11 th filter set at Antamina.	1.17 (Aguaytia)
21. (Scenario 22) Vizcarra to Paramonga line open and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the second 13 th filter at Antamina.	1.11 (Antamina)
22. (Scenario 53) Both lines from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, and no generators at Aguaytia. Energize the second 13 th filter at Antamina.	1.09 (Antamina)
23. (Scenario 1) All lines in service and two generators at Aguaytia. Energize the second 2 nd and 3 rd filter set at Antamina with all other Antamina filters in service.	1.11 (Antamina)
24. (Scenario 21) Vizcarra to Paramonga line open. Energize the second 2 nd and 3 rd filter set at Antamina with all other Antamina filters in service.	1.16 (Antamina)
25. (Scenario 19) One line from Paramonga to Zapallal open, the Vizcarra to Antamina line open at Antamina, and the Vizcarra to Tingo Maria line open. Energize the 5 th harmonic filter at Vizcarra.	1.73 (Vizcarra)

conditions prior to switching. Time simulation and frequency scan plots for selected cases are shown in Appendix F.

The highest overvoltages were produced when energizing the 5th harmonic filter at Vizcarra with the only source of voltage being the two generators at Aguaytia. The resulting overvoltages were high enough that the arresters would conduct. If one of the arresters was set to the minimum characteristic and all of the other arresters with their maximum characteristics, the maximum energy dissipation was 60 kJ. This is well below the rated energy of 1980 kJ and would not damage the arrester.

The voltage waveforms for the highest overvoltages for each filter switching case are presented in the appendix where the case number on the plot refers to the **bold** number in the table.

System Conditions	Maximum Overvoltage Per unit
1. (Scenario 1) All lines in service and two generators at Aguaytia. Energize the first 2 nd and 3 rd filter set at Antamina.	1.07 (Antamina)
2. (Scenario 3) Tingo Maria transformer out of service. Energize the first 2 nd and 3 rd filter set at Antamina.	1.07 (Antamina)
3. (Scenario 30) Both lines from Paramonga to Chimbote open. Energize the first 2 nd and 3 rd filter set at Antamina.	1.07 (Antamina)
4. (Scenario 18) One line from Paramonga to Chimbote open, no generators at Aguaytia, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the first 4 th and 5 th filter set at Antamina.	1.27 (Aguaytia)
5. (Scenario 24) Line from Vizcarra to Tingo Maria open. Energize the first 4 th and 5 th filter set at Antamina.	1.14 (Antamina)
6. (Scenario 62) No synchronous condensers at Antamina, no generators at Aguaytia, one transformer at Antamina, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the first 4 th and 5 th filter set at Antamina.	1.18 (Aguaytia)
7. (Scenario 1) All lines in service and two generators at Aguaytia. Energize the first 7 th and 11 th filter set at Antamina.	1.16 (Antamina)
8. (Scenario 19) One line from Paramonga to Zapallal open and the Vizcarra to Tingo Maria line open. Energize the first 7 th and 11 th filter set at Antamina.	1.23 (Antamina)
9. (Scenario 29) One line from Paramonga to Chimbote open, one line from Paramonga to Zapallal open, and the Vizcarra to Tingo Maria line open. Energize the first 7 th and 11 th filter set at Antamina.	1.20 (Antamina)
10. (Scenario 18) One line from Paramonga to Chimbote open, no generators at Aguaytia, and the Tingo Maria transformer out of service. Energize the first 13 th filter at Antamina.	1.11 (Aguaytia)

ANEXO H
PROCEDIMIENTO DE MANIOBRAS DE SISTEMA DE POTENCIA

CONEXIÓN L2255 Y TOMA DE CARGA - SUBESTACIÓN PRINCIPAL

206

Fecha

Hora

Superintendencia de Mantenimiento Elctrico / Instrumentacion

Coordinadores

SE Antamina

Gen Set

Supervisor Elctrico

VERSION 1

Hora	Act. N°	Descripción	Responsable	Medio de Comunicación	Ubicación	Observaciones	Hora de Ejecucion
TOMA DE CARGA							
11:00 hr	1	SEVIZ comunicara a SECMA la conexion de la linea L-253 segun anexo 5			SEVIZ		
11:05 hr	2	SEVIZ comunicara a SECMA la conexion de la linea L-252 segun anexo 5			SEVIZ		
11:10 hr	3	SEVIZ comunicara a SECMA la conexion del SVC segun anexo 5			SEVIZ		
11:15 hr	4	SEVIZ comunicara el inicio de secuencia para la conexion de la linea L-255 segun anexo 5			SEVIZ		
11:15 hr	5	SEVIZ comunica a SECMA para cerrar el interruptor del anillo energizando la L-255. (Interruptor IN 2402 y IN 2404 cerrado).			SEVIZ		
11:17 hr	6	CMA comunica a SEVIZ que cerrara el interruptor IN 2408 de la linea L-255 energizando la barra.			SECMA		
11:18 hr	7	CMA verificara la presencia de tension en las tres fases y que la tension estee en el rango de 220 +/- 5% kV			SEVIZ		
11:20 hr	8	SECMA informara a SEVIZ que iniciaremos la secuencia de maniobras para energizar los transformadores de potencia.			SECMA		
11:20 hr	9	CMA informara a Centro de Control Edegel que Antamina procedera a tomar carga.			SECMA		
11:21 hr	10	Cerrar los interruptores en 220kV para ambos transformadores 740 - CBH- 004 y 740 - CBH - 003 en la seccion 20.			SECMA		
11:22 hr	11	Cerrar el interruptor en 23kV 740-CBM-005 en la seccion 14 del transformador 740-XFR-001 .			SECMA		
11:23 hr	12	Comunicar a Supervisor Elctrico Mina la energizacion de la seccion 13.			SECMA		
11:23 hr	13	Proceder a comunicar a Sala de Control Mineroducto la energizacion de las secciones 10 y 35.			SECMA		
11:24 hr	14	Comunicar a Sala de Control Concentradora la energizacion de las secciones 6 y 32 correspondientes a Grindind, Flotacion de Cobre, Auxiliares de molienda.			SECMA		
11:25 hr	15	Comunicar a Sala de Control Concentradora la energizacion de las secciones 7 y 34 correspondiente a Flotacion Zinc, Moly Plant			SECMA		
11:25 hr	16	Comunicar a Sala de Control Chancadora la energizacion de la seccion 23.			SECMA		
11:26 hr	17	Comunicar a Sala de Control Concentradora la energizacion de la seccion 24 correspondiente a Reclaim Water.			SECMA		
11:27 hr	18	Se procede a energizar la Seccion 12			SECMA		
11:28 hr	19	Inicio de maniobras de puesta en paralelo de transformadores: Ir al patio de llaves y chequear que los taps de ambos transformadores se encuentren en el mismo paso o a lo mas una diferencia de tres.			SECMA		
11:29 hr	20	Chequear que las tensiones de los secundarios de ambos transformadores sean iguales, es decir 23kV			SECMA		
11:30 hr	21	Cumplidas estas condiciones cerrar el interruptor 740-CBM-006 en la seccion 22 del tranformador 740-XFR-002			SECMA		
11:30 hr	22	Se debe de tener 23kV en toda la barra A y B.			SECMA		
11:30 hr	23	Comunicar a la Sala de Control Concentradora que espere el aviso para arranque de planta por parte de S. E Principal. Primero se tiene que sincronizar los condensadores sincronos.			SECMA		
11:30 hr	24	Proceder a Sincronizar los Synchronuous Condensers, previo arranque de los sistemas auxiliares.			SECMA		
11:45 hr	25	Arrancar desde el panel view del tablero 740-COA-005 los filtros de armonicos en pagina Home presionando F2.			SECMA		

CONEXIÓN L2255 Y TOMA DE CARGA - SUBESTACIÓN PRINCIPAL

207

Fecha

Hora

Superintendencia de Mantenimiento Electrico / Instrumentacion

Coordinadores

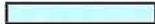
SE Antamina

Gen Set

Supervisor Electrico

VERSION 1

Hora	Act. N°	Descripción	Responsable	Medio de Comunicación	Ubicación	Observaciones	Hora de Ejecución
11:50 hr	26	Comunicar a Sala de Control Concentradora que todo esta listo desde Power Systems, a la espera de arranque de Planta.			SECMA		
11:55 hr	27	Transferir los circuitos de emergencia de planta al circuito de red normal (<u>ER 09: 390 - MCL - 337 y ER 10: 360 - MCL - 322</u>).			Gen Set		
11:55 hr	28	En coordinacion con Gen Set proceder a transferir carga hacia la red normal.			SECMA		
12:00 hr	29	Comunicar a SEVIZ la normalizacion de carga de Antamina.			SECMA		



: Maniobras a Cargo de Subestacion Vizcarra (SEVIZ)



: Maniobras a Cargo de Subestacion Principal Antamina (SECMA)

REDUCCION DE CARGA _DESCONEXION L2255

Fecha

Hora

Superintendencia de Mantenimiento Electrico / Instrumentacion

Coordinadores

SE Antamina

Gen Set

Se Vizcarra

Supervisor Electrico

VERSION 1

Hora	Act. N°	Descripción	Responsable	Medio de Comunicación	Ubicación	Observaciones	Hora de Ejecucion
PRIMERA ETAPA							
5:30 hr	1	Verificar la reduccion de carga en coordinacion con Control Room Concentradora			SECMA		
5:45 hr	2	Verificar que todos los molinos se encuentren con 0 MW. (Secciones: 8, 9, 30 y 31)			SECMA		
5:45hr	3	En el Panel View de tablero 740-COA-005 ir a la pagina Home y presionar F2 "Stop Filters", esperar que todos los filtros salgan de servicio. Luego presionar F1 "Stop Motor" para sacar de servicio los Condensadores Sincronos.			SECMA		
6:00 hr	4	Inicio de secuencia de maniobras para arranque de grupos y transferencia de carga de la Seccion 12.			Gen Set		
6:20 hr	5	V. Cordova comunicara a W. Alonzo que la transferencia de carga de la Seccion 12 fue ejecutado y Autoriza para que se apertura el Breaker de Secc. 12			Gen Set SECMA		
6:25 hr	6	W. Alonzo apertura el Breaker de la Seccion 12.			SECMA		
6:30 hr	7	Comunicar al Centro de control de la Chancadora la hora del corte de energia de secc 23 para que tome acciones del caso.			SECMA		
6:30 hr	8	Comunicar al Centro de control del Mineroducto la hora del corte de energia de los alimentadores hacia mineroducto. (secciones 10 y 35).			SECMA		
6:35 hr	9	Coordinar con Sala de Control / Supervisor Electrico, para la reduccion a 0MW de las cargas de Grinding, Flotacion Zinc, Reclaim Water, Chancadora para el corte total indicando la hora a la cual sera el corte (16:40 hr).			SECMA		
6:40 hr	10	Se comunica al Centro de Control y Supervisor Electrico Concentradora que se va proceder al corte de las secciones 6, 32, 7, 34, 23, 24; comunicados anteriormente. (item 3)			SECMA		
6:50 hr	11	Verificar en el PQM de la seccion 20 que la carga es 0MW o minima.			SECMA		
6:52 hr	12	Aperturar el interruptor 740 - CBM- 006 de la seccion 22 y luego el interruptor 740 - CBH - 004 de la seccion 20			SECMA		
6:54 hr	13	Aperturar el interruptor 740 - CBM- 005 de la seccion 14 y luego el interruptor 740 - CBH - 003 de la seccion 20			SECMA		
6:55 hr	14	CCEDG solicita a COES, autorizacion para inicio de Desconexion de L255					
6:55 hr	15	SECMA comunicara al SEVIZ el inicio de secuencia de maniobras para des energizar la linea L-255 y procederemos de acuerdo al anexo 5			SECMA		

- _____ : Maniobras a Cargo de Subestacion Vizcarra (SEVIZ)
- _____ : Maniobras a Cargo de Subestacion Principal Antamina (SECMA)

	PROCEDIMIENTO DE EXPORTACIÓN DE ENERGÍA DEL GENSET A LA SUBESTACIÓN PRINCIPAL	FECHA: 14.09.2006
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	200 ELABORADO POR: W. ALONZO
		APROBADO POR: J. MONTES

PROCEDIMIENTO 01

EXPORTACIÓN DE ENERGÍA DESDE EL GENSET A LA SUBESTACIÓN PRINCIPAL (L2255 FUERA DE SERVICIO)

CONDICIONES PREVIAS:

EL MINERODUCTO NO TRABAJARÁ CON EL SISTEMA DE EMERGENCIA

01 ELECTRICISTA DE POTENCIA EN EL GENSET, Y OTRO EN LA SUBESTACIÓN PRINCIPAL

PASO	LUGAR	A CARGO DE	DESCRIPCIÓN	Resultados / Observaciones
01	GENSET	ELEPOT	ARRANCAR LOS GRUPOS DEL GENSET. VER ANEXO 1: PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE DEL GENSET	<input type="checkbox"/>
02	GENSET	ELEPOT	VERIFICAR EL ESTADO DE LA SECCION 1	<input type="checkbox"/>
03	GENSET	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR EN 4.16 kV: 730-SWM-027.	<input type="checkbox"/>
03A	GENSET	ELEPOT	DESHABILITAR LA PROTECCIÓN 27 DEL RELÉ DE CUADRO DE ABB CORRESPONDIENTES AL INTERRUPTOR DE LA SECCIÓN 5: 730-SGM-026	<input type="checkbox"/>
04	GENSET	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR EN 23 kV: 730-SWM-026.	<input type="checkbox"/>
04A	GENSET	ELEPOT	DESHABILITAR LA PROTECCIÓN 27 EN EL RELÉ SR750 (Undervoltage 1 y 2) CORRESPONDIENTE A LA SECCIÓN 2	<input type="checkbox"/>
05	SE PRINCIPAL	ELEPOT	DESCONECTAR EL CONDENSADOR SINCRONO DEL BUS B.	<input type="checkbox"/>
06	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR 740-CBM-006 EN 23 kV DEL TRAF0 740-XFR-002 (SECCION 22).	<input type="checkbox"/>
07	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR 740-CBH-004 EN 23 kV DEL TRAF0 740-XFR-002 (SECCION 22).	<input type="checkbox"/>
08	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL SECCIONADOR 740-SWM-006 DE LA SECCION 22. VERIFICAR EN PATIO DE LLAVES SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.	<input type="checkbox"/>
09	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL SECCIONADOR 740-SWH-004 DE LA SECCION 22. VERIFICAR EN PATIO DE LLAVES SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.	<input type="checkbox"/>
10	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR PRIMERO EL INTERRUPTOR CORRESPONDIENTE A LA SECCIÓN 12. SEGUIDAMENTE ABRIR LOS INTERRUPTORES DE LAS SECCIONES 13, 10, 35, 24, 34, 7, 32 y 6.	<input type="checkbox"/>
11	SE PRINCIPAL	ELEPOT	COORDINAR CON SEVIZ LA DESCONEXION DE LA LINEA L-2255	<input type="checkbox"/>
12	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR 740-CBM-005 DEL TRAF0 740-XFR-001 (SECCION 14).	<input type="checkbox"/>

	PROCEDIMIENTO DE EXPORTACIÓN DE ENERGÍA DEL GENSET A LA SUBESTACIÓN PRINCIPAL		FECHA: 14.09.2006
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN		210 ELABORADO POR: W. ALONZO
			APROBADO POR: J. MONTES

13	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR 740-CBH-003 DEL TRAF0 740-XFR-001 (SECCION 14).	<input type="checkbox"/>
14	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR PRINCIPAL 740-CBH-001 (SECCION 20).	<input type="checkbox"/>
15	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL SECCIONADOR 740-SWM-005 DE LA SECCION 14. VERIFICAR EN PATIO DE LLAVES SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.	<input type="checkbox"/>
16	SE PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL SECCIONADOR 740-SWH-003 DE LA SECCION 14. VERIFICAR EN PATIO DE LLAVES SU CORRECTO FUNCIONAMIENTO.	<input type="checkbox"/>
17	SE PRINCIPAL	ELEPOT	COORDINAR CON SEVIZ PARA QUE DESCONECTE LA LINEA L-2255 Y LUEGO CONFIRME LA APERTURA DE LA MISMA.	<input type="checkbox"/>
18	SE PRINCIPAL	ELEPOT	REVELAR TENSION EN LA BARRA DE ENTRADA DE 220kV	<input type="checkbox"/>
19	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL SECCIONADOR DE TIERRA ST-415	<input type="checkbox"/>
20	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL SECCIONADOR DE TIERRA EN 23kV DEL BUS A	<input type="checkbox"/>
21	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL SECCIONADOR DE TIERRA EN 23kV DEL BUS B	<input type="checkbox"/>
22	SE PRINCIPAL	ELEPOT	VERIFICAR CON EL OPERADOR DE GENSET LA OPERACIÓN DE LOS GRUPOS.	<input type="checkbox"/>
23	GENSET	ELEPOT	SEGÚN EL PROCEDIMIENTO DE EXPORTACION (VER ANEXO 2), CERRAR EL INTERRUPTOR EN 4.16 kV DE LA SECCION 5 (730-SWM-027).	<input type="checkbox"/>
24	SE PRINCIPAL	ELEPOT	COORDINAR CON ELECTRICIDAD MINA QUE EL CIRCUITO DE SEEPAGE Y HUINCUSH SE ENCUENTRAN ABIERTOS.	<input type="checkbox"/>
25	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL INTERRUPTOR EN 23 kV: 730-SWM-026, PREVIA COORDINACION.	<input type="checkbox"/>
26	SE PRINCIPAL	ELEPOT	VERIFICAR LA OPERACIÓN DE LOS GRUPOS Y LUEGO DE COMPROBAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO CERRAR EL INTERRUPTOR DE LA SECCION 12 DE LA S.E. PRINCIPAL (740-SGM-001 – SECCION 12)	<input type="checkbox"/>
27	SE PRINCIPAL	ELEPOT	VERIFICAR LA PRESENCIA DE TENSION EN LA BARRA DE 23 kV (FASES R, S y T)	<input type="checkbox"/>
28	SE PRINCIPAL	ELECON	COORDINAR CON EL SUPERVISOR ELECTRICO CONCENTRADORA PARA CERRAR LOS CIRCUITOS AUTORIZADOS (Secciones 6, 32, 23, 10 y 35)	<input type="checkbox"/>
29	SE PRINCIPAL	ELEPOT	VERIFICAR CON EL OPERADOR DE GENSET LA CAPACIDAD DE LOS GRUPOS DE GENERACION.	<input type="checkbox"/>
30	ER-2, ER-4, ER-10	ELECON	EL SUPERVISOR ELECTRICO CONCENTRADORA DEBE ABRIR LOS TRANSFORMADORES DE 23/4.16 kV DE LAS SALAS ELECTRICAS ER-2, ER-4 Y ER-10 ANTES DE AUTORIZAR EL CIERRE DE LOS CIRCUITOS AUTORIZADOS.	<input type="checkbox"/>
31	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL INTERRUPTOR DE LA SECCION 6, PREVIA COORDINACION. VERIFICAR LA CARGA DE LOS GRUPOS.	<input type="checkbox"/>

	PROCEDIMIENTO DE EXPORTACIÓN DE ENERGÍA DEL GENSET A LA SUBESTACIÓN PRINCIPAL	FECHA: 14.09.2006
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	211 ELABORADO POR: W. ALONZO
		APROBADO POR: J. MONTES

32	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL INTERRUPTOR DE LA SECCION 32, PREVIA COORDINACION. VERIFICAR LA CARGA DE LOS GRUPOS.	<input type="checkbox"/>
33	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL INTERRUPTOR DE LA SECCION 23, PREVIA COORDINACION CON STACKER Y CHANCADO. VERIFICAR LA CARGA DE LOS GRUPOS.	<input type="checkbox"/>
34	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL INTERRUPTOR DE LA SECCION 10, PREVIA COORDINACION. VERIFICAR LA CARGA DE LOS GRUPOS.	<input type="checkbox"/>
35	SE PRINCIPAL	ELEPOT	CERRAR EL INTERRUPTOR DE LA SECCION 35, PREVIA COORDINACION. VERIFICAR LA CARGA DE LOS GRUPOS.	<input type="checkbox"/>
36	SE PRINCIPAL	ELEPOT	VERIFICAR EL ESTADO DE LA GENERACION DE LOS GRUPOS. HACER UN MONITOREO PERMANENTE.	<input type="checkbox"/>

Nota1:

Nota2:

Nota3:

Nota4:

	PROCEDIMIENTO DE RECONEXION Y ENERGIZACION DE LA LINEA L-2255	FECHA: 14.09.2006
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	ELABORADO POR: W. ALONSO 212
		APROBADO POR: J. MONTES

PROCEDIMIENTO 02

RECONEXION Y ENERGIZACION DE LA LINEA L-2255 (L-2255 FUERA DE SERVICIO)

CONDICIONES PREVIAS:

ANTAMINA TRABAJANDO SOLO CON LOS GRUPOS DEL GENSET.

EL MINERODUCTO NO TRABAJARÁ CON EL SISTEMA DE EMERGENCIA

01 ELECTRICISTA DE POTENCIA EN EL GENSET, Y OTRO EN LA SUBESTACIÓN PRINCIPAL

PASO	LUGAR	A CARGO DE	DESCRIPCIÓN	Resultados / Observaciones
I	S.E. PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR LOS SECCIONADORES DE TIERRA DEL BUS A Y DEL BUS B.	<input type="checkbox"/>
II	S.E. PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL SECCIONADOR DE TIERRA ST-415.	<input type="checkbox"/>
III	S.E. PRINCIPAL	ELEPOT	COORDINAR CON SEVIZ LA ENERGIZACION DE LA LINEA L-2255.	<input type="checkbox"/>
IV	S.E. PRINCIPAL	ELEPOT	VERIFICAR QUE LA LINEA L-2255 SE ENCUENTRE ENERGIZADA. VER EN LA SECCION 20 LAS LECTURAS DE LAS TENSIONES RS, ST y TR EN EL PQM. DEBEN INDICAR 220 kV.	<input type="checkbox"/>
V	S.E. PRINCIPAL	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR DE LA SECCION 12 (730-SGM-001).	<input type="checkbox"/>
VI	GENSET	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR EN 23 kV DEL GENSET.	<input type="checkbox"/>
VII	GENSET	ELEPOT	ABRIR EL INTERRUPTOR EN 4.16 kV DEL GENSET.	<input type="checkbox"/>
VIII	S.E. PRINCIPAL	ELEPOT	ENERGIZAR LA LINEA L-2255 SEGÚN COMO SE INDICA A CONTINUACION:	<input type="checkbox"/>

CONEXION DE LA L-255 (VIZCARRA – ANTAMINA)

CONDICIONES PREVIAS:

- > L-255 FUERA DE SERVICIO.
- > L-253 Y SVC EN SERVICIO ó L-2254 Y SVC EN SERVICIO
- > LOS INTERRUPTORES Y SECCIONADORES DE LA L-255 EN S.E. VIZCARRA Y S.E. ANTAMINA DEBEN DE ESTAR ABIERTOS
- > EN SE VIZCARRA VERIFICAR QUE EL SECCIONADOR DE TIERRA SE ENCUENTRE ABIERTO: **ST-416**
- > EN SE ANTAMINA
 - ◆ VERIFICAR QUE LOS SECCIONADORES DE TIERRA SE ENCUENTREN ABIERTOS: **ST-417, ST-418, ST-419 Y ST-420**
 - ◆ VERIFICAR QUE LOS SECCIONADORES ADYACENTES A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA DEBEN DE ESTAR CERRADOS (TR1:SA-3029, 740-SWM-005 // TR2:SA-3031 Y 740-SMW-006). SI SE NECESITA QUE SOLO UN TRANSFORMADOR SE ENERGIZE ENTONCES VERIFICAR QUE LOS SECCIONADORES QUE DEBEN DEBEN DE ESTAR CERRADOS CORRESPONDAN A DICHO TRANSFORMADOR
 - ◆ CONFIRMAR QUE TODOS LOS INTERRUPTORES DE 23 KV EN EL 740-SGM-001 SE ENCUENTREN ABIERTOS.

	PROCEDIMIENTO DE RECONEXION Y ENERGIZACION DE LA LINEA L-2255	FECHA: 14.09.2006
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	ELABORADO POR: W. ALO 213
		APROBADO POR: J. MONTES

PASO	RESPONSABLE	DESCRIPCION	CODIGO	Hora ejecución
01	SEVIZ	COMUNICARA AL COORDINADOR DEL SISTEMA (COES) EL INICIO DE LAS MANIOBRAS DE CONEXION DE LA L-255		
02	SEVIZ	EN CORDINACIONACION CON EL OPERADOR DE SEANT EJECUTAR LAS SIGUIENTES MANIOBRAS	L-255	
03	SEANT	VERIFICAR LAS POSICIONES ABIERTAS DE LOS SECCIONADORES DE TIERRA DE L-255	ST-417 ST-418 ST-419 ST-420	
04	SEVIZ	VERIFICAR LA POSICION ABIERTO DEL SECCIONADOR DE TIERRA DE L-255	ST-416	
05	SEANT	CERRAR EL SECCIONADOR DE BARRA	SA-3027	
06	SEANT	CERRAR EL SECCIONADOR DE LINEA	SL-3025	
07	SEVIZ	CERRAR LOS SECCIONADORES ADYACENTES AL INTERRUPTOR IN-2404	SE-3017 SE-3015	
08	SEVIZ	CERRAR EL SECCIONADOR DE LINEA DE L-255	SL-3013	
09	SEVIZ	VERIFICAR QUE LA TENSION EN EL ANILLO VIZCARRA SEA MENOR O IGUAL A 224.4 KV		
10	SEVIZ	ENERGIZAR LA L-255 CERRANDO EL INTERRUPTOR DEL ANILLO EN VIZCARRA	IN-2404	
11	SEVIZ	SEVIZ COMUNICARA A SEANT QUE PROCEDERA A CERRAR LOS SECCIONADORES ADYACENTES AL INTERRUPTOR IN-2478 (*)	SE-3229 SE-3231	
12	SEVIZ	SEVIZ COMUNICARA A SEANT EL CIERRE DEL ANILLO COMPLETAMENTE CON EL INTERRUPTOR IN-2478(*)	IN-2478	
13	SEANT	VERIFICAR LA PRESENCIA DE TENSION EN LAS TRES FASES Y QUE LA TENSION ESTE EN EL RANGO DE 220KV+/-5% (209 -230 Kv) EN LA S.E. ANTAMINA.	LECTURAS DEL PQM (SECCION 20)	
14	SEANT	PROCEDER A RESETEAR EL TRIP POR UNDERVOLTAGE EN RELE DEL IN-2408 Y LUEGO DESBLOQUEAR EL RELE 86 (Verificar el reseteo)	RELE SR 750 (SECCION 20)	
14A	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ Y CERRAR EL INTERRUPTOR IN-2408 DE L-255, ENERGIZANDO LA BARRA EN LA S.E. ANTAMINA	IN-2408 (SECCION 20)	
14B	SEANT	SEANT CONFIRMARA A SEVIZ QUE LOS SECCIONADORES ADYACENTES AL CIRCUITO DEL TRANSFORMADOR No 2 SE ENCUENTREN CERRADOS	SE-3031 740-SWM-006	
14C	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ Y CERRAR EL INTERRUPTOR IN-2412 ENERGIZANDO EL TRANSFORMADOR No 2 (740-XFR-002)	IN-2412 (SECCION 20)	
14D	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ Y CERRAR EL INTERRUPTOR 740-CBM-006 ENERGIZANDO LA BARRA DE 23 KV	740-CBM-006 (SECCION 22)	

(*): La línea L254(Vizcarra-Paragsha), estará en servicio y sincronizado con la Línea L-2253

	PROCEDIMIENTO DE RECONEXION Y ENERGIZACION DE LA LINEA L-2255	FECHA: 14.09.2006
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	ELABORADO POR: WALDO 214
		APROBADO POR: J. MONTES

PARA PONER EN PARALELO EL TRANSFORMADOR 1

15	SEANT	SEANT CONFIRMARA A SEVIZ QUE LOS SECCIONADORES ADYACENTES AL CIRCUITO DEL TRANSFORMADOR No 1 SE ENCUENTREN CERRADOS	SE-3029 740-SWM-005	
15A	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ QUE SE INICIARA EL PROCEDIMIENTO DE PONER EN PARALELO EL TRANSFORMADOR No1 (740-XFR-001) Y PROCEDER A CERRAR EL IN-2410 (Energizando el Trans. 1)	IN-2410 (SECCION 20)	
16	SEANT	VERIFICAR EL RELE BECKWITH PARALELO, SE ENCUENTRE EN LA POSICION PARALELO, EN AMBOS TRANSFORMADORES	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	
17	SEANT	OBSERVAR LA POSICION DEL TAP DEL TRANSFORMADOR No1 (En servicio), LUEGO IR AL PANEL DEL OTRO TRANSFORMADOR Y PONER EN MANUAL EL SWITCH DEL CAMBIADOR DE TAP Y LLEVAR EL TAP A LA POSICION IGUAL DEL TRANSFORMADOR No2.	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	
18	SEANT	COMUNICAR AL OPERADOR QUE ESTA EN LA SALA DE SUBESTACION QUE LAS POSICIONES DE LOS TAP SON IGUALES	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	
19	SEANT	EL OPERADOR DE LA SUBESTACION, DEBE VERIFICAR QUE EL MEDIDOR MONOFASICO DE VOLTAJE (Lectura Transformador secundario)	SECCIONES 15 Y 21	
20	SEANT	CUMPLIDAS LAS CONDICIONES DEL PARALELISMO (ITEMS 17, 18, 19 Y 20), PROCEDER A CERRAR EL INTERRUPTOR 740-CBM-005	SECCION. 14	
21	SEANT	VERIFICAR EN LOS RELES SR750, DE LOS TRANSFORMADORES QUE LA REPARTICION DE CARGA SEA SIMILAR.	SECCIONES 14 Y 22	
22	SEANT	IMPORTANTE: EN EL PANEL DEL TRANSFORMADOR No2 ,SE DEBE PONER EN AUTOMATICO EL SWITCH DEL CAMBIADOR DE TAP	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	

Nota1: Es necesario que en las maniobras participe un Coordinador y un operador, con medio de comunicacion via radios CH4.

Nota2: **EL COORDINADOR SOLICITARA UN SILENCIO RADIAL PARA CH4 Y SOLO DEBERAN DE HACER USO DE ESTE CANAL LOS ENCARGADOS DE LAS MANIOBRAS (Dep. Electrico)**

PASO	LUGAR	A CARGO DE	DESCRIPCIÓN	Resultados / Observaciones
IX	GENSET	ELEPOT	EMPLEAR EL PROCEDIMIENTO DE AUTO TRANSFER DE LOS GRUPOS DE EMERGENCIA A LA RED ELECTRICA DE LA S.E. PRINCIPAL.	□

PROCEDIMIENTO DE MANIOBRAS DEL SISTEMA DE POTENCIA 220/23 KV-CONTINGENCIA		FECHA: 12.03.2003
SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO ELECTRICO		REVISION: 0
REALIZADO: W. ALONZO	APROBADO:	PAG. 1 / 2

RECONEXION DE LA L-255 (VIZCARRA – ANTAMINA) _ Después de un corte total .

CONDICIONES PREVIAS:

L-255 FUERA DE SERVICIO.

L-253 Y SVC EN SERVICIO ó L-2254 Y SVC EN SERVICIO

EN SE VIZCARRA VERIFICAR QUE LOS SECCIONADORES SE ENCUENTREN CERRADOS: SE-3015 Y SE-3017

EN SE ANTAMINA VERIFICAR QUE LOS SECCIONADORES DE TIERRA SE ENCUENTRAN ABIERTOS: ST-417, ST-418, ST-419 Y ST-420

EN SE ANTAMINA VERIFICAR QUE LOS SECCIONADORES DE BARRA /LINEA SE ENCUENTRAN CERRADOS: SL-3025, SA-3027, SA-3029, SA-3031, 740-SWM-005 Y 740-SWM-006

PASO	RESPONSABLE	DESCRIPCION	CODIGO
01	SEANT	PROCEDER A ABRIR LOS INTERRUPTORES DE LOS TRANF. LADO 23 KV – SECCION 14 Y SECCION 22	740-CBM-005 740-CBM-006
02	SEANT	PROCEDER A ABRIR LOS INTERRUPTORES DE LOS FEEDERS LADO 23 KV – SECCIONES <u>A, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34,35 Y 36. En caso de los filtros y CS verificar su apertura automatica enviada por el control del PFC.</u>	
03	SEANT	COMUNICARSE CON EL OPERADOR DE SEVIZ Y PREGUNTAR LAS CAUSAS DE LA FALLA Y/O ESTATUS DE LOS RELES DE SEVIZ	Portadora: 7852 / 7851 Directo: 044-450500
04	SEVIZ	COMUNICARA AL COORDINADOR DEL SISTEMA (CNS) EL INICIO DE LAS MANIOBRAS DE CONEXION DE LA L-255	
05	SEVIZ	EN CORDINACIONACION CON EL OPERADOR DE SEANT EJECUTARA LAS SIGUIENTES MANIOBRAS	L-255
06	SEVIZ	VERIFICAR QUE LA TENSION EN EL ANILLO VIZCARRA SEA MENOR O IGUAL A 224.4 KV	L-255
07	SEVIZ	ENERGIZAR LA L-255 CERRANDO EL INTERRUPTORES DEL ANILLO EN VIZCARRA	IN-2404
08	SEANT	VERIFICAR LA PRESENCIA DE TENSION EN LAS TRES FASES Y QUE LA TENSION ESTE EN EL RANGO DE 220KV+/-5% (209 –230 Kv) EN LA S.E. ANTAMINA.	LECTURAS DEL PQM (SECCION 20)
09	SEANT	PROCEDER A RESETEAR EL TRIP POR UNDERVOLTAGE EN RELE DEL IN-2408 Y LUEGO DESBLOQUEAR EL RELE 86 (Verificar el reseteo)	RELE SR 750 (SECCION 20)
10	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ Y CERRAR EL INTERRUPTOR IN-2408 DE L-255, ENERGIZANDO LA BARRA EN LA S.E. ANTAMINA	IN-2408 (SECCION 20)
11	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ Y CERRAR EL INTERRUPTOR IN-2410 ENERGIZANDO EL TRANSFORMADOR No 1 (740-XFR-001)	IN-2410 (SECCION 20)
12	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ Y CERRAR EL INTERRUPTOR 740-CBM-005 ENERGIZANDO LA BARRA DE 23 KV	740-CBM-005 (SECCION 14)
13	SEANT	COMUNICAR A SUPERVISOR ELECTRICO MINA. LUEGO PROCEDER A ENERGIZAR LA SECCION 13_MINA	SECCION 13
14	SEANT	COMUNICAR A SUPERVISOR ELECTRICO CONCENTRADORA Y A SALA DE CONTROL. LUEGO PROCEDER A ENERGIZAR SECC. 6Y32	SECCIONES 6 Y 32

PROCEDIMIENTO DE MANIOBRAS DEL SISTEMA DE POTENCIA 220/23 KV-CONTINGENCIA		FECHA: 12.03.2003
SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO ELECTRICICO		REVISION: 0 216
REALIZADO: W. ALONZO	APROBADO:	PAG. 2 / 2

15	SEANT	COMUNICAR A SUPERVISOR ELECTRICO CONCENTRADORA Y A SALA DE CONTROL MINERODUCTO. LUEGO PROCEDER A ENERGIZAR LAS SECC. 10 Y 35 . (Solo para circuitos auxilires y esperar a que los CS esten sincronizados para dar pase al arranque de las bombas)	SECCIONES 10 Y 35	<input type="checkbox"/>
16	SEANT	COMUNICAR A SUPERVISOR ELECTRICO CONCENTRADORA Y A SALA DE CONTROL. LUEGO PROCEDER A ENERGIZAR LOS CIRCUITOS	SECCIONES 7,34 Y 24	<input type="checkbox"/>
17	SEANT	COMUNICAR A SUPERVISOR ELECTRICO CONCENTRADORA Y A SALA DE CONTROL. CHANCADORA LUEGO PROCEDER A ENERGIZAR SECC.23	SECCION 23	<input type="checkbox"/>
18	SEANT	COMUNICAR A SEVIZ QUE SE INICIARA EL PROCEDIMIENTO DE PONER EN PARALELO EL TRANSFORMADOR No2 (740-XFR-002) Y PROCEDER A CERRAR EL IN-2412 (Energizando el Trans. 2)	Portadora: 7852 / 7851 Directo: 044-450500 (SECCION 14)	<input type="checkbox"/>
18	SEANT	VERIFICAR EL RELE BECKWITH PARALELO, SE ENCUENTRE EN LA POSICION PARALELO, EN AMBOS TRANSFORMADORES	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	<input type="checkbox"/>
19	SEANT	OBSERVAR LA POSICION DEL TAP DEL TRANSFORMADOR No1 (En servicio), LUEGO IR AL PANEL DEL OTRO TRANSFORMADOR Y PONER EN MANUAL EL SWITCH DEL CAMBIADOR DE TAP Y LLEVAR EL TAP A LA POSICION IGUAL DEL TRNASFORMADOR No1.	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	<input type="checkbox"/>
20	SEANT	COMUNICAR AL OPERADOR QUE ESTA EN LA SALA DE SUBESTACION QUE LAS POSICIONES DE LOS TAP SON IGUALES	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	<input type="checkbox"/>
21	SEANT	EL OPERADOR DE LA SUBESTACION, DEBE VERIFICAR QUE EL MEDIDOR MONOFASICO DE VOLTAJE (Lectura Transformador secundario)	SECCIONES 15 Y 21	<input type="checkbox"/>
22	SEANT	CUMPLIDAS LAS CONDICIONES DEL PARALELISMO (ITEMS 17, 18, 19 Y 20), PROCEDER A CERRAR EL INTERRUPTOR 740-CBM-006	SECCION 22	<input type="checkbox"/>
23	SEANT	VERIFICAR EN LOS RELES SR750, DE LOS TRANSFORMADORES QUE LA REPARTICION DE CARGA SEA SIMILAR.	SECCIONES 14 Y 22	<input type="checkbox"/>
24	SEANT	IMPORTANTE: EN EL PANEL DEL TRANSFORMADOR No2 ,SE DEBE PONER EN AUTOMATICO EL SWITCH DEL CAMBIADOR DE TAP	PANEL DE CONTROL DE Transformadores	<input type="checkbox"/>
25	SEANT	INICIO DE MANIOBRAS SEGUN PROCEDIMIENTO No 3 , PARA SINCRONIZAR LOS CONDENSADORES SINCRONOS	PANEL VIEW	<input type="checkbox"/>
26	SEANT	EN COORDINACION CON OPERADOR DEL GEN SET, SE PROCEDE A ENERGIZAR LA SECC.12	OPERADOR GENSET (SECC. 12)	<input type="checkbox"/>
27	SEANT	REALIZADA LA TRANFERENCIA DE CARGA AL CIRCUITO NORMAL, SE PROCEDE A NORMALIZARLO LOS CIRCUITOS DE ER-9 Y ER10	OPERADOR GENSET (SECC. 12)	<input type="checkbox"/>

- Nota1: Este procedimiento se aplica despues de un Corte Total (0 MW) intespestivo por falla y/o transferencia de disparo de la L255
Nota2: Es necesario que en las maniobras participe un Coordinador y un operador, con medio de comunicacion via radios CH4.
Nota3: **EL COORDINADOR SOLICITARA UN SILENCIO RADIAL PARA CH4 Y SOLO DEBERAN DE HACER USO DE ESTE CANAL LOS ENCARGADOS DE LAS MANIOBRAS (Dep. Electrico)**

	PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN SISTEMA PFC	FECHA: 10.03.2003
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN---REV. 1	ELABORADO POR: W.ALO 217
		APROBADO POR:

PROCEDIMIENTO 4

CONEXION DE LOS DOS CONDENSADORES SINCRONOS (02 BANCOS FILTROS EN SERVICIO)

CONDICIONES PREVIAS:

VERIFICAR QUE LOS RELES 86 (interlock), DE LOS DEMAS FILTROS SE ENCUENTREN RESETEADOS
 VERIFICAR EN LAS SECCIONES 2 Y 26 LOS RELES 87T Y 86 ESTEN RESETEADOS (sin bandera amarilla)
 OBSERVAR SI EXISTEN ALARMAS EN LOS PANELES DE EXITACION (led rojo encendido)

PASO	PANEL	CAUSAS Y/O OPERACION	DESCRIPCIÓN	Resultados /Observaciones
01	740-COA -006 740-COA -007	SI TRIPEA POR UNITROL	RESETEAR, PONER EN EL MODO LOCAL, RESET Y LUEGO A MODO REMOTO EN EL PANEL CDP312 (verificar que led de Ready to start se encienda, de lo contrario esperar)	<input type="checkbox"/>
01A	740-COA -006 740-COA -007	SI TRIPEA MOTOR RELAY PROTECC.	RESETER DIRECTAMENTE EN EL RELE QUE APARARECE CON UN LED ENCENDIDO DE COLOR ROJO	<input type="checkbox"/>
01B	740-COA -006 740-COA -007	SI TRIPEA DIFEREN RELAY	RESETER DIRECTAMENTE EN EL RELE QUE APARARECE CON UN LED ENCENDIDO DE COLOR ROJO	<input type="checkbox"/>
02	PANEL VIEW	ALARMAS	F6: PARA RESETEAR TODAS LAS ALARMAS (Debera desaparecer la pantalla que se superpone cuando hay alarmas)	<input type="checkbox"/>
03	PANEL VIEW	IR A HOME	F10: PARA ACTIVAR EL CAMBIO DE PAGINA Y CON LAS FLECHAS UBICARSE EN LA PAG. HOME , LUEGO PRESIONAR ENTER	<input type="checkbox"/>
04	PANEL VIEW	EN HOME	INGRESAR EL PASSWORD Y ENTER (Aparecera la pag. Home activa)	<input type="checkbox"/>
05	PANEL VIEW	EN HOME	F3: PRESIONAR UNA VEZ PARA RESETEAR Y ASEGURARSE QUE TODAS LAS ALARMAS HAN SIDO RESETEADAS. VERIFICAR QUE LOS AUX. ESTEN EN ON (F4)	<input type="checkbox"/>
06	740-AFL-003 740-AFL-004	SWITCH DE ARRANQUE	LLEVAR EL SWITCH A POSICION "S"UNA SOLA VEZ (Esperar y verificar que los displays esten encendidos)	<input type="checkbox"/>
07	PANEL VIEW	EN HOME	F1: PARA DAR ARRANQUE A LOS MOTORES (Luego esperar y verificar que el panel del ACS600 inicie el arranque e incremente su velocidad)	<input type="checkbox"/>
07A	CELDA 23 kV	SECC 2	SI TRIPEA EL CS BUS A, EN EL INSTANTE DE SINCRONIZAR , (CONTINUARA CON EL CS BUS B, SIMPRE Y CUANDO EL RESETEO EN LA SECCION 2 SE HA DEMORADO MAS DE 5 MINUTOS.	<input type="checkbox"/>
07B	PANEL VIEW	EN HOME	F3: PARA RESETEAR ALARMA Y DE ENCONTRAR READY AL CS BUS A, NUEVAMENTE INTENTARA SU SINCRONIZACION	<input type="checkbox"/>
08	PANEL VIEW	EN HOME	SINCRONIZADO EL CS BUS A, INICIARA LA SINCRONIZACION DEL CS BUS B (El control del PFC NO permite la sincronizacion simultanea de ambos C. Sincronos)	<input type="checkbox"/>
09	PANEL VIEW	EN HOME	SINCRONIZADOS LOS 02 C. SINCRONOS, LOS FILTROS INGRESARAN EN FORMA AUTOMATICA ESPACIADOS 5 MINUTOS SEGUN LA EXIGENCIA DE LA CARGA (Setpoint 0.96 fdp)	<input type="checkbox"/>

Nota1: En la Pantalla **HOME**, lo que esta **resaltado** esta **listo para ejecutarse** si presionamos las funciones correspondientes

Nota2: Si el Condesador sincrono B tripea, proceder similar al paso 07A (Seccion 26)

Nota3: Se recomienda seguir los pasos y esperar a cumplir con el procedimiento

Nota4: Se recomienda, culminada la sincronizacion, procedser a apagar los 740-AFL-003/004

	PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN SISTEMA PFC	FECHA: 10.03.2003
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN---REV. 1	ELABORADO POR: W.ALO 218
		APROBADO POR:

PROCEDIMIENTO 4A

CONEXION DE LOS FILTROS (02 CONDESADORES SINCRONOS EN SERVICIO)

CONDICIONES PREVIAS:

OBSERVAR SI EXISTEN ALARMAS EN LOS PANELES DE EXITACION (led rojo encendido)

PASO	PANEL	CAUSAS Y/O OPERACION	DESCRIPCIÓN	Resultados /Observaciones
01	PANEL VIEW	ALARMAS	F6: PARA RESETEAR TODAS LAS ALARMAS (Debera desaparecer la pantalla que se superpone cuando hay alarmas)	<input type="checkbox"/>
02	PANEL VIEW	IR A HOME	F10: PARA ACTIVAR EL CAMBIO DE PAGINA Y CON LAS FLECHAS UBICARSE EN LA PAG. HOME , LUEGO PRESIONAR ENTER	<input type="checkbox"/>
03	PANEL VIEW	EN HOME	INGRESAR EL PASSWORD Y ENTER (Aparecera la pag. Home activa)	<input type="checkbox"/>
04	PANEL VIEW	EN HOME	F3: PRESIONAR UNA VEZ PARA RESETEAR Y ASEGURARSE QUE TODAS LAS ALARMAS HAN SIDO RESETEADAS	<input type="checkbox"/>
05	CELDA 23 kV	RELE 86	IMPORTANTE: RESETEAR LOS RELES 86 (Interlock).EN FORMA ASCENDENTE> SECC: A, 03, 04, 05, 36,27, 28 Y 29	<input type="checkbox"/>
06	PANEL VIEW	EN HOME	F3: PARA ASEGURARSE QUE TODA ALARMA FUE RESETEADA	<input type="checkbox"/>
07	PANEL VIEW	EN HOME	F2: START FILTROS E INGRESARAN EN FORMA AUTOMATICA ESPACIADOS 5 MINUTOS SEGUN LA EXIGENCIA DE LA CARGA (Setpoint 0.96 fdp)	<input type="checkbox"/>

Nota1: En la Pantalla **HOME**, lo que esta **resaltado** esta **listo para ejecutarse** si presionamos las funciones correspondientes

Nota2: Se recomienda seguir los pasos y esperar a cumplir con el procedimiento

	PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN SISTEMA PFC	FECHA: 10.03.2003
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN---REV. 1	ELABORADO POR: W.ALC. 319
		APROBADO POR:

PROCEDIMIENTO 4B

CONEXION DE LOS DOS CONDENSADORES SINCRONOS MAS FILTROS

CONDICIONES PREVIAS:

VERIFICAR QUE EL TIE BREAKER SE ENCUENTRE CERRADO
 VERIFICAR EN LAS SECCIONES 2 Y 26 LOS RELES 87T Y 86 ESTEN RESETEADOS (sin bandera amarilla)
 VERIFICAR EN EL MCL, QUE TODOS LOS TERMOMAGNETICOS ESTEN RESETEADOS
 CORRESPONDIENTES AL SISTEMA DE LUBRICACION.

PASO	PANEL	CAUSAS Y/O OPERACION	DESCRIPCIÓN	Resultados /Observaciones
01	740-COA -006 740-COA -007	SI TRIPEA POR UNITROL	RESETEAR, PONER EN EL MODO LOCAL, RESET Y LUEGO A MODO REMOTO(verificar que led de Ready to start se encienda, de lo contrario esperar)	<input type="checkbox"/>
01A	740-COA -006 740-COA -007	SI TRIPEA MOTOR RELAY PROTECC.	RESETER DIRECTAMENTE EN EL RELE QUE APARARECE CON UN LED ENCENDIDO DE COLOR ROJO	<input type="checkbox"/>
01B	740-COA -006 740-COA -007	SI TRIPEA DIFEREN RELAY	RESETER DIRECTAMENTE EN EL RELE QUE APARARECE CON UN LED ENCENDIDO DE COLOR ROJO	<input type="checkbox"/>
02	PANEL VIEW	ALARMAS	F6: PARA RESETEAR TODAS LAS ALARMAS (Debera desaparecer la pantalla que se superpone cuando hay alarmas)	<input type="checkbox"/>
03	PANEL VIEW	IR A HOME	F10: PARA ACTIVAR EL CAMBIO DE PAGINA Y CON LAS FLECHAS UBICARSE EN LA PAG. HOME , LUEGO PRESIONAR ENTER	<input type="checkbox"/>
04	PANEL VIEW	EN HOME	INGRESAR EL PASSWORD Y ENTER (aparecera la pag. Home)	<input type="checkbox"/>
05	PANEL VIEW	EN HOME	F3: PRESIONAR UNA VEZ PARA RESETEAR Y ASEGURARSE QUE TODAS LAS ALARMAS HAN SIDO RESETEADAS	<input type="checkbox"/>
06	PANEL VIEW	EN HOME	F4: PARA ENCENDER LOS AUXILIARES. (Solo a modo de comprobacion verificar el estatus de las bombas de lubricacion, escogiendo la pagina con F10 + las flechas+Enter). LUEGO REGRESAR A LA PAG. HOME	<input type="checkbox"/>
07	CELDA 23 kV	RELE 86	IMPORTANTE: RESETEAR LOS RELES 86 (Interlock). EN FORMA ASCENDENTE> SECC: A, 03, 04, 05, 36,27, 28 Y 29	<input type="checkbox"/>
08	740-AFL-003 740-AFL-004	SWITCH DE ARRANQUE	LLEVAR EL SWITCH A POSICION "S"UNA SOLA VEZ (Esperar y verificar que los display esten encendidos)	<input type="checkbox"/>
09	PANEL VIEW	EN HOME	F1: PARA DAR ARRANQUE A LOS MOTORES (Luego esperar y verificar que el panel del ACS600 inicie el arranque e incremente su velocidad)	<input type="checkbox"/>
09A	CELDA 23 kV	SECC 2	SI TRIPEA EL CS BUS A, EN EL INSTANTE DE SINCRONIZAR , (CONTINUARA CON EL CS BUS B, SIMPRE Y CUANDO EL RESETEO EN LA SECCION 2 SE HA DEMORADO MAS DE 5 MINUTOS.	<input type="checkbox"/>
09B	PANEL VIEW	EN HOME	F3: PARA RESETEAR ALARMA Y DE ENCONTRAR READY AL CS BUS A, NUEVAMENTE INTENTARA SU SINCRONIZACION	<input type="checkbox"/>
10	PANEL VIEW	EN HOME	SINCRONIZADO EL CS BUS A, INICIARA LA SINCRONIZACION DEL CS BUS B (El control del PFC NO permite la sincronizacion simultanea de ambos C. Sincronos)	<input type="checkbox"/>

	PROCEDIMIENTO DE CONEXIÓN SISTEMA PFC	FECHA: 10.03.2003
	PRINCIPIOS, PROCEDIMIENTOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN---REV. 1	ELABORADO POR: W.ALO 220
		APROBADO POR:

11	PANEL VIEW	EN HOME	F2: START FILTROS E INGRESARAN EN FORMA AUTOMATICA ESPACIADOS 5 MINUTOS SEGUN LA EXIGENCIA DE LA CARGA (Setpoint 0.96 fdp. Se recomienda esperar y verificar el ingreso del primer banco)	☐
----	------------	---------	---	---

Nota1: En la Pantalla **HOME**, lo que esta **resaltado** esta **listo para ejecutarse** si presionamos las funciones correspondientes

Nota2: Si el Condesador sincrono B tripea, proceder similar al paso **07A** (Seccion 26)

Nota3: Se recomienda seguir los pasos y esperar a cumplir con el procedimiento

Nota4: Se recomienda, culminada la sincronizacion, procedser a apargar los 740-AFL-003/004

ANEXO I
ESTADISTICA DE FALLAS DEL 2002 AL 2006

PERTURBACIONES TRANSITORIAS QUE AFECTARON LOS MOLINOS

Líneas	Número de fallas				
	AÑOS				
	2002	2003	2004	2005	2006
L2251 : Tingo Maria - Aguaytia	4	2	3	0	4
L2252 : Vizcarra - Tingo Maria	6	2	6	6	1
L2253 : Vizcarra - Paramonga	0	3	3	1	4
L2254 : Vizcarra - Paragsha	4	3	8	9	3
L2255 : Vizcarra - Antamina	1	3	2	0	0
Circuito Mina - 23 KV	6	4	8	11	4
Circuito Seepage - Huincush - 23 KV	0	1	1	1	0
TOTAL:	21	18	31	28	16

TOTAL REGISTRADO 114

SUMARIO DE FALLAS EN LINEAS - ENERO A NOVIEMBRE 2006

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Final (hr)	Interrupcion (MW)		Duración (hr) Interrup. Total	Equipo Afectados de produccion	Descripcion de falla	Distancia (km desde SEVIZ)
				Parcial	Total				
L-2251	14 04 06	00 46	00 59	46		00:13	MOLINO DE BOLAS N° 01, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFÁSICA A TIERRA EN FASE 'T'	
	14 04 06	02 41	02 55	41		00:14	MOLINO DE BOLAS N° 01, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFÁSICA A TIERRA EN FASE 'T'	
	14 04 06	03 01	03 20	30		00:19	MOLINO DE BOLAS N° 01, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	LINEA FUERA DE SERVICIO	
	10 06 06	09 52		42			MOLINO DE BOLAS N° 01, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	LINEA FUERA DE SERVICIO	
	Total Potencia			159	0				
	Total Fallas			4	0	00:48			
L-2252	21 01 06	18 02	18 14	55		00:12	MOLINO DE BOLAS N° 01, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA TRIFÁSICA A TIERRA DE L-2252	
	Total Potencia			55	0				
	Total Fallas			1	0	00:12			
L-2253	10 02 06	16 04	16 20	60		00:16	MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE MONOPOLAR NO EXITOSO POR FALLA PERMANENTE. DEBIDO A FALLA MONOFÁSICA A TIERRA EN FASE 'S'	
	06 04 06	12 38	13 17	66		00:39	MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO		
	21-Sep-06	15 22		45			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE MONOPOLAR NO EXITOSO POR FALLA PERMANENTE. DEBIDO A FALLA MONOFÁSICA A TIERRA EN FASE 'S'	
	21-Sep-06	16 18		46			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE MONOPOLAR EXITOSO. DEBIDO A FALLA MONOFÁSICA A TIERRA EN FASE 'T'	
	Total Potencia			217	0				
	Total Fallas			4	0	00:55			
L-2254	23 01 06	17 56	18 15	48		00:19	No Afecto - Antamina en mantenimiento		
	13 02 06	12 54	13 05	42		00:11	MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO		
	20-Sep-06	19 50		51			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	Recierre trifásico exitoso, falla bifásica 'RYT'	
	Total Potencia			141	0				
	Total Fallas			3	0	00:30			
L-2255	09-Nov-06	16 46	03 24	85		10:38	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA EN LA FASE 'S' A TIERRA POR FALLA DE UN PARARRAYO DE LA TORRE 15	A 6.4 KM DE LA SUBESTACION
	Total Potencia			85	0				
	Total Fallas			1	0	10:38			
SVC	08-Sep-06	13 45	21 20	85		07:35	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA EN OWS DEL CONTURADOR DEL SVC	
	09-Sep-06	17 40	18 00		10	00:20	Reducción de carga de molino de bolas	FALLA DEL RELE DE MINIMA TENSION	
				85	10				
	Total Potencia			85	10				
	Total Fallas			1	1	07:55			
SINAC	12 02 06	15 54	16 05	44		00:11	MOLINO DE BOLAS N° 01, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO		
	Total Potencia			44	0				
	Total Fallas			1	0	00:11			

N° Interrupciones
MW Interrumpidos
Horas Interrumpidas

Parcial	Total
16	1
780	10

SUMARIO DE FALLAS EN LINEAS - ENERO A DICIEMBRE 2005

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Final (hr)	Interruccion MW		Duracion (hr)	Equipo Afectados de produccion	Descripcion de falla	Distancia desde SEVZ (km)	Ubicacion de Zona de Falla	Fugas de Potencia antes y despues de la Falla
				Parcial	Total						
L-2251	11 04 05	21 04					ANTAMINA MANTIENE SU CARGA EN 80 MW	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA A TIERRA EN FASE "T"			224 INALTERABLE
				0	0						
				0	0	00:00					
L-2252	15 02 05	17 48	17 54	54			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA TRIFASICA A TIERRA DE L-2252	37 Km (REL-521) 53 98 Km (REL-316)	HUARIN	L-2252 -112 MW (A); -109 MW (D) L-2253 -47 MW (A); 3 MW (D) L-2254 -5 MW (A); -14 MW (D) L-2255 70 MW (A); 18 MW (D) SVC LJM. MAX. (90 MW) (D) SVC SIN NOVEDAD
	18 03 05	14 39		45			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA A TIERRA EN FASE "T" DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	39 9 Km (REL-521) 41 8 Km (REL-316)		L-2252 -111 MW (A); -109 MW (D) L-2253 40 MW (A); 85 MW (D) L-2254 -9 MW (A); 6 MW (D) L-2255 78 MW (A); 33 MW (D) SVC SIN NOVEDAD
	24 03 05	02 16					ANTAMINA MANTIENE SU CARGA EN 82 MW	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA A TIERRA EN FASE "R"	174 Km (REL-521) 178 72 Km (REL-316)		L-2252 -5 MW (A); 5 MW (D) L-2253 -8 MW (A); -22 MW (D) L-2254 -71 MW (A); 55 MW (D) L-2255 82 MW (A); 62 MW (D) SVC SIN NOVEDAD
	23 04 05	14 40		50			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA A TIERRA EN FASE "R" DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	28 3 Km (REL-521) 33 09 Km (REL-316)		
	29 04 05	17 17		48 5			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA A TIERRA EN FASE "T" DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	43 2 Km (REL-521) 42 06 Km (REL-316)		
	30 11 05	03 12	03 24	48			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFASICA A TIERRA EN FASES "R" Y "S" DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	144 Km (REL-521) 156 22 Km (REL-316)		
	07 12 05	00 52	01 11	53			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFASICA A TIERRA EN FASES "R" Y "S" DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	95 Km (REL-521) 105 38 Km (REL-316)		
					298 5	0					
				6	0	00:00					
L-2253	22 03 05	11 33	11 44	46			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE MONOPOLAR NO EXITOSO POR FALLA PERMANENTE DEBIDO A FALLA MONOFASICA A TIERRA EN FASE "R"	82 1 Km (REL-521) 72 96 Km (REL-316)		L-2252 -112 MW (A); -111 MW (D) L-2253 31 MW (A); 0 MW (D) L-2254 -2 MW (A); 72 MW (D) L-2255 83 MW (A); 37 MW (D) SVC SIN NOVEDAD
				48	0						
				1	0	00:00					
L-2254	16 02 05	18 43		48			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "S" EN L-2254 DEBIDO POR DESCARGA ATMOSFERICA	82 5 Km (7SA52P L-2254) 82 4 Km (7SA52R L-2254)		L-2252 -112 MW (A); -106 MW (D) L-2253 23 MW (A); 45 MW (D) L-2254 -2 MW (A); 18 MW (D) L-2255 88 MW (A); 40 MW (D) SVC SIN NOVEDAD
	08 03 05	13 37					ANTAMINA MANTIENE SU CARGA EN 22 MW	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "R" EN L-2254 DEBIDO POR DESCARGA ATMOSFERICA	7 4 Km (7SA52P L-2254) 7 4 Km (7SA52R L-2254)		INALTERABLE
	22 04 05	17 36		56			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "T" EN L-2254 DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	29 8 Km (7SA52P L-2254) 30 0 Km (7SA52R L-2254)		
	27 04 05	15 00		47			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "S" EN L-2254 DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	117 4 Km (7SA52P L-2254) 117 0 Km (7SA52R L-2254)		
	01 05 05	19 29		64			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO TRIPOLAR POR FALLA EN FASES "R" "S" Y "T" EN L-2254 DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	85 9 Km (7SA52P L-2254) 91 9 Km (7SA52R L-2254)		
	14 05 05	18 27		44			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "S" EN L-2254 DEBIDO A DESCARGA ATMOSFERICA	64 4 Km (7SA52P L-2254) 64 3 Km (7SA52R L-2254)		
	23 08 05	17 05		85			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "R" EN L-2254 POR DESCARGA ATMOSFERICA	98 4 Km (7SA52P L-2254) 98 4 Km (7SA52R L-2254)		
	08 10 05	15 00		48			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "R" EN L-2254 POR DESCARGA ATMOSFERICA	98 1 Km (7SA52P L-2254) 98 2 Km (7SA52R L-2254)		
	17 11 05	19 02		37			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "T" EN L-2254 POR DESCARGA ATMOSFERICA	87 3 Km (7SA52P L-2254) 87 2 Km (7SA52R L-2254)		
	21 11 05	17 15		45			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECERRE EXITOSO MONOPOLAR POR FALLA MONOFASICA EN FASE "S" EN L-2254 POR DESCARGA ATMOSFERICA	5 3 Km (7SA52P L-2254) 5 3 Km (7SA52R L-2254)		
				434	0						
				8	0	00:00					
L-2255											
				0	0						
				8	0	00:00					
SVC											
				0	0						
				0	0	00:00					
SINAC	13 02 05	17 00		38			MOLINO DE BOLAS N° 01, 02 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFASICA A TIERRA EN FASE "R" DE L-2254 (PARAQUISA - CARHUAMAYO) EL CUAL QUEDA TENSIONADA DESDE CARHUAMAYO	190 4 Km (7SA52P L-2254) 148 2 Km (7SA52R L-2254)		L-2252 -5 0 MW (A); -2 0 MW (D) L-2253 -34 MW (A); 19 MW (D) L-2254 -45 MW (A); -26 MW (D) L-2255 88 MW (A); 50 MW (D) SVC SIN NOVEDAD
				38	0						
				1	0	00:00					

Parcial	Total
17	0
818 5	0
-	00:00

N° Interrupciones
MW Interrumpidos
Horas Interrumpidas

SUMARIO DE FALLAS EN LINEAS 220 KV - ENERO A DICIEMBRE 2004

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Final (hr)	Interrupcion (MW)		Duración (hr) Interrup. Total	Equipo Afectados de producción	Descripción de falla	Distancia desde SEVIZ (km)	Ubicación de Zona de Falla	
				Parcial	Total						
L-2251	05 01 04	03 58		50	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2251 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	(Disponible en SETM)		
	27 10 04	08 55		48	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFÁSICA EN FASES "R" Y "S" DE L-2251 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	(Disponible en SETM)		
	03 12 04	21 20	21 32	46	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFÁSICA EN FASES "R" Y "T" DE L-2251 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	(Disponible en SETM)		
	29 12 04	04 46					NINGUNO	RECIERRE MONOPOLAR EXITOSO EN FASE "S" DE L-2251 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	(Disponible en SETM)		
	Total Potencia			144	0						
	Total Fallas			3	0	00:00					
L-2252	06 02 04	09 17					NINGUNO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "S" DE L-2252 IN-2400 QUEDA ABIERTO POR DISCORDANCIA DE POLOS	54 27Km (REL 316)	LLATAMBO	
	15 02 04	02 21		40	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2252 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	91 8Km (REL 521) 109 58Km (REL 316)	HUANUCO RANCHO	
	13 03 04	15 50		45	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "T" DE L-2252 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	30 3Km (REL 521) 27 28Km (REL 316)	MOGROPAMPA HUARIN	
	04 04 04	22 45					NINGUNO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2252 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	Ninguno		
	29 09 04	01 52		41 5	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	65 9 Km (REL-521) 68 57 Km (REL-316)		
	23 11 04	14 14		49	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN TORRE T-277	39 3 Km (REL-521) 46 73 Km (REL-316)		
	21 12 04	00 04	00 15	52	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFÁSICA EN FASES "R" Y "T" POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	173 7 Km (REL-521) 196 27 Km (REL-316)	S E TINGO MARIA	
	22 12 04	16 16		53	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	48 0 Km (REL-521) 50 64 Km (REL-316)		
		Total Potencia			280.5	0					
	Total Fallas			6	0	00:00					
L-2253	13 02 04	17 03	17 24	51	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFÁSICA EN FASES "R-S" DE L-2253 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	36 3Km (REL 521) 58 08Km (REL 316)	URANYACUSAN MIGUEL CONOCHA	
	12 03 04	19 12		30	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2253 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	40 2Km (REL 521)	VILLANUEVA	
	05 05 04	16 17					NINGUNO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2253 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	3Km (REL 521)	HUALLANCA	
	18 10 04	17 16	17 39	9	-	-	MOTORES	FALLA BIFÁSICA EN FASES "S" Y "T" POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN TORRE T-500	85.8Km (REL 521) 58.65Km (REL 316)	CONOCHOCHA	
		Total Potencia			90	0					
	Total Fallas			3	0	00:00					
L-2254	14 02 04	17 23		47	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" DE L-2254	66 1Km (7SA52 P) 65 9Km (7SA52 R)		
	12 03 04	18 19		45	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "T" DE L-2254 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	19 1Km (7SA52 P) 19Km (7SA52 R)		
	30 03 04	17 31		58	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2254 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN TORRE T-276	2 4Km (7SA52 P) 2 5Km (7SA52 R)		
	03 10 04	21 09		35 5	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" DE L-2254 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	82 1Km (7SA52 P) 82Km (7SA52 R)		
	18 10 04	15 20		55	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO TRIPOLAR POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN FASE "S" Y "T" DE L-2254	54 6Km (7SA52 P) 55 5Km (7SA52 R)		
	28 11 04	16 31		52	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO TRIPOLAR POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN FASE "R" Y "S" DE L-2254	25 8Km (7SA52 P) 25 6Km (7SA52 R)		
	02 12 04	16 31		34	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02 FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO MONOPOLAR POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN FASE "R" DE L-2254	29 8Km (7SA52 P) 29 9Km (7SA52 R)		
	14 12 04	01 02		37	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02 FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO MONOPOLAR POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN FASE "R" DE L-2254	82 3Km (7SA52 P) 82 3Km (7SA52 R)		
		Total Potencia			363.5	0					
	Total Fallas			6	0	00:00					
L-2255	04 01 04	13 53	14 06			89	00 13	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2255 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	38 5Km (REL 521) 35Km (REL 316)	COLLACHICO
	17 12 04	14 09	14 21			80	00 12	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "S" DE L-2255 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN TORRE T-062	23Km (REL 521) 16 5Km (REL 316)	TARUSCANSHA
		Total Potencia			0	169					
	Total Fallas			0	2	00:25					
SVC											
		Total Potencia			0	0					
	Total Fallas			0	0	00:00					
SINAC	25 03 04	18 49	19 04	48	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFÁSICA EN FASE "R" DE L-2259 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	252 5 1Km (7SA52P L-2254) 223 1Km (7SA52R L-2254)	S E OROYA	
	01 04 04	17 09		50	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	L-2215 FUERA DE SERVICIO POR FALLA TRIFÁSICA EN SECHIM 2 AL MOMENTO DE ENERGIZAR L-106. PERSONAL DE EGENOR OLVIDO SACAR TIERRAS FRANCAS		S E CHIMBOTE 2	
	30 09 04	12 42		40 4	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFÁSICA EN FASE "R" Y "T" DE L-2259 POR DESCARGA ATMOSFÉRICA	252 8 1Km (7SA52P L-2254) 254 1Km (7SA52R L-2254)	S E OROYA	
	25 10 04	12 50					MOTORES	RECIERRE EXITOSO TRIPOLAR POR DESCARGA ATMOSFÉRICA EN FASE "S" Y "T" DE L-2258	128 5Km (7SA52 P L-2254) 127 7Km (7SA52 R L-2254)	S E PARAGSHA	
	04 12 04	17 29		60	-	-	MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	DESCARGA ATMOSFÉRICA EN LINEAS L-1103, 1104 Y 1106 CHIMBOTE 1 - HUALLANCA			
	Total Potencia			204.4	0						
	Total Fallas			5	0	00:00					

Parcial Total

Nº Interrupciones
MW Interrumpidos
Horas Interrumpidas

0	0
0	0
0	0

SUMARIO DE FALLAS EN LINEAS 220KV - ENERO A DICIEMBRE 2003

Instalación	Fecha	Inicio (hr)	Final (hr)	Interrupción (MW)		Duración (hr) Interrup. Total	Equipo Afectados de producción	Descripción de falla	Distancia desde SEVIZ km	Zona de Ubicación
				Parcial	Total					
L-251	14 02 03	23 36		42	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" DE L-251 POR PROBABLE DESCARGA ATMOSFERICA	(Disponible en SETM)	
	21 03 03	22 44		45	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	FALLA BIFASICA EN FASE "S" Y "T" DE L-251 POR DESCARGA ATMOSFERICA	-	
	Total Potencia			87	0	00:00				
Total Fallas			2	0						
L-252	17 01 03	17 01		48	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	FALLA MONOFASICA EN FASE "R" DE L-252 POR DESCARGA ATMOSFERICA EN TORRE N° 226	55.5 (REL 521) 61.98 (REL 316)	PUNTA UNIO AYAPITO
	25 05 03	04 27		62	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	FALLA BIFASICA EN FASE "S" Y "T" DE L-252 POR DESCARGA ATMOSFERICA A 4.7 km de S E TINGO MARIA	191 (REL 316)	
	Total Potencia			110	0	00:00				
Total Fallas			2	0						
L-253	07 02 03	15 28		53	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" DE L-2253 POR DESCARGA ATMOSFERICA EN TORRE N° 453	41.5 (REL 521) 48.45 (REL 316)	MOJON
	27 03 03	12 28		60	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	FALLA MONOFASICA EN FASE "T" DE L-2253 POR ROCE DE ARBOL EN TORREN° 634 A 635	-	CONOCOCHA
	06 11 03	15 31		46	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	FALLA MONOFASICA EN FASE "R" DE L-2253 POR DESCARGA ATMOSFERICA	10.9 (REL 521) 12.1 (REL 316)	MATASH AZUL MINA
	Total Potencia			159	0	00:00				
Total Fallas			3	0						
L-2254	02 11 03	17 17		47	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	FALLA BIFASICA EN FASES "R" Y "T" DE L-2254 POR DESCARGA ATMOSFERICA	66.3 (7SA52P) 64.4 (7SA52R)	
	08 12 03	17 44		61	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	RECIERRE TRIPOLAR EXITOSO EN FASES "S" Y "T" DE L-2254 POR DESCARGA ATMOSFERICA A 11 KM DE SE VICARRA APROX	11.8 (7SA52P) 13.2 (7SA52R)	
	09 12 03	14 54		50	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	RECIERRE EXITOSO EN FASES "R" DE L-2254 POR DESCARGA ATMOSFERICA A 70 KM DE SE VICARRA APROX	70.9 (7SA52P) 70.8 (7SA52R)	
	Total Potencia			158	0	00:00				
Total Fallas			3	0						
L-255	23 01 03	18 32	18 39	-	81	00 07	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA BIFASICA EN FASES "S" Y "T" DE L-255 POR DESCARGA ATMOSFERICA EN TORRE N° 05	9.5 (REL 521) 1.62 (REL 316)	
	07 10 03	18 51	19 13	-	20	00 22	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA MONOFASICA A TIERRA (FASE T) POR DESCARGA ATMOSFERICA EN L-255	1.8 (REL 521)	
	03 11 03	15 31	15 45	-	69	00 14	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA TRIFASICA POR DESCARGA ATMOSFERICA EN L-255	7 (REL 521)	
	Total Potencia			0	170					
Total Fallas			0	3	00:43					
SVC	30 01 03	09 43	09 50	-	13	00 07	CORTE TOTAL (0 MW)	PRUEBAS EN COMPUTADOR MACH 2 DEL SVC (INSTALACION DE SOFTWARE) SE RETIRAN RELES AUXILIARES K1, K2, K3 Y K4 PARA CONTINUAR CON LAS PRUEBAS	-	
	12 07 03	10 10	10 23	-	75	00 13	CORTE TOTAL (0 MW)	ACCIONAMIENTO ACCIDENTAL DEL PULSADOR DE EMERGENCIA DEL SVC	-	
	14 07 03	07 57		15	-	-	FUERA DE SERVICIO EL MOLINO SAG POR OPERACION	FALSO CONTACTO EN EL LADO SECUNDARIO DEL TT-369 FASE "R"	-	
	Total Potencia			15	88					
Total Fallas			3	2	00:20					
SINAC	13 03 03	17 01		45	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	FALLA BIFASICA EN FASES "S" Y "T" DE L-2258 POR DESCARGA ATMOSFERICA	317 (7SA52P L-2254) 315.5 (7SA52R L-2254)	
	27 03 03	12 31	12 52	-	25	00 21	CORTE TOTAL (0 MW)	DISPARO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL SVC POR DISMINUCION DE LA TENSION Y FRECUENCIA DEL SISTEMA	-	
	16 04 03	17 08		50	-	-	MOLINOS, CONDENSADORES SINCRONOS Y FILTROS DE ARMONICOS	DESCARGA ATMOSFERICA DE LA LINEA L-703 (CARHUAMAYO-PARAGSHA) Y SALIDA DE CENTRAL YAUPI	370.4 (7SA52P L-2254) 370.4 (7SA52R L-2254)	
	30 09 03	16 54		20	-	-	MOLINOS N° 01 y 03	DESCARGA ATMOSFERICA EN LINEA L-123(PARAGSHA 2 -UCHUJACUA)		
	Total Potencia			115	25					
Total Fallas			3	1	00:21					

N° Interrupciones
MW Interrumpidos
Horas Interrumpidas

Parcial Total



SUMARIO DE FALLAS EN LINEAS 220 KV- ENERO A DICIEMBRE 2002

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Final (hr)	Interrupcion (MW)		Duración (hr) Interrup. Total	Equipos Afectados	Descripcion de falla	Distancia km desde SEVIZ	Zona de Ubicación
				Parcial	Total					
L-251	06 01 02	03 18		45			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFASICA EN FASES "T Y S" DE L-281 POR DESCARGA ATMOSFERICA	(Disponible en SETM)	
	08 04 02	20 58		48			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFASICA EN FASE "T" DE L-281 POR DESCARGA ATMOSFERICA	(Disponible en SETM)	
	26 04 02	04 02		59			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "S" EN L-281 POR DESCARGA ATMOSFERICA	(Disponible en SETM)	
	18 08 02	15 44		3			VARIADORES DE VELOCIDAD FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFASICA EN FASES "R Y S" DE L-281	(Disponible en SETM)	
	23 12 02	19 33		50			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFASICA EN FASES "S Y T" DE L-281 POR DESCARGA ATMOSFERICA	(Disponible en SETM)	
	Total Potencia			205	0					
	Total Fallas			5	0	00:00				
L-252	16 01 02	23 50		46			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA MONOFASICA EN FASE "R" DE L-282 POR DESCARGA ATMOSFERICA	179.1 Km (REL316)	S. E. TINGOMARÍA
	27 02 02	15 37		59			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" EN L-282 POR DESCARGA ATMOSFERICA	13.4 km (REL521) 19.17 km (REL 521)	SHIQUI-CHICO
	06 04 02	16 34		63			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA TRIFASICA POR DESCARGA ATMOSFERICA EN LINEA L-282	188.07 km (REL 316)	S. E. TINGOMARÍA
	03 05 02	15 50		59			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFASICA EN FASES "R Y T" DE L-282 POR DESCARGA ATMOSFERICA	156.21 Km (REL521)	MONTERREY
	14 05 02	07 57		59			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA BIFASICA EN FASES "S Y T" DE L-282 POR DESCARGA ATMOSFERICA	-	S. E. TINGOMARÍA
	13 09 02	03 30	03 55		85	00 25	CORTE TOTAL (0 MW)	RECIERRE EXITOSO EN FASE "S" EN L-282 POR DESCARGA ATMOSFERICA	154 Km (REL521)	MONTERREY
	23 09 02	14 36		7.7			VARIADORES DE VELOCIDAD FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" EN L-282 POR DESCARGA ATMOSFERICA	16.3 Km (REL521) 17.93 (REL316)	ALGOWARKUNAN
	Total Potencia			293.7	65					
	Total Fallas			6	1	00:25				
L-253				0	0					
				0	0	00:00				
L-2254	23 10 02	16 50		44			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" POR DESCARGA ATMOSFERICA	12.1 Km (7SA52P) 11.8 Km (7SA52R)	
	07 11 02	14 27		59			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE NO EXITOSO TRIPOLAR POR DESCARGA ATMOSFERICA	49.2 Km (7SA52P) 46.3 Km (7SA52R)	
	10 11 02	16 16		42			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "R" POR DESCARGA ATMOSFERICA	71.1 Km (7SA52P) 70.8 Km (7SA52R)	
	18 11 02	15 48					NINGUNO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "R" POR DESCARGA ATMOSFERICA	102.8 Km (7SA52P) 102.4 Km (7SA52R)	
	19 11 02	19 10		8			VARIADORES DE VELOCIDAD FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "S" POR DESCARGA ATMOSFERICA	6.4 Km (7SA52P) 6.4 Km (7SA52R)	
	18 12 02	15 26		35			MOLINOS DE BOLAS FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "R" POR DESCARGA ATMOSFERICA	36.3 Km (7SA52P) 36.4 Km (7SA52R)	
	Total Potencia			186	0					
	Total Fallas			5	0	00:00				
L-255	03 03 02	16 15	16 59		80	00 44	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA BIFASICA EN FASES "R Y T" DE L-286 POR DESCARGA ATMOSFERICA (CERRADA POR AUTORIZACION DEL COES)	26.7 Km (REL-521) 19.7 Km (REL-316)	
				0	80					
	Total Potencia			0	80					
	Total Fallas			0	1	00:44				
SVC	28 06 02	04 11	06 18		88	02 07	CORTE TOTAL (0 MW)	FALLA DE EQUIPO EN SVC - COMPUTADOR MACH 2 (FUENTE DE ALIMENTACION)	-	-
	30 06 02	02 55	03 07		15	00 12	CORTE TOTAL (0 MW)	DESCONEXION DE SVC POR PRUEBA DE PRIMER INTENTO DE ENERGIZACION LUEGO DE REPARADA FALLA DE SVC DIA 28 06 02 (Ver Nota 1)	-	-
	06 08 02	12 00	12 17		88	00 17	CORTE TOTAL (0 MW)	SALIDA DEL SVC- ERROR HUMANO DURANTE MANTENIMIENTO DEL INTERRUPTOR IN-240A EN S. E. VIZCARRA	-	-
	Total Potencia			0	191					
	Total Fallas			0	3	02:36				
SINAC	05 02 02	22 29		66			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	DESCONEXION DE LA CENTRAL DE ILO #2 RECHAZANDO 135 MW	-	-
	22 05 02	22 05		51			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	ROTURA DE CONDUCTOR EN VANO T-105 A 106 DE LINEA L-213	-	-
	25 07 02	18 11	18 43		81	00 32	CORTE TOTAL (0 MW)	OSCILACION DE POTENCIA EN EL SISTEMA INTERCONECTADO ZONA NORTE	-	-
	06 12 02	18 38		51			MOLINOS DE BOLAS Nº 01, 02, 03 Y SAG FUERA DE SERVICIO	FALLA TRIFASICA EN L-2288 (PARAGSHA-CARHJAMAYO) POR DESCARGA ATMOSFERICA. DISPARO TRANSFERIDO A L-2259 (CARHJAMAYO OROYA)	-	-
	19 12 02	13 08		22			MOLINOS DE BOLAS FUERA DE SERVICIO	RECIERRE EXITOSO EN FASE "T" DE L-2288 (CARHJAMAYO-OROYA)	-	-
	Total Potencia			190	91					
	Total Fallas			4	1	00:32				

Parcial	Total
20	5
574.7	428
-	04:17

Nº Interrupciones
MW Interrumpidos
Horas Interrumpidas

Notas:

1.- DICHO EVENTO NO SE CONSIDERA UNA FALLA YA QUE NACE DE UNA CONDICION PREDECIBLE COMO PARTE DE UNA PRUEBA DE ENERGIZACION

Antamina Power Systems	SISTEMA ELECTRICO 23 KV		Realizado: W Alonzo / M Tarazona	Instrucciones:
	RESUMEN DE FALLAS PERIODO: E - 2003 al 2006		Revisado: Ing JF Montes	Fecha: 30 - Setiembre - 06
			Revisión: 0	

INTERNO ANTAMINA 2003

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Interrupcion		Duracion (hr)	Acumulado (hr)	Indisponibilidad (%) Ref 365 dias	Equipo Afectados de produccion	Descripción de falla
			Parcial	Total					
Circuito Mina	23 03 03							No afecto Molenda	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase S, Ia=28 Amp, Ib=383 Amp, Ic=28Amp y Ig=354 Amp
	08 06 03							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Descarga Atmosferica: Corto trifasico Ib=10.423 Amp, Ic=10249 Amp, La tensión cae hasta 8.26 KV
	25 06 03							No afecto Molenda	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase R, Ig=352 Amp
	14 07 03							No afecto Molenda	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase T, Ia=182 Amp, Ib=183 Amp, Ic=526Amp y Ig=351 amp
	22 07 03							No afecto Molenda	Por voladura se produce una falla a tierra fase S, Ia=53 Amp, Ib=418 Amp, Ic=54Amp y Ig=363 Amp
	08 10 03							No afecto Molenda	Por voladura se produce una falla a tierra fase R, Ia=422 Amp, Ib=102 Amp, Ic=99Amp y Ig=334 Amp. La tension registrada fue 23 05 KV
	05 11 03							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase S, Ig=650 Amp
	07 11 03							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase R
	29 12 03							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase S, IL=7000 Amp y Ig=201 Amp
			Fallas						
	Total	9	0			00:00	0.000		

INTERNO ANTAMINA 2004

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Interrupcion		Duracion (hr)	Acumulado (hr)	Indisponibilidad (%) Ref 365 dias	Equipo Afectados de produccion	Descripción de falla
			Parcial	Total					
Circuito Mina	17 02 04							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Descarga Atmosferica: Corto trifasico Ia=6420 Amp, Ib=3949 Amp y Ic=7887 Amp. La tensión cae hasta 13.48 KV
	07 03 04							No afecto Molenda	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase R, Ia=534 Amp, Ib=186 Amp y Ic=188 Amp y Ig=390 Amp
	10 03 04							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Descarga Atmosferica: Corto trifasico Ia= Amp, Ib= Amp y Ic= Amp. La tensión cae a hasta KV
	30 03 04							No afecto Molenda	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase R, Ia=484 Amp, Ib=129 Amp, Ic=126Amp y Ig= Amp
	23 04 04							No afecto Molenda	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase R, Ia=498 Amp, Ib=154 Amp, Ic=153Amp y Ig=355 Amp. La tensión cae hasta 23 05 KV
	25 04 04							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga Atmosferica: Corto trifasico Ia=5415 Amp, Ib=5907 Amp y Ic=5558 Amp. La tensión cae hasta 15.96 KV
	27 04 04	07 00						Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga Atmosferica: Corto trifasico Ia=5423 Amp, Ib=5916 Amp y Ic=5545 Amp. La tensión cae hasta 15.94 KV
	27 04 04	07 43						Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga Atmosferica: Corto trifasico Ia=5230 Amp, Ib=5726 Amp y Ic=5364 Amp. La tensión cae hasta 15.46 KV
	09 05 03	08 40						No afecto Molenda	Falla a tierra de la fase R, Ia=848 Amp, Ib=798 Amp y Ic=330 Amp
	13 05 03	15 46						No afecto Molenda	Descarga Atmosferica: Falla a tierra de la fase R, Ia=302 Amp, Ib=146 Amp, Ic=150 Amp y Ig=355 Amp. La tensión cae hasta 22.88 KV
	sec 24	10 08 04	16 25					No afecto Molenda	Falla a tierra de la fase S, Ia=265 Amp, Ib=561 Amp, Ic=201 Amp y Ig=380 Amp
	19 09 04	15 45						No afecto Molenda	Falla a tierra de la fase R, Ia=330 Amp, Ib=66 Amp, Ic=69 Amp y Ig=266 Amp
	25 09 04	01 03						No afecto Molenda	Falla a tierra de la fase S, Ia=77 Amp, Ib=210 Amp, Ic=75 Amp y Ig=153 Amp
	25 10 04							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga atmosférica
	12 11 04							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga atmosférica
	13 11 04							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga atmosférica
	22 11 04							Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga atmosférica
	11 12 04							No afecto Molenda	Descarga atmosférica
	31 12 04	00 15			00 55			Salieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga atmosférica
	31 12 04	05 05			23 55			No afecto Molenda	Se rompió un tirante de línea en la variante 800 pt
		Fallas							
	Total	20	0			00:00	0.000		

Antamina Power Systems	SISTEMA ELECTRICO 23 KV	Realizado: W Alonzo / M Tarazona	Instrucciones:
	RESUMEN DE FALLAS PERIODO: E - 2003 al 2006	Revisado: Ing. JF Montes Fecha: 30 - Setiembre - 06 Revisión: 0	FORMATO: PWR003
Antamina Power Systems	SISTEMA ELECTRICO 23 KV	Realizado: W Alonzo / M Tarazona	Instrucciones:
	RESUMEN DE FALLAS PERIODO: E - 2003 al 2006	Revisado: Ing. JF Montes Fecha: 30 - Setiembre - 06 Revisión: 0	FORMATO: PWR003

INTERNO ANTAMINA 2005

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Interrupcion		Duracion (hr)	Acumulado (hr)	Indisponibilidad (%) Ref 365 dias	Equipo Afectados de produccion	Descripcion de falla
			Parcial	Total					
Circuito Mina	15.02.05	16:23			17:00			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3. Los vanadores de Media, y Mineroducto	Descarga Atmosferica. Corto. monofásico Ia=5098 Amp, Ib=10 Amp y Ic=109 Amp. La tensión cae hasta 19.57 KV Ig: 1171 Amp
	23.02.05	13:01			13:40			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Falla bifásica en una estructura cerca al truck Shop, Ia=236 Amp, Ib=6568 Amp y Ic=6367 Amp. Ig: 58 Amp
	24.02.05	13:10			13:35			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Falla bifásica en una estructura cerca al truck Shop, Ib=6466 Amp y Ic=6265 Amp. Ig: 154 Amp
	28.02.05	14:47			15:15			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Falla bifásica en una estructura cerca al truck Shop, Ib=6568 Amp y Ic=6367 Amp.
	01.03.05	10:26			10:40			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Falla bifásica en una estructura cerca al truck Shop, Ia=236 Amp, Ib=6530 Amp y Ic=6312 Amp. Ig: 50 Amp
	27.04.05	14:33			14:39			No afecto Molienda	Descarga Atmosferica. Ia=78 Amp, Ib=335 Amp y Ic=70 Amp
	16.05.05	13:35			13:45			No afecto Molienda	Descarga Atmosferica. Ia=109 Amp, Ib=115 Amp y Ic=345 Amp
	22.08.05	14:17			15:31			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3 mas mineroducto	Descarga Atmosferica
	22.09.05	18:38			18:46			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Fuertes Vientos provocaron acercamiento de las fases SyT cerca de Gnngo Hill
	23.09.06	17:00			17:08			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Fuertes Vientos provocaron acercamiento de las fases SyT cerca de Gnngo Hill
	24.10.06	15:43			16:15			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Descarga Atmosferica, provoca cortocircuito bifásico
	16.12.06	15:52			16:12			No afecto Molienda	Descarga atmosférica, provoca falla monofásica a tierra.
			Fallas						
	Total	12	0		00:00		0.000		

INTERNO ANTAMINA 2006

Instalacion	Fecha	Inicio (hr)	Interrupcion		Duracion (hr)	Acumulado (hr)	Indisponibilidad (%) Ref 365 dias	Equipo Afectados de produccion	Descripcion de falla
			Parcial	Total					
Circuito Mina	20.01.06	17:54			20:54			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3. Los variadores de Media, y Mineroducto	Descarga Atmosferica: falla trifásica Ia=5240 Amp, Ib=5690 Amp y Ic=6190 Amp. Ig: 59Amp, que provocó el debilitamiento del interruptor de 23 kV de la SE01 de mina
	01.02.06	14:00			17:45			No afecto Molienda	Descarga Atmosferica, se malogró un pararrayo por la linea de la variante loop pit
	27.02.06	14:55			15:10			No afecto Molienda	Descarga Atmosferica, provoca falla monofásica a tierra
	11.05.06	07:35			07:49			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Posible falla por acercamiento de ave en las lineas de la variante loop pit
	20.05.06	11:01			11:10			Saliieron Molino Sag, M. Bolas 1, 2 y 3	Falla en un cut out de la estación de bombas del pump back, durante la instalación. La falla ocurre al intentar arrancar las bombas
	02.06.06	17:19			18:15			No afecto Molienda	Descarga atmosférica, provoca falla monofásica a tierra
	09.06.06							No afecto Molienda	Descarga atmosférica, provoca falla monofásica a tierra
		Fallas							
	Total	7	0				0.000		

ANEXO J
PAPER DE APLICACIONES DE PARARRAYOS TLA

This paper will be presented at VI SIPDA – International Seminar on Lightning Discharges
Santos – SP – November 19th through 23rd

LIGHTNING ARRESTER APPLICATION FOR THE IMPROVEMENT OF TRANSMISSION LINE PERFORMANCE

Jorge Luiz De Franco*

Inepar S.A. – Indústria e Construções

Av. Juscelino K. de Oliveira, 11.400 – CIC – Curitiba – PR
Tel. 0xx 41 341-1404 – E-mail: jorge.franco@inepar.com.br

Angélica da Costa Oliveira Rocha

Luiz Carlos Leal Cherchiglia

Luis Sérgio do Carmo

Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG

Abstract - Lightning is the major cause of non-scheduled outages in Brazilian's power system, being responsible for approximately 65% of the outages verified in transmission lines with rated voltages up to 230 kV. This fact led some important Brazilians electrical companies to establish programs aiming basically the improvement of their transmission lines lightning performance.

In order to improve transmission line performance, power companies have been installing in their lines Zinc Oxide line arresters, which are electrically connected and assembled in parallel with insulators strings avoiding in most of cases non-scheduling outages due to flashover or backflashover followed by short-circuit current.

This paper presents information about line arresters application for the improvement of transmission lines performance and shows an overview about some experiences with the application of line arresters.

1 INTRODUCTION

Many technical publications have reported lightning as the responsible for about 65% of the non-scheduled transmission lines outages (in CEMIG it corresponds to 67%), generating many losses for power utilities. In spite of having transitory characteristics, most of non-scheduled outages, with fault time shorter than 1 minute, in many cases turn to be intolerable. This happens especially for industries which present a great amount of sophisticated electronic equipment and productive processes, which are very sensitive to momentary disturbances in the systems. On the other hand, non-scheduled outages of important lines can cause serious disturbances in the whole system of a given region.

The lightning effect on transmission lines can be more critical in areas with high electrical activities (high lightning flash densities) and high soil resistivities, such as the region under concession of CEMIG, in which approximately 20% of permanent non-schedule transmission line outages with rated voltages from 69 kV to 138 kV are due to lightning [1]. In case of 230 kV transmission lines, most of outages are due to backflashover and have transitory characteristics.

In order to reduce the number of non-scheduled outages in electrical systems, power companies have been promoting improvements along their transmission lines or in sections of these ones. These improvements have been led to an increase in the reliability of the transmission lines. In most of cases, line arresters has been considered as the most effective method applied to improve transmission line performance due to lightning discharges and usually are presenting the best cost x benefit relationship.

2. LIGHTNING ON TRANSMISSION LINES

The frequency with which lightning discharges strike a transmission line depends on some factors and has a strong influence of environmental conditions: ground flash density level for the area crossed by the line; the physical dimensions of the line in special its height and length; presence of naturally shielding objects or other lines within the same corridor. Besides, the transmission line performance usually can vary at each year, depending on the electrical activities on the area [1].

Environmental conditions highly affect the reliability of power system and the lightning performance of the power installations seems to be unsatisfactory and disagree, sometimes, with conventional performance predictions and simulations [2].

Since the environment where the system is inserted has a direct influence on the quality of the supplied energy, CEMIG has been developing, for a long time, an intensive research program on the survey of the electric activity of the atmosphere in Minas Gerais, developed in association with a systematic survey of soil resistivities, tower footing resistances and power system performance. Together with the lightning research program, CEMIG has been performing a program to improve the performance of its lines that includes the calibrating of tools for estimation of the lightning performance, the optimization of transmission lines lightning protection as

well as the implementation of measures to improve the performance of the existing lines.

Details about the incidence of lightning discharges on transmission lines and its effects on transmission lines provided or not with shield wires are presented in references [1], [3], [4], [5] and [6].

3. LINE ARRESTERS

The first line arresters application for improvement of transmission line performance was in Japan in 1980, for lines rated 66 kV and 77 kV. In United States the first application was in 1982 [3]. However, the line arrester application became more diffused from the end of the decade of 80. Currently line arresters have been using with success in several countries.

In Brazil, CEMIG was the pioneer company in the line arrester application and the proven results of the improvement of its TL performance are leading to new studies for application of this method in its critical lines. Currently we already have around 2.000 gapless line arresters installed on Brazilian's transmission lines with rated voltages from 34,5 kV up to 138 kV from CEMIG, LIGHT, FURNAS and CERJ. Other companies are also studying the line arresters application in their lines.

Line arresters are electrically connected in parallel with insulators strings. The arresters' operation consists to reduce voltage levels that appears on the insulators string, avoiding this way that its isolation level be exceeded. Several publications have reported about the application of the line arresters, especially its operation, criterion used for its selection, dimensioning, specification and application [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Line arresters can be applied to new lines as well as to improve the lightning performance of existing lines with or without shield wires.

4. PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES WITH LINE ARRESTERS INSTALLED

The performance of transmission lines with line arresters installed has been reported in many technical publications [2], [3], [7], [10]. Information available by Brazilian's power companies, in addition to some information from Mexico and Colombia are presented below:

- CEMIG: CEMIG has 1.735 line arresters installed in seven of its lines with rated voltages from 34,5 kV up to 138 kV. Most of line arresters are gapless. Only 10 of these are gapped arresters and were installed to monitor the performance of the arrester itself. The performance of CEMIG's transmission lines with arresters is presented in the Table 1 [2].

Table 1 – CEMIG's TL performance after arresters installation

TL name	Number of LA installed	Outages / 100 km / year	
		Before LA	After LA
Diamantina - Gouveia	417 34,5 kV	62	24
Ouro Preto - Mariana	324 138 kV	41	0
Ouro Preto - Ponte Nova	264 138 kV	31	9
Itutinga - Minduri	132 138 kV	19	6
Peti - Sabará	444 69 kV	40	13
Itutinga - Três Corações (*)	144 138 kV	-----	----

(*) This line has already been designed to have line arresters [9].

In view of the obtained results, CEMIG will continue the program for installation of line arresters in its lines in order to improve the performance of its transmission system and to offer a better energy quality to its consumers. With the experience obtained so far on the matter, CEMIG is already able to apply the equipment in an optimum way [2].

- LIGHT: LIGHT has 75 gapless line arresters installed in sections of four of its 138 kV transmission lines. The performance of LIGHT's transmission lines with arresters is presented in the Table 2.

Table 2 – LIGHT's TL performance after arresters installation

TL name	Number of LA installed	Outages / 100 km / year	
		Before LA	After LA
Saudade - Funil	25 138 kV	27,9	4,3
Ilha - São José	23 138 kV	7,4	3,7
Ilha - Rio da Cidade	15 138 kV	9,4	4,3
Itapeba - Jacarepaguá	12 138 kV	41,5	20,7

- CERJ: CERJ has been installing gapless line arresters in sections of its 34,5 kV transmission lines since 1999. In spite of the recent installation these arresters have been presenting good performance. As an example, arresters were installed in "Macabu - Trajano de Moraes" line in May / 2000. Before arresters installation 20 outages were verified from 1999 until May 2000. After installation the outages number was reduced to 4 until May this year.

- FURNAS: In 1996 the company installed experimentally 6 gapless line arresters in sections of two 138 kV transmission line. The summary of FURNAS' line performance available is showed in the Table 3 [10].
- Number of structures: 92
- Ground flash density of the area crossed by the line: 6 discharges / km² / year
- Critical flashover voltage of TL: $U_{50} = 1275$ kV (-)
- Average number of outages per 100 km per year: 6.2

Table 3 FURNAS' TL performance after arresters installation

TL name	Number of LA installed	Outages / 100 km / year	
		Before LA	After LA
Jacarepaguá - Cosmo	3 138 kV	5,83 (90/94)	1,67 (96/98)
Angra - Santa Cruz	3 138 kV	1,04 (77/94)	0 (96/98)

FURNAS is also intending to install arresters in its critical transmission lines.

- Colombia: line arresters was installed in a section of a 110 kV transmission line. The outages number per 100 km per year was reduced from 85 to 42.
- Mexico: 147 line arresters were installed in critical sections of three 115 kV TL' s. The average number of outages for these lines was reduced from 59,05 outages / 100 km / year from 1984 to 1992 to 32 and 16 outages / 100 km / year in 1993 and 1994, respectively.

Details of line arresters' installation on a CEMIG 138 kV transmission line is showed in Figure 1.

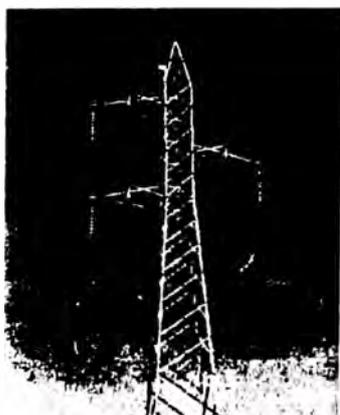


Figure 1 – Details of CEMIG's 138 kV- "Ouro Preto – Ponte Nova" transmission line with arresters installed

5. EVALUATION OF A 230 kV CEMIG'S TL

The line presents the following characteristics:

- Name of line: Guilman Amorim - Ipatinga I
- Rated Voltage: 230 kV; Active Power: 120 MW
- Length of transmission line: 51 km
- Average Span: 550 meters

The distance between conductor phases is 7,2 meters and distance between shield wires is 9,0 meters. Details of the structures are presented in the Figure 2.

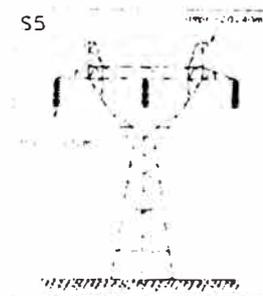


Figure 2 - Details of the structure from a 230 kV TL

This line is located in the east region of Minas Gerais State in an area with great concentration of high voltage industrial consumers. A backflashover on an insulator string followed by transitory outages causes a voltage sag in the region of Ipatinga, leading, in many cases, to non-scheduled outages of a great amount of loads with total retaking time of approximately 2 hours. The amount of not supplied energy is a function of the fault type and its location in the line. The register of a typical load loss event due to a transitory outage is presented in Figure 3.

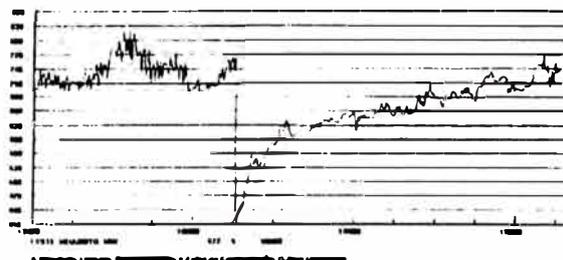


Figure 3 - Register of a load loss in the line

The line performance has been evaluated through a computational simulation. Two studies have been done: (1) - the study of transmission line performance due to lightning, in which for the current line condition, and for different line arresters arrangements, location and grounding impedance, have been defined the critical currents that cause outages of the transmission line and their occurrence probabilities; (2) - study to determine the maximum energy absorbed by the line arresters in function of magnitude of strike current and its duration, grounding impedances considered and the possibility of multiple discharges occurrence.

Line performance analysis has been done through computational simulation. A strike current of ramp type with waveshape 2,6 / 62 μ s and magnitude of 42 kA, corresponding to 50% of the magnitudes observed by CEMIG in its research program, was considered. Strike current has been simulated hitting the structures, which represent the worst condition. Grounding impedances were represented by concentrated resistances. The number of lightning strikes obtained through the simulation was 57,4 events / 100 km / year, being considered a hilly region.

For the transmission line performance study were considered the current line configuration, the improvement of grounding system for towers presenting grounding impedance values measured higher than 30 ohms and the installation of two or three line arresters per structure without any modification in the grounding impedance.

5.1 Current line configuration

For the current line performance simulation, grounding impedance measurement has been made for all structures of the line. Due to the large range of grounding impedance values measured, the study was performed considering different sections for the line in which, for each section, were simulated at least 8 structures with grounding impedance values corresponding to the average values obtained during the measurements. The grounding impedance value considered for each section studied as well as the critical currents for each section are presented in the Table 4.

Table 4 – Critical currents for sections of line

Impedance Range	Number of structures	Average resistance	Critical current (kA)
0 to 30 Ω	30	18,0	150,0
30 to 60 Ω	17	44,0	70,3
60 to 90 Ω	13	71,0	50,8
90 to 150 Ω	9	117,0	39,1
150 to 210 Ω	8	185,0	32,0
210 to 300 Ω	8	254,0	28,1
> 300 Ω	7	300,0	26,6

The line performance simulation has presented an outage level of 7,4 outages per year which corresponds to 15,4 outages / 100 km / year. This index corresponds to a line fail rate of 27,1%. The average lightning line performance in the last five years was around 10 outages / 100 km / year.

Voltage profiles along external insulators strings in function of the grounding impedance and considering a strike current with magnitude of 42 kA have been obtained and are presented in the Figure 4.

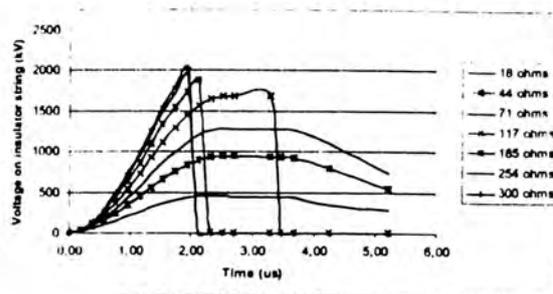


Figure 4 – Voltage profile on the insulators strings

From the results presented in the Figure 4, it is possible to verify the strong influence of the grounding impedance on the line performance. An increase in the voltage that appears on insulator strings with the increase of grounding impedance can be observed. For impedance values higher than 117 ohms is verified a discharge on insulator strings (backflashover) at a current of 42 kA.

5.2. Performance simulation for grounding impedance improvement

One of the methods to improve lightning line performance consists of the improvement of grounding system. This improvement reduces the voltage on the top of the structures meaning a voltage reduction that appears on insulator strings. CEMIG has been working to reduce the grounding impedance of the structures through new grounding configurations and new disposition of the counterpoises on its transmission lines structures.

The performance simulation was done considering the improvement of grounding impedances for all structures presenting values higher than 30 ohms. This way, performance analysis was done considering two line sections with average impedances of 18 and 30 ohms. Critical currents obtained for each section are showed in the Table 5.

Table 5 – Critical currents obtained during the simulation of grounding improvement

Section	Number of structures	Average resistance	Critical current (kA)
0 to 30 Ω	30	18,0	150,0
Improved	62	30,0	95,3

The line performance analysis has presented an outage index of 1,7 outages per year, which corresponds to a rate of 3,3 outages / 100 km / year, with a line fail rate of 5,7%. Based on the results obtained it is possible to verify that the improvement of the grounding system for impedances not higher than 30 ohms provides a relative reduction on the line outage index of approximately 80%.

5.3 Application of line arresters

The application of line arresters along the lines or in their critical sections has been providing good improvements in lightning line performance. The line performance simulation considering line arresters application, has been done for the following conditions:

- (1) two line arresters in every structure of the line with grounding impedance values higher than 30 ohm.
- (2) two line arresters in every structure on all line.
- (3) three line arresters in every structure of the line with grounding impedance values higher than 30 ohm.
- (4) three line arresters in every structure on all line.
- (5) two line arresters in every structure of the line with grounding impedance up to 71 ohms and three line arrester for all structures presenting grounding impedance higher than 71 ohms.

In the case of two arresters, these arresters were applied on external phases. Results are summarised in Table 6.

Table 6 - Line arresters application

Arrange	Critical current (kA)	Outages per year	Outages / 100 km / year	Line fail rate (%)
(1)	57,0 (*)	3,2	6,3	11,1
(2)	57,0 (*)	3,0	5,9	10,5
(3)	≥ 200,0	0,2	0,4	0,6
(4)	≥ 200,0	0,0	0,0	0,0
(5)	96,9 (**)	0,7	1,4	2,2

(*) Critical current that causes backflashover on the central insulator string for a grounding impedance equal or higher than 300 ohms.

(**) Same as above, but considering a grounding impedance equal or higher than 71 ohms.

From the information given in Table 6 it is possible to verify that the arrangements with two arresters per structure (1) and (2) present outages levels higher than the outage level obtained through grounding system improvement. On the other hand, the arrangement (3) presents a reduction in the outage level of approximately 90% when compared with the grounding system improvement method. For application of three line arresters per structure in every structure the outage level is very low and it is associated with the arrester fail rate.

The effect of line arrester application to improve line performance due to lightning can be better showed in the Figure 5, which presents voltage profiles on the central insulator string with and without line arresters, when the tower is reached by a strike current of 100 kA and for grounding impedances of 44 ohms and 71 ohms. As can be seen from the figure, line arresters reduces the voltage level that appears on insulator string for a grounding impedance of 44 ohms and avoids the backflashover for grounding impedances of 71 ohms or higher.

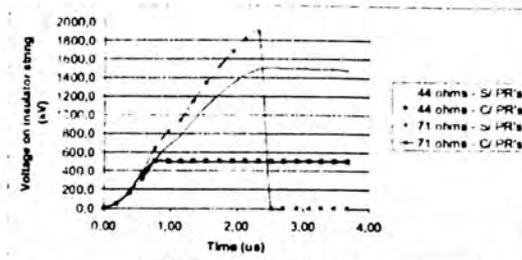


Figure 5 - Voltage profile on central insulator string with and without line arrester in parallel

5.4 Study to estimate the maximum energy absorbed by line arresters during lightning

This study has been done aiming estimate maximum energy to be absorbed by line arresters during its operation. Two situations were considered:

- a discharge current with magnitude of 200 kA striking on the tower (structure), considering grounding impedances of 18, 71 and 300 ohms.
- a shielding failure, in which a phase conductor is reached by discharge current of 6,5 kA, considering grounding impedances of 18 and 300 ohms.

Simulations to estimate the maximum energies absorbed by the arresters during lightning discharges have been done using ATP program. Seven towers were simulated along the line and modelled by their surge impedances (here considered as 150 ohms) and the wave propagation time considering tower height. The transmission line parameters were calculated using JMARTI routine. The grounding impedance was modelled as a concentrated resistance. A current source of ramp type with waveshape 2,6 / 65 µs was used to simulate lightning. The arresters model used was type 99, considering a rated voltage of 192 kV with MCOV of 156 kV. The maximum simulated energies absorbed by the arresters are showed in Table 7.

Table 7 - Arresters energy during lightning

Grounding Impedance (ohms)	Energy absorbed by the arresters (kJ)		
	Discharge in the structure		Shielding failure
	2 arresters	3 arresters	
18,0	82,0	72,0	13,0
71,0	291,0	237,0	-----
300,0	494,0	398,0	10,0

From the results showed in the Table 7 the maximum energies absorbed by the arresters are 494 kJ and 398 kJ for two and three line arresters per structure respectively. The energy absorbed by the arresters increases for higher values of grounding impedances. For shielding failure condition, the maximum energy absorbed by the arresters is very small for this simulation. For a line arrester with rated voltage of 192 kV, the maximum energy absorbed will be of 2,6 kJ / kV and 2,07 kJ / kV, for 2 and 3 arresters per structure, respectively. For these energies,

line arresters with transmission line discharge class 2 is enough to guarantee a good field performance. On the other hand, considering that grounding impedance values of 300 ohms are extremely high and the probability to occur lightning with magnitudes of 200 kA is less than 1%, it is possible to assume a very low arresters fail rate.

5.5 Economical analysis

An economic analysis has been performed in order to evaluate the more suitable improvement method on the technical and economic point of view, being considered a period to analysis of 10 years. The following considerations have been assumed in this analysis:

- All arresters will be installed on energised system.
- Cost of non supplied energy: R\$ 582,00 / MWh.
- It was assumed a constant non-scheduled outage during time of analysis (10 years) and an average non supplied energy value of 336 MWh, obtained from Figure 3. However, it is necessary take in mind that this non supplied amount of energy is a function of fault type and its location in the line. The case considered was due to a three phase short circuit close near to Ipatinga's substation.
- For current line condition, it was considered an outage level of 10 outages / 100 km / year.
- Arresters fail rate: 3 % per year (conservative value).
- Present value method was considered for economic evaluation, for an interest rate of 14% per year.

Details of analysis procedures and results obtained are presented in references [11] and [12]. Table 8 gives a summary of the analysis.

Table 8 – Economical evaluation of the methods proposed

Arrangement	Number of outages	Investment return (yr)	PWE method (R\$ x 1000)
Grounding	1,7	0,27	3.313,075
(1)	3,2	1,84	1.623,178
(2)	3,0	3,65	946,680
(3)	0,2	1,31	3.791,643
(4)	0,0	1,95	3.438,026
(5)	0,7	1,76	3.086,103

In spite of the grounding system improvement method presents the smallest investment return period, the best option under cost-benefit point of view for 10 years is the method described in arrangement (3).

6. CONCLUSIONS

- The improvement of lightning performance verified on lines with line arresters shows the efficiency and the reliability of this method to improve transmission line performance with rated voltages 34,5 kV and above.

- Line performance study shall be done through computational simulations in order to define the amount, location and characteristics of the arrester to be used in the line studied. To get a better cost-benefit relationship an economic evaluation should be accomplished, allowing the utilities to analyze and define the more viable option under technical and economic point of view.
- Studies to estimate the maximum energy absorbed by the arresters during lightning shall be done in order to get a good arrester performance and increase its reliability. These studies allow the utilities to estimate arresters fail rate based on more critical conditions of lightning and grounding impedance defined by them.
- In regions with high soil resistivity, usually in the most of cases, the best solution to improve transmission line performance can be arresters application, together with the improvement of grounding system through reducing grounding impedance and / or modification in counterpoise configurations.

7 REFERENCES

- [1] Carvalho, A.M. et alli, "Tecnologias para análise e melhoria do desempenho de instalações de transmissão frente a descargas atmosféricas", XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, 1999.
- [2] Cherchiglia, L. C. L. et alli, "Application of Transmission Line Lightning Arresters in CEMIG", Trip Report – CIGRÉ 2000 and WG meetings, 2000.
- [3] CIGRÉ WG 33.11, " Application of Metal Oxide Surge Arresters to Overhead Lines ", ELECTRA nº 186, pp. 83-112, October 1999.
- [4] Cherchiglia, L. C. L. et alli, "Estudos para aplicação de pára-raios de ZnO em linhas de transmissão da CEMIG", XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, 1999.
- [5] De Franco, F. L. & Lira, E. A., "Pára-raios de linha: A Solução para a Melhoria da Performance de Linhas de Transmissão de 69 kV a 230 kV frente a Descargas Atmosféricas", VIII ERLAC, Paraguai, 1998
- [6] Comber, M. G. & Zinscr, R. L., "Lightning Protection of Transmission Lines with Polymer Housed Surge Arresters", CIGRE International - Workshop on Line Arresters and Lightning - RJ, April 1996.
- [7] De Franco, J. L. et alli, "Aplicação de pára-raios – Uma Solução para a Melhoria do Desempenho de Linhas de Transmissão", IV Congresso Latino Americano de Generación y Transporte de Energy Elétrica, Viña del Mar, Chile, Novembro de 2000.
- [8] Brocard, E. & Tartier, S., " Simulation and Optimisation of the Lightning Protection of Overhead Lines ", CIGRE International Workshop on Line Arresters and Lightning, RJ - April 1996.
- [9] Bezerra, A. C. G., "Diagnóstico de Desempenho sob Ação de Descargas Atmosféricas de LT em Projeto com Aplicação de Pára-raios", XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, 1999.
- [10] Câmara, A. S. B. et alli, "Protection Against Lightning Surges Provided by Line Arresters – FURNAS' Experience on 138 kV Systems", V International Symposium on Lightning Protection, São Paulo, Maio de 1999.
- [11] Laponi, J. C., " Evaluation of Projects of Investment - Models in Excel" (in portuguese), Laponi Treinamento e Editora Ltda, São Paulo, 1996.
- [12] De Franco, J. L. et alli, "Aplicação de pára-raios para a Melhoria de Desempenho de Linhas de Transmissão de 230 kV", trabalho a ser apresentado no XVI SNPTEE, 2001.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jorge Pontt O. , José Rodríguez P. , Germán Sepúlveda V., “Accionamientos Gearles para Molinos de Alta Potencia”. Universidad Técnica Federico Santa María, Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF), Primera edición, Chile. 2003.
2. Muhammad H Rashid, “Electrónica de Potencia”. Circuitos, dispositivos y aplicaciones”, Segunda edición, Traducción: Ing. Gabriel Sánchez Garcia. México. 1995.
3. Edward Wilson Kimbark, “ Direct Current Transmisión”, Volume I, United Sates of America. 1971.
4. Stephen J. Chapman, “Máquinas Eléctricas”, Segunda edición, Universidad de Houston, Traducción: Octavio Posada Salazar. McGraw-Hill Latinoamericana S.A., México. 1991.
5. Harry Mathews and Willie Wong, “Study N° 2 Antamina Plant and Vizacarra SVC Operation Under Weak Conditions”, reviewed by: Willie Wong. Sept. 29, 2000.
6. Harry Mathews, “Study N° 3 Harmonic Performance Verification” (Part 1). Rreviewed by Willie Wong. August 30, 2000.
7. Harry Mathews, “Study N° 3 Harmonic Performance Verification” (Part 2). Reviewed by Willie Wong. August 30, 2000.

8. Willie Wong and Mohamed Maharsi, “Antamina Study N°4 – Vizcarra SVC Control Strategies During SLG Faults and Single-Pole Switching”, reviewed by Willie Wong. Aug. 30, 2000.
9. Harry Mathews, “Antamina Study N° 5 – Analysis and Modeling of existing Background Harmonics”, reviewed by Willie Wong, August 4, 2000.
10. Harry Mathews, “Antamina Study N° 7- Harmonic Currents and Voltages in the Antamina Filters Due to Existing Background Harmonics And Vizcarra SVC”, reviewed by Willie Wong. August 4, 2000.
11. Proyecto Antamina- “Sistema de Transmisión 220kV, Volumen VI: Incorporación del SVC en la Subestación Vizcarra”, 2000.
12. Var Control, “Electric Power Systems Harmonics Desing Guide”
13. Colegio Ingenieros del Perú. Curso Profesional: Estabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia, Capítulo de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Agosto 1998.
14. Antamina-Bechtel - ABB “Manuales del SVC de Vizcarra” – 2001.
15. Mantenimiento Eléctrico Antamina, “ Cycloconvertidor Sag Mill Variadores de Velocidad” – 2001.
16. ABB, “Filosofía de control sistema PFC” -2001.
17. ABB, “Functional description of motor Excitation Panel” -1999.
18. ABB, PFC Training – Antamina, 12/14.Dec.01. ABB.

- 19 Wilson Alonzo, “Procedimientos de maniobras para el sistemas de Potencia de Antamina” -2001.
- 20 Teresa E. Núñez Zúñiga, “Proyecto: Diseño y Simulación de un Filtro Activo de Potencia”, Instituto de investigación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad nacional de Ingeniería. 2004.
- 21 Jorge Luiz De Franco, “Lighting Arrester Application for the improvement of transmisión line performance”, Industria Inepar S.A: - Brasil.
- 22 Zbigniew Hanzelka & Andrzej Bien, “Power quality application Harmonics and Interharmonics”, AGH University of Science and Technology: - July 2004.
- 23 Mr. J. Schaffer’s, “Current Limit Protector”, G&W Electric Co. – 2005.
- 24 Siemens, “Manuales SiBas – aplicado para control de Palas Bucyrus”, Siemens – 2003.