

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE COMPENSACIÓN REACTIVA  
PARA REDUCIR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO  
DE UNA MINA POLIMETÁLICA**

**INFORME POR EXPERIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**ELABORADO POR:**

**EDMUNDO OSCAR PEREIRA CÁRDENAS**

**PROMOCIÓN 1987- I**

**LIMA – PERÚ**

**2014**

## **DEDICATORIA**

*Con mucho cariño la presente tesis la dedico a:*

*Mi madre Verona Eugenia, que me dio la vida, siempre creyó en mí y con gran esfuerzo apoyó mi carrera.*

*A mi esposa Irene Soledad, que me alentó para continuar en todo momento.*

*A mis hijos Cristhian, Arnold y Catherine, por su apoyo y comprensión en los momentos de desarrollo de la presente tesis.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por ser siempre la fuente de mi inspiración.*

*Al Ing. Alberto Inga Rengifo, por su excelente asesoría en la elaboración de la presente tesis.*

*A la Empresa Administradora Chungar perteneciente a Volcan Cía. Minera, por el apoyo a las iniciativas de sus profesionales y por permitirme pertenecer al grupo de trabajo que desarrolló el presente estudio y posterior aplicación; que estoy seguro servirá de aporte para establecer las pautas necesarias para trabajos similares.*

*A mis amigos por brindarme su tiempo en el desarrollo de la presente tesis.*

# CONTENIDO

<b>PROLOGO</b>	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	3
<b>INTRODUCCIÓN</b>	3
1.1 Generalidades	3
1.2 Antecedentes	4
1.3 Objetivos	7
1.4 Alcances	7
1.5 Limitaciones	7
<b>CAPÍTULO 2</b>	8
<b>MARCO TEÓRICO</b>	8
2.1. Compensación de un Sistema Eléctrico	8
2.2. Factor de Potencia	8
2.3. Diagrama de Carga	10
2.4. Indicadores de Calidad de Energía para Tensiones y Flicker	10
2.4.1 Tensión	11
2.4.2 Frecuencia	11
2.4.3 Perturbaciones	11
2.4.3.1 Flicker	11
2.4.3.2 Para Tensiones Armónicas	12
2.4.4 Tolerancias	12
2.4.4.1 Flicker	12
2.4.4.2 Tensiones Armónicas	12
2.5 Efectos de las Armónicas de Corrientes	14
2.5.1 Los límites recomendables	15
2.5.2 Límites de Armónicas de Corrientes	16
2.6 Resonancia de Condensadores de compensación del factor de potencia	18
2.7 Eliminación de Riesgos de Resonancia	18
<b>CAPÍTULO 3</b>	19
<b>CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO</b>	19
3.1 Información Base	19
3.2 Nuevos Proyectos 2010-2013	19
3.3 Sistema eléctrico en el 2010	20
3.3.1 Desde el SEIN	20
3.3.2 Generación Propia	22
3.4 Consumo de energía desde el SEIN, barra de Shelby en 50 KV	23
3.5 Análisis de la Producción de Energía	27
3.6 Despacho de energía	28
3.7 Análisis de Consumos de Energía y Potencia en el 2010	30
3.8 Consumo de Energía	32
3.9 Consumo de Potencia	33

3.10 Tensión en Bornes de Generación	36
3.11 Metodología de medición y equipo utilizado	37
3.12 Resultados de los análisis niveles de tensión	39
3.13 Resultados de los Niveles de Corriente medidos en campo	42
3.14 Niveles de Potencia	43
3.15 Consumo de Energía SE Animón en HP y HFP	45
3.16 Parámetros de los transformadores con carga (Cargabilidad)	47
3.17 Niveles de temperatura en los Transformadores de Potencia SE Animón	50
3.18 Balance de energía y potencia	51
3.19 Verificación de Operación de las Centrales	53
3.20 Verificación de la operación de los condensadores existentes.	56
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>59</b>
<b>ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA Y ARMÓNICOS BAJO LOS MARCOS NORMATIVOS DE LA NTCSE Y EL IEEE 519</b>	<b>59</b>
4.1 Análisis de calidad de Energía	59
4.1.1 Medición de Tensión en la SE Animón 22.9kV	59
4.1.2 Medición de Flicker en la SE Animón 22.9kV	60
4.2 Medición de armónicas individuales de tensión en 22.9 KV	63
4.3 Medición de Tensión en la SE Animón 50kV:	67
4.4 Medición de Flicker en la SE Animón 50kv	68
4.5 Medición de armónicas individuales de tensión en 50 KV	68
4.6 Análisis de Armónicos de Corriente Según IEEE 519	73
4.6.1 Determinación de las Tolerancias	73
4.6.2 Evaluación de los indicadores de calidad	75
4.7 Análisis de Armónicos	79
4.7.1 Análisis de la 5ta Armónica	79
4.7.2 Análisis de la 7ma Armónica	80
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>82</b>
<b>SELECCIÓN DE LA COMPENSACIÓN REACTIVA</b>	<b>82</b>
5.1 Costo Adicional de Operación	82
5.2 Comportamiento de la Potencia Reactiva	83
5.3 Análisis inicial de compensación	87
5.4 Planteamiento de alternativas	88
5.6 Comparación técnica de los sistemas de compensación	96
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>97</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE BANCO DE CONDENSADORES DISTRIBUIDOS</b>	<b>97</b>
6.1. Instalación Inicial de los Bancos de Condensadores	97
6.2. Ubicación de los Bancos de Condensadores por Circuitos	98
6.3. Ubicación de los Bancos de Condensadores por Circuitos	98
6.4. Análisis Económico de Instalación de los Bancos de Condensadores Distribuidos	100

<b>CAPÍTULO 7</b>	104
<b>OPORTUNIDADES DE MEJORA, RECOMENDACIONES Y PLAN DE ACCIÓN</b>	104
<b>CONCLUSIONES</b>	108
<b>RECOMENDACIONES</b>	109
<b>ANEXOS</b>	109
ANEXO A	111
REGISTROS POR CENTRO DE CONSUMOS-	111
MEDICIÓN EN MEDIA TENSIÓN (22.9 KV)	111
ANEXO B	114
BALANCES DE POTENCIA Y ARMÓNICOS	114
ANEXO C	119
PLANOS ELÉCTRICOS	119
ANEXO D	122
PLANOS ELÉCTRICOS POR CIRCUITOS OPERATIVOS	122
ANEXO E	132
SELECCION DE FILTROS	132
ANEXO F	136
RESUMEN DE SIMULACIONES	136
ANEXO G	143
ANEXO H	154
ESPECTROS DE ARMÓNICOS	154
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	167

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1 Límite de distorsión individual de tensión (V <sub>i</sub> '), 13	Cuadro 4.14: Revisión cantidad intervalos que exceden la tolerancia, 76
Cuadro 2.2 Límites de distorsión individual de tensión (V <sub>i</sub> ') para Baja y Media Tensión, 14	Cuadro 4.15. Valores para TDD, 76
Cuadro 2.3 Límites en Distorsión de corriente (I <sub>h</sub> ) en % de IL. Según estándar internac IEEE 519, 16	Cuadro N° 4.2. Medicion de Flicker en la SE Animon 22.9 KV, 60
Cuadro 3.11: Valores RMS para la corriente, 42	Cuadro N° 4.3 Medicion de Armonicas de Tension en 22.9 KV, 63
Cuadro 3.16: Variación de parámetros de los Transformadores SE Principal, 49	Cuadro N° 4.4. Porcentaje de Intervalos en Falta, 66
Cuadro 3.18: Factor Coincidencia por Alimentador, 53	Cuadro N° 4.5. Evaluación Mediciones Tensión 68
Cuadro 3.2: Barras de Shelby en 50KV, día típico Energía HP/HFP, 24	Cuadro N° 4.6. Evaluación Mediciones de Flicker, 68
Cuadro 3.3 Datos de un día típico Potencias Max/Min, 24	Cuadro N° 4.7. Evaluación de Mediciones de Tensiones Armónicas, 72
Cuadro 3.4 Datos de un día típico: Potencias HP/HFP, 24	Cuadro N° 4.8: Intervalos en falta, 72
Cuadro 3.5: Energía Feb.2011, 24	Cuadro 4.9: Valores de Corriente Máxima en 22.9 y 50 KV, 73
Cuadro 3.6 Cuadro Potencia Activa por mes-2010, 34	Cuadro 5.10: Compensación inicial, 87
Cuadro 3.7: Cuadro Potencia Reactiva Promedio 2010, 35	Cuadro 5.11: Compensación en 22.9 KV, 88
Cuadro 3.8 Tensión en bornes. Se midió el día 07/04/11, 37	Cuadro 5.12: Filtro de Armónicas – Planta, 92
Cuadro 3.9: Período de medición, 38	Cuadro 5.13: Filtro de Armónicas – Esperanza, 92
Cuadro 4.10: Valores Corrientes de Corto Circuito, 74	Cuadro 5.14 Compensación en interior Mina, 93
Cuadro 4.11: Relación de Corriente de Corto Circuito/Corriente Carga, 74	Cuadro 5.15 Compensación en interior Mina, 93
Cuadro 4.12: Tolerancias para Armónicas de Corriente, 74	Cuadro 5.16: Compensación Distrib por circuitos, 94
Cuadro 4.13: Evaluación intervalos que excedieron la tolerancia, 75	Cuadro 5.17, Codif Condensadores 95
	Cuadro 5.18: Comparación técnica de las alternativas de Compensación, 96
	Cuadro 5.6: Pago por exceso de consumo de energía reactiva mensual., 82
	Cuadro 6.1: Matriz de Oportunidades de Mejora, 105
	Cuadro 6.3: UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE CONDENSADORES, 98

## ÍNDICE DE ESQUEMAS Y GRÁFICAS

Diagrama de Flujo de Fondos	102	
Esquema 3.1: Alimentación desde el SEIN a Animón-Volcan en 50 KV	21	
Esquema 3.2: Generación Propia en Paralelo con el SEIN	22	
Esquema 3.3: Topología de la red	31	
Esquema 3.5: Direccionalidad de los flujos de potencia activa y reactiva	55	
Gráfico 3.10 Estructura de Consumo de Potencia Reactiva	35	
Gráfico 3.13: Perfiles de tensión 50kV	40	
Gráfico N° 3.2: Máxima Demanda Histórica U.O.Animon Ene ´07 a Feb ´11, en 22.9 KV	26	
Gráfico 3.27: Scan de Frecuencia de la 7ma armónica del condensador cuando trabajan los grupos electrógenos	57	
Gráfico 3.3: Producción de Energía Mensual-Año 2010	27	
Gráfico 3.4: Producción Anual de las Mini CH, año 2010.	28	
Gráfico 3.6: Despacho Histórico 2010. Mini Centrales Hidroeléctricas	30	
Gráfico 3.7: Consumo de Energía Mensual 2010	32	
Gráfico N° 4.1 Tolerancias en Nv de Tension 22.9 KV SE Animon	61	
Gráfico N° 4.2 Indice de Severidad por Flicker en la SE Animon en 22.9 KV	62	
Gráfico N° 4.3 Tensiones Armonicas Maximas en SE Animon 22.9 KV	64	
Gráfico N° 4.4. Factor Distorsion Total por Tensiones Armonicas SE Animon 22.9 KV	65	
Gráfico N° 4.5 Perfiles de Tension SE Animon 22.9 KV	67	
Gráfico N° 4.6 Indice Severidad por Flicker SE Animon 22.9 KV	69	
Gráfico N° 4.7 Tensione Armonicas Maximas SE Animon 50KV	70	
Gráfico N° 4.8 Factor Distorsión Total SE Animón 50KV	71	
Gráfico 4.10 Espectro de tensión 22.9kV	77	
Gráfico 4.11 Espectro de corriente 50kV	78	
Gráfico 4.12 Espectro de corriente 22.9kV	78	
Gráfico 4.13 Dispersión 5ta armónica 22.9kV	79	
Gráfico 4.14 Dispersión 5ta armónica 50kV	79	
Gráfico 4.15 Dispersión 7ma armónica 22.9kV	80	
Gráfico 4.16 Dispersión 7ma armónica 50kV	81	
Gráfico 4.9 Espectro de tensión 50kV	77	
Gráfico 5.1 Potencia Reactiva – Mina Esperanza	84	
Gráfico 5.2 Potencia Reactiva – Montenegro	85	
Gráfico 5.3 Potencia Reactiva – Planta Concentradora	86	
Gráfico 6.1: Energía Reactiva Mensual _ Año 2013	99	
Gráfico 6.2: Diagrama de Flujo de Fondos	102	



## ABREVIATURAS

SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
NTCSE	Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, creada mediante DS N° 009-93-EM.(Perú)
NEC	Código Nacional de Seguridad Eléctrica -USA (NATIONAL ELECTRICAL SAFETY CODE)
ANSI	Instituto Americano de Estándares (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS)
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION).
COES	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
CNE	Código Nacional de Electricidad
OSINERG	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía
TPD	Toneladas Por Día
PAC	Punto de Acoplamiento Común
THD	Total Harmonic Distorsión (Factor Distorsión Total)
$N_i$	Tensiones Armónicas Individuales
Pst	Índice de severidad por Flicker de corta duración
RMS	Valor Eficaz
TDD	Factor de Distorsión de Demanda
Isc	Máxima corriente de cortocircuito en el PAC
$I_L$	Máxima corriente de carga en el PAC

## PRÓLOGO

Éste informe por experiencia profesional, trata sobre el Estudio e Implementación de Compensación Reactiva para Reducir Pérdidas en el sistema eléctrico perteneciente a una Mina Polimetálica, la cual es la mina Animón perteneciente a la Empresa Administradora Chungar.

El informe está estructurado en 7 capítulos.

- En el **Capítulo 1**, se realiza una Introducción al tema, los antecedentes de la mina, así como debido al incremento de su producción presenta necesidades de energía para el corto y mediano plazo; asimismo se señala el Objetivo de la presente tesis de compensar energía reactiva para reducir pérdidas y mejorar los principales parámetros eléctricos de trabajo, en la parte final se indican los alcances y las limitaciones del mismo.
- En el **Capítulo 2**, se presenta el Marco Teórico para sustentar y desarrollar el presente informe.
- En el **Capítulo 3**, se muestra la caracterización del Sistema Eléctrico de la Mina Polimetálica, la misma que es necesaria para poder determinar las características de la Oferta y la Demanda para el corto plazo; de sus proyecciones para el mediano plazo, considerando los principales parámetros eléctricos en los diferentes niveles de tensión utilizados para su transmisión y distribución.
- En el **Capítulo 4**, se realiza un Análisis de la Calidad de Energía y Armónicos de los espectros armónicos de tensión y de corriente, bajo los marcos normativos de la NTCSE y el IEEE 519 respectivamente.

- En el **Capítulo 5**, se realiza la Selección de la Compensación Reactiva por medio de la instalación de un Banco de Condensadores, se indican las dos (02) alternativas de instalación; la primera en forma centralizada en nivel de tensión de 22.9 KV y la segunda en forma distribuida en nivel de tensión de 460 Voltios.
- En el **Capítulo 6**, se desarrolló un Análisis Económico de la Adquisición e Instalación de Banco de Condensadores Distribuidos, comparado con los resultados positivos de su instalación.
- En el **Capítulo 7**, se da a conocer las Oportunidades de Mejora, Recomendaciones y Planes de Acción.

Finalmente se indican las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Generalidades**

Debido al constante incremento en su producción de minerales polimetálicos que ha tenido la Unidad Operativa Animón perteneciente a la Empresa Administradora Chungar (EACH), de 500 Toneladas Por Día (TPD) (año 2000) a 4200 TPD (año 2010) y 5200 TPD (año 2013), ha ocasionado que el consumo de potencia y energía se incremente notablemente en dicho lapso de tiempo superando en algunos casos la capacidad nominal de sus equipos.

Este incremento ha conllevado a tener fuertes variaciones en sus parámetros eléctricos de trabajo; los problemas más comunes eran las caídas de tensión y sobrecarga en los dos (02) transformadores principales de potencia ubicados en la subestación principal de Animón (2x6MVA) que hacía peligrar los niveles de confiabilidad de las instalaciones eléctricas ya que de presentarse el caso fortuito de un colapso, afectaría los estimados de producción; situación a la que no debe exponerse al sistema eléctrico.

Asimismo, el requerimiento de energía reactiva era cada vez mayor, lo cual ocasionaba que dicha energía tenga que ser absorbida del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y con frecuencia de las diferentes tipos de Centrales Hidroeléctricas pertenecientes a la Unidad Operativa Animón. En el año 2010 el factor de potencia que se tenía en barras de llegada de 60 KV, era de 0.89.

Para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico, estar preparados para afrontar las necesidades en el mediano plazo y también para dar solución al exceso de consumo por concepto de energía reactiva, la Alta Gerencia de Volcan Cía.

Minera (propietaria de EACH) decidió aprobar la realización de los estudios eléctricos para la Compensación Reactiva para reducir las pérdidas en el Sistema Eléctrico.

Algunos estudios requirieron de la intervención de otras empresas especializadas, pero la propuesta, integración y desarrollo final estuvo a cargo del Área de Energía y el Departamento de Mantenimiento Eléctrico de la empresa, donde participe activamente como Coordinador del Proyecto.

## 1.2 Antecedentes

La empresa Volcan Compañía Minera S.A., es un gran productor polimetálico ubicado en la Sierra Central del Perú, zona de amplia tradición minera, primero en la producción de concentrados de Plomo, tercero en concentrados de Plata y de Zinc en el Perú, está ubicada entre las diez principales empresas productoras de zinc y plata en el mundo; cuenta con la subsidiaria Empresa Administradora Chungar S.A.C., la cual es dueña de la mina Animón que está ubicada en el distrito de Huallay del departamento de Cerro de Pasco a una altura de 4,600 m.s.n.m., en las coordenadas U.T.M.: N-8'780,728 y E-34465.

Desde setiembre del 2000 se dedica a la explotación y extracción de minerales polimetálicos tales como Zinc, Cobre, Plomo y Plata; con un agresivo programa de exploraciones que incrementaron las reservas, asimismo se incrementaron las concesiones. Con el incremento de reservas se amplió la producción de mina de 500 TPD a 2,800 Ton/día en el 2007 y 3,200 TPD desde el 2008, similar proceso ha tenido la planta concentradora, que actualmente procesa 4,200 TPD, para el 2013 empezó a procesar 5,000 TPD.

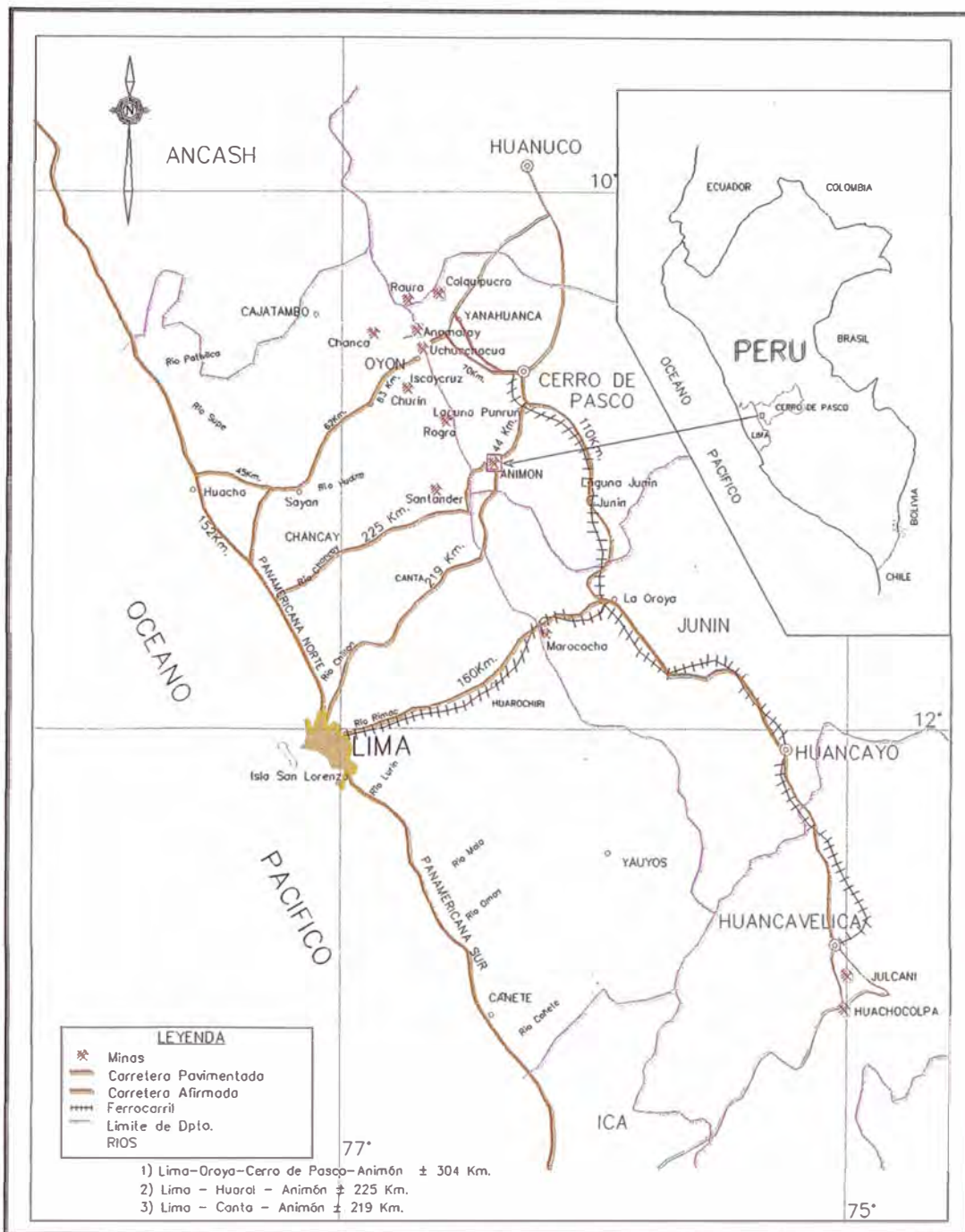
EACH es una Empresa moderna, eficiente, respetuosa de su entorno que da trabajo a más de 2,500 personas y tiene un alto compromiso de responsabilidad social y ambiental.

Geomorfológicamente la mina Animón se encuentra dentro de la superficie puna en un ambiente glaciario, la zona presenta un clima frío y seco típico de puna, la vegetación son pastos conocidos como "ichus". En esta zona se presentan temperaturas máximas absolutas menores a 18 °C, las temperaturas medias anuales son de 10 °C, la diferencia de temperaturas es bien marcada por las intensas heladas. Cuenta con recursos hídricos que favorecen a la generación de energía eléctrica y a la explotación minera. El año 2010 contaba con 10 centrales hidroeléctricas de diferentes tamaños, con una potencia instalada de 20.13 MVA, ubicada en los ríos Baños, Chicrin y Vichaycocha pertenecientes a la cuenca del río Chancay – Huaral, generando energía eléctrica para sus unidades de producción y comunidades aledañas. De acuerdo a su ubicación, el principal acceso es por la carretera central Lima-Oroya-cruce Villa de Pasco: 285 km. en carretera asfaltada, y de este punto a Animón hay 43 Km. en carretera afirmada, haciendo un total de 328 Km. (Fig. 1.1)

Otras rutas:

Lima – Canta – Animón: 219 km (05 horas en camioneta).

Lima – Huaral – Animón: 225 km (05 horas en camioneta).



**Figura 1.1** Ubicación Mina Animón.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fuente: Mapa Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

### 1.3 Objetivos

Desarrollar el estudio de compensación reactiva en la mina Animón para reducir las pérdidas en el sistema eléctrico a partir de la mejora del factor de potencia, asimismo proporcionar las medidas necesarias para evitar la variación de sus principales parámetros eléctricos ante el nuevo incremento de la demanda. Como consecuencia, otro beneficio fue reducir el costo por consumo de energía reactiva que se toma desde el SEIN.

### 1.4 Alcances

El presente estudio abarcará desde la caracterización del Sistema Eléctrico hasta la selección del banco de condensadores para lograr mejorar el factor de potencia y los beneficios que se indican en el Objetivo de la Tesis. Para ello se ha simulado las implicancias de su efecto de la instalación de los bancos de condensadores considerando el efecto de la distorsión debido a los armónicos.

### 1.5 Limitaciones

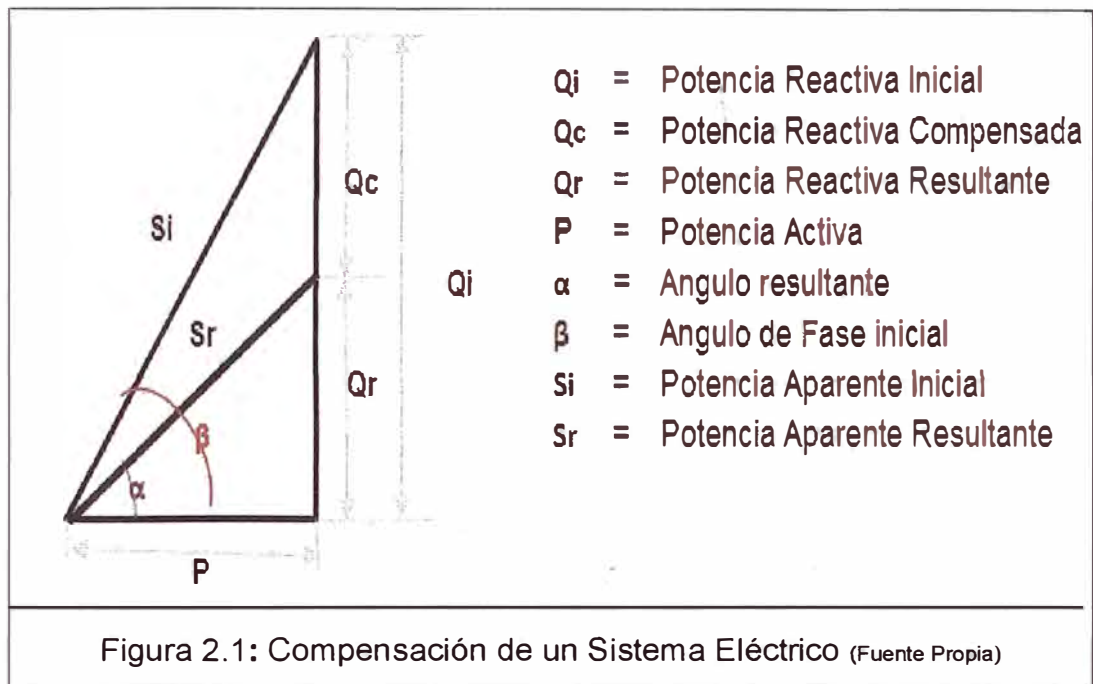
Esta tesis se culminó en agosto del año 2013, por lo tanto no incluye los análisis posteriores a la instalación progresiva de los bancos de condensadores distribuidos, los cuales se ejecutaron a partir del mes de octubre del año 2013.



## CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1. Compensación de un Sistema Eléctrico

La compensación trata de colocar condensadores para neutralizar la energía reactiva asociada a los campos magnéticos internos de los motores y transformadores pertenecientes a un proceso productivo; esta energía provoca sobrecargas en las líneas transformadoras y generadoras sin producir a cambio un trabajo útil. En la fig. 2.1, se muestra el triángulo típico de compensación.



### 2.2. Factor de Potencia

Se define como el cociente entre la Potencia Activa o útil consumida y la potencia total o aparente suministrada a una carga. Se representa en un triángulo de potencias, tal como se aprecia en la figura 2.1 y su expresión en la fórmula 2.1.

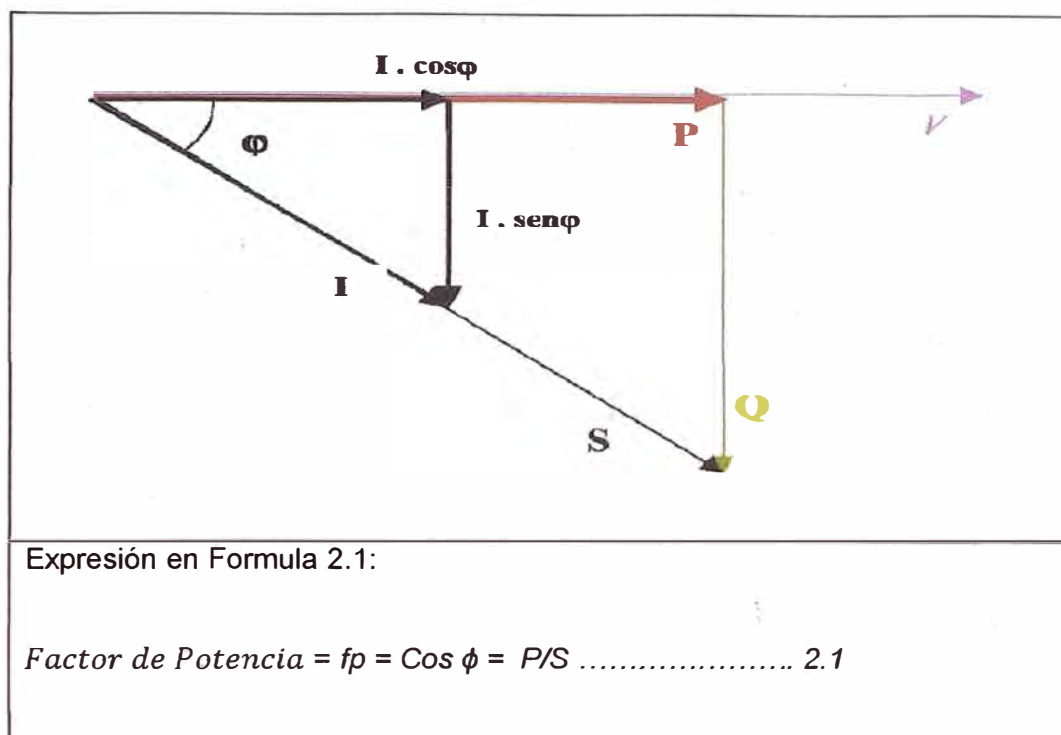


Figura 2.2. El triángulo de potencias <sup>1</sup>

La presencia de cargas de diferentes tipos en el sistema eléctrico es la que provoca el desfase entre las ondas de corriente y voltaje. Debido a que el equipamiento en una actividad minera requiere principalmente de motores y transformadores llevando implícitamente la existencia de campos magnéticos (CM) para tener campos rotantes, estos CM requieren de potencia reactiva (KVAR), incrementando la potencia aparente (KVA) para igual potencia activa (KW) generando que se consuma más corriente eléctrica por la instalación eléctrica para el trabajo útil demandado pérdidas en la Líneas de Alimentación y elementos de distribución hacia las cargas operativas.

---

<sup>1</sup> Fuente Propia

Esta sobreintensidad produce:

A) Pérdida de potencia de sus instalaciones: Estas se diseñan para una intensidad máxima, si existe potencia reactiva, la potencia útil (activa) máxima de la instalación disminuye.

B) Aumenta las pérdidas en la instalación: Al incrementar la intensidad que circula por los cables, aumentan las pérdidas por efecto joule y el calentamiento de estos.

C) Caídas de tensión: Al incrementar la intensidad, aumentan las caídas de tensión; pudiendo perjudicar sus procesos o equipos.

### 2.3. Diagrama de Carga

Es la curva de carga en un período determinado del sistema de potencia, se caracteriza porque en ella se indica las Potencias Mínimas (PMin) y Potencias Máximas conocida como Demanda Máxima (DMax), el área debajo de esta curva es la energía consumida en KW-H. El diagrama de carga nos permite encontrar las tendencias de la energía y por lo tanto tomar decisiones de acuerdo a una política establecida.

### 2.4. Indicadores de Calidad de Energía para Tensiones y Flicker

En el Perú se cuenta con la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) que fue creada mediante DS N° 020-97-EM y actualizada el 13/09/2010, cuyo objetivo es establecer los niveles mínimos de calidad con un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno; las obligaciones de las Empresas de electricidad con los Clientes del mercado libre o regulado. Asimismo estos últimos están obligados a cumplir ciertos requerimientos mínimos que aseguren una buen empleo de la energía eléctrica y que no ocasionen perturbaciones en las redes eléctricas, fijándose tolerancias y las

respectivas compensaciones y/o multas por incumplimientos, el numeral 3.5 de la NTCSE establece la obligación del Comité de Operación Económica del Sistema (COES) de investigar, identificar a los responsables y a calcular las compensaciones correspondientes en caso de trasgresiones a la calidad del producto y/o suministro en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), determinando la responsabilidad de los agentes.

Los parámetros de calidad de producto definidos por la Norma Técnica de Calidad aplicables a nuestro estudio son los siguientes:

#### 2.4.1 Tensión

Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión.

#### 2.4.2 Frecuencia

Variaciones sostenidas de frecuencia. Asimismo la empresa concesionaria debe asegurar que en su sistema eléctrico no existan frecuencias de resonancia que coincidan con las frecuencias de las corrientes armónicas de las cargas de los clientes finales.

#### 2.4.3 Perturbaciones

La NTCSE controla el Flicker y las Tensiones Armónicas, se miden en el voltaje de Puntos de Acoplamiento Común (PAC) del Sistema, de puntos indicados explícitamente en la Norma o de otros que especifique la autoridad en su oportunidad.

##### 2.4.3.1 Flicker

El índice de Severidad por Flicker de corta duración (Pst) definido de acuerdo a la Norma IEC.

#### 2.4.3.2 Para Tensiones Armónicas

Las Tensiones Armónicas Individuales ( $V_i$ ) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD). Estos indicadores de calidad (Pst,  $V_i$  y THD) se evalúan separadamente para cada Intervalo de Medición de diez (10) minutos durante el Período de Medición de Perturbaciones, que como mínimo será de siete (7) días calendarios continuos.

#### 2.4.4 Tolerancias

Los valores son los que se indican.

##### 2.4.4.1 Flicker

El índice de severidad no debe superar la unidad ( $Pst \leq 1$ ) en AT, MT y BT. Se considera el límite:  $Pst = 1$  como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población.

##### 2.4.4.2 Tensiones Armónicas

Los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales ( $V_i$ ) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite ( $V_i'$  y  $THD'$ ) indicados en los cuadros 2.1 y 2.2. Para efectos de esta Norma, se consideran las armónicas comprendidas entre las dos ( $2^\circ$ ) y cuarenta ( $40^\circ$ ), ambas inclusive.

Al combinarse con las ondas sinusoidales fundamentales forman una onda distorsionada, repetitiva, no sinusoidal. Son generadas por cargas no lineales (equipos de comunicación, video, etc.), debido al empleo de un circuito de rectificación o fuente de poder ocasionando operación errática, sobre calentamiento de equipo y conductores, falla prematura de equipos y operación de equipos de protección. La NTCSE especifica tolerancias en cuanto a las

variaciones de los niveles de tensión medidos. El indicador de calidad de tensión se refiere a que en un intervalo de medición k, de 15 minutos de duración está dado por la fórmula 2.2:

$$\Delta V_K(\%) = \frac{(V_K - V_N)}{V_N} * 100\% \dots\dots\dots 2.2$$

La forma de evaluar una tensión o una corriente distorsionada es a través del parámetro denominado Distorsión Armónica Total THD (Total Harmonic Distorsión). Según la NTCSE la fórmula 2.3, de THD es la siguiente:

$$THD(\%) = \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=2..40} V_i^2}}{V_N} \right) * 100\% \dots\dots\dots 2.3$$

Dónde:  $V_N$  (Tensión Nominal)

$V_i = V_2, V_3, \dots, V_{40}$ : Armónica de tensión del orden 2 al 40

*\* El THD se interpreta como: Que proporción de la señal de 60Hz representa la señal distorsionada.*

Cuadro 2.1 Límite de distorsión individual de tensión ( $V_i$ )<sup>2</sup> Para Alta y Muy Alta Tensión

Alta y Muy Alta Tensión							
Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%
2	1.5	12	0.2	22	0.2	32	0.2
3	1.5	13	1.5	23	0.7	33	0.2
4	1.0	14	0.2	24	0.2	34	0.2
5	2.0	15	0.3	25	0.7	35	0.171
6	0.5	16	0.2	26	0.2	36	0.2
7	2.0	17	1.0	27	0.2	37	0.168
8	0.2	18	0.2	28	0.2	38	0.2

<sup>2</sup> Según la NTCSE

Alta y Muy Alta Tensión							
Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%
9	1.0	19	1.0	29	0.186	39	0.2
10	0.2	20	0.2	30	0.2	40	0.2
11	1.5	21	0.2	31	0.181		
Límite máximo de THD de tensión = 3 %							

Para tensiones menores o iguales a 30kV el sistema debe cumplir un límite máximo de distorsión de tensión THD de 5%, los límites de tensiones armónicas individuales están dados en el cuadro 2.2 de dicha Norma y se resumen así:

Cuadro 2.2 Límites de distorsión individual de tensión (Vi') para Baja y Media Tensión<sup>3</sup>

Baja y Media Tensión							
Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%	Armónico	%
2	2.0	12	0.2	22	0.2	32	0.2
3	5.0	13	3.0	23	1.5	33	0.2
4	1.0	14	0.2	24	0.2	34	0.2
5	6.0	15	0.3	25	1.5	35	0.557
6	0.5	16	0.2	26	0.2	36	0.2
7	5.0	17	2.0	27	0.2	37	0.538
8	0.5	18	0.2	28	0.2	38	0.2
9	1.5	19	1.5	29	0.631	39	0.2
10	0.5	20	0.2	30	0.2	40	0.2
11	3.5	21	0.2	31	0.603		
Límite máximo de THD de tensión = 5 %							

## 2.5 Efectos de las Armónicas de Corrientes

Las armónicas son corrientes presentes en un sistema eléctrico, con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. La norma IEEE 519-1992, relativa a "Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de

<sup>3</sup> Según la NTCSE

armónicas en sistemas eléctricos de potencia” agrupa a las fuentes emisoras de armónicas en tres categorías diferentes:

- ⌚ Dispositivos electrónicos de potencia
- ⌚ Dispositivos productores de arcos eléctricos
- ⌚ Dispositivos ferromagnéticos

### 2.5.1 Los límites recomendables

Se refieren a las condiciones más desfavorables en régimen permanente de funcionamiento; durante transitorios estos límites pueden, ser sobrepasados. El estándar define solo recomendaciones prácticas y no es una actual norma legal. En el presente estudio se ha utilizado, como referencia, el estándar internacional IEEE 519 (Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems) dado por el Grupo de Trabajo del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)\_para realizar la evaluación de las armónicas de corriente, ya que la NTCSE no contempla dicha evaluación.

Asimismo, el estándar contempla que para la evaluación de las armónicas de corriente se debe de utilizar como referencia la máxima corriente de la carga y la contribución de la corriente de corto circuito. Esta evaluación permitirá determinar las tolerancias para cada tipo de cliente.

El estándar utiliza la corriente de cortocircuito, ya que según el análisis de las armónicas, el THD de tensión es producto de la corriente armónica y la impedancia equivalente de la red analizada. Al estar relacionada la impedancia con la potencia de corto circuito, se determina que a mayor potencia de cortocircuito el THD de tensión es menor para un mismo sistema.



## 2.5.2 Límites de Armónicas de Corrientes

Los límites establecidos a los clientes individuales conectados al mismo PAC, se calculan en proporción a sus respectivas potencias instaladas. Los límites de corriente recomendados en los cuadros 2.3, deben ser interpretados como “caso más desfavorable” en condiciones normales de funcionamiento de duración superior a una hora. El tamaño del consumidor es definido por la corriente total de frecuencia fundamental en la carga ( $I_L$ ), que incluye todas las cargas.

Cuadro 2.3 Límites en Distorsión de corriente ( $I_h$ ) en % de  $I_L$ . Según estándar internacional IEEE 519<sup>4</sup>

Límites de la Corriente de Distorsión para Sistemas con Tensiones Menores a 69kV						
$I_{sc}/I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Límites de la Corriente de Distorsión para Sistemas de Distribución (120 – 69 000V)						
$I_{sc} / I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1 000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1 000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Límites Armónicas de Corriente para cargas no lineales en el PAC con otras carga (69 001V – 161 000V)						
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	1.25	0.35	6.0
100-1 000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1 000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
Límites de la Corriente de Distorsión para Sistemas de Alta Tensión (>161kV) con Generación y cogeneración Dispersas						
<50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
>50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

<sup>4</sup> Según estándar internacional IEEE 519

Donde h es el orden del armónico impar y el TDD es el factor de distorsión de demanda el cual equivale al THD de corriente determinado para la máxima demanda "IL-MAX". La fórmula del TDD es la siguiente:

$$T_{DD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2} I_h^2}}{I_{L-MAX}} * 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Para el caso de las armónicas pares, las tolerancias son 25% más que las tolerancias de las armónicas impares. Los armónicos pares se limitan al 25% del límite de los armónicos impares. Las distorsiones de corriente que resulten de una corriente directa, tales como las de los convertidores de media onda, no son permitidas.

\* Todos los equipos de generación de potencia se deben limitar a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de su  $I_{sc}/I_L$ .

Dónde:

$I_{sc}$ = Máxima corriente de cortocircuito en el PAC

$I_L$ = Máxima corriente de carga (componente fundamental) en el PAC

Generalmente cuando la carga no lineal representa menos del 20% de la carga total, la distorsión armónica en corriente estará dentro de los límites establecidos en IEEE 519, sin que exista la necesidad de efectuar algún tipo de filtrado

## 2.6 Resonancia de Condensadores de compensación del factor de potencia

Los condensadores aumentan la distorsión del sistema y producen el fenómeno de resonancia que termina por hacer colapsar condensadores o transformadores, si es que las protecciones no operan debido precisamente a la presencia de armónicas en el sistema.

## 2.7 Eliminación de Riesgos de Resonancia

Consiste en agregar una inductancia en serie con el condensador de compensación reactiva como se muestra en la figura 2.3. Los condensadores antiresonantes tienen precios superiores.

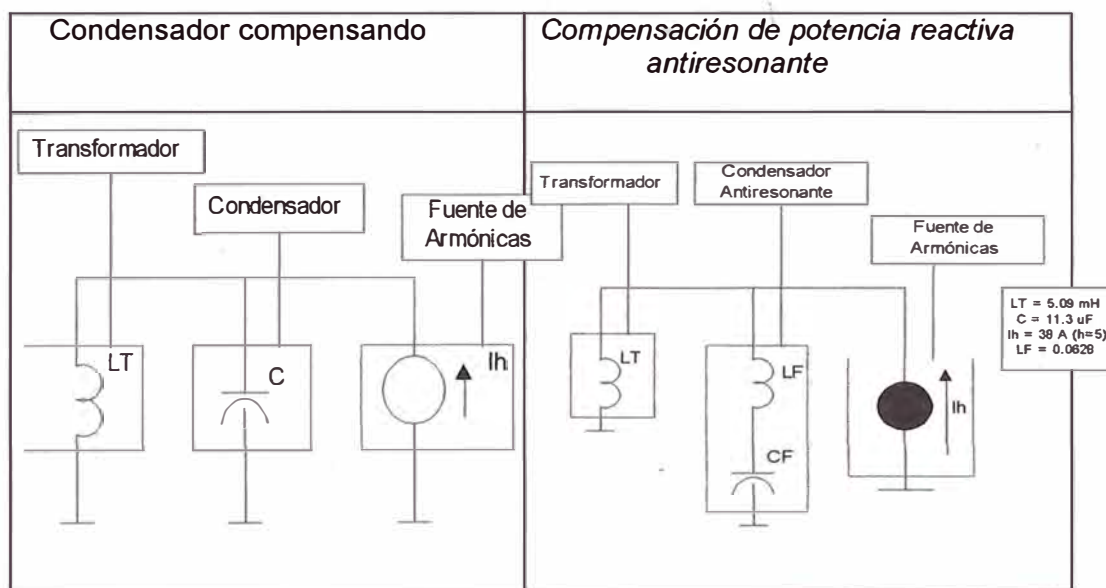


Figura 2.3: Compensación simple y antiresonante<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Fuente Propia

## CAPÍTULO 3

### CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

#### 3.1 Información Base

Para la realización del presente el estudio se utilizó la siguiente información:

- 3.1.1 Base de Datos del Sistema Interconectado Nacional al año 2011 y 2015 el cual fue obtenido del Informe de Diagnóstico de las Condiciones Operativas del SEIN del período 2011 - 2020 (Informe DP-01-2009).
- 3.1.2 Información propia de los reportes del Sistema Scada.
- 3.1.3 Diagramas unifilares del Sistema Eléctrico en 50kV, de los circuitos operativos en 22.9 KV correspondientes a la Planta Concentradora, Minas Esperanza y Montenegro.
- 3.1.4 Información del control de temperatura en los dos (02) transformadores de 6MVA de la Subestación Principal de la mina.
- 3.1.5 Información del Despacho de Carga, Operación de las mini centrales hidroeléctricas al año 2010.
- 3.1.6 Información de las tensiones en bornes de las mini centrales.
- 3.1.7 Perfil de carga del medidor en 50kV de la barra Shelby.

#### 3.2 Nuevos Proyectos 2010-2013

Dado que el incremento de producción significaba en incremento de la demanda; la Alta Dirección apoyo en la implementación de nuevos proyectos en la SE Principal y en la cuenca del Rio Chancay con la finalidad de mejorar la oferta y la confiabilidad del sistema eléctrico asimismo nos permitió aliviar la carga de la línea Shelby-Animón en 50kV la cual tiene una capacidad nominal de 5MW, estos son:

### 3.2.1 Construcción de la nueva Central Hidroeléctrica (CH) Baños V de 12MVA

La cual se conectó a través de la línea de transmisión Baños V a Baños IV de 50 kV, entro en servicio el 31/07/2012 con 02 grupos de 08 MVA.

### 3.2.2 Ampliación de la Subestación Eléctrica (SE) principal de Animón de 50/22.9 KV

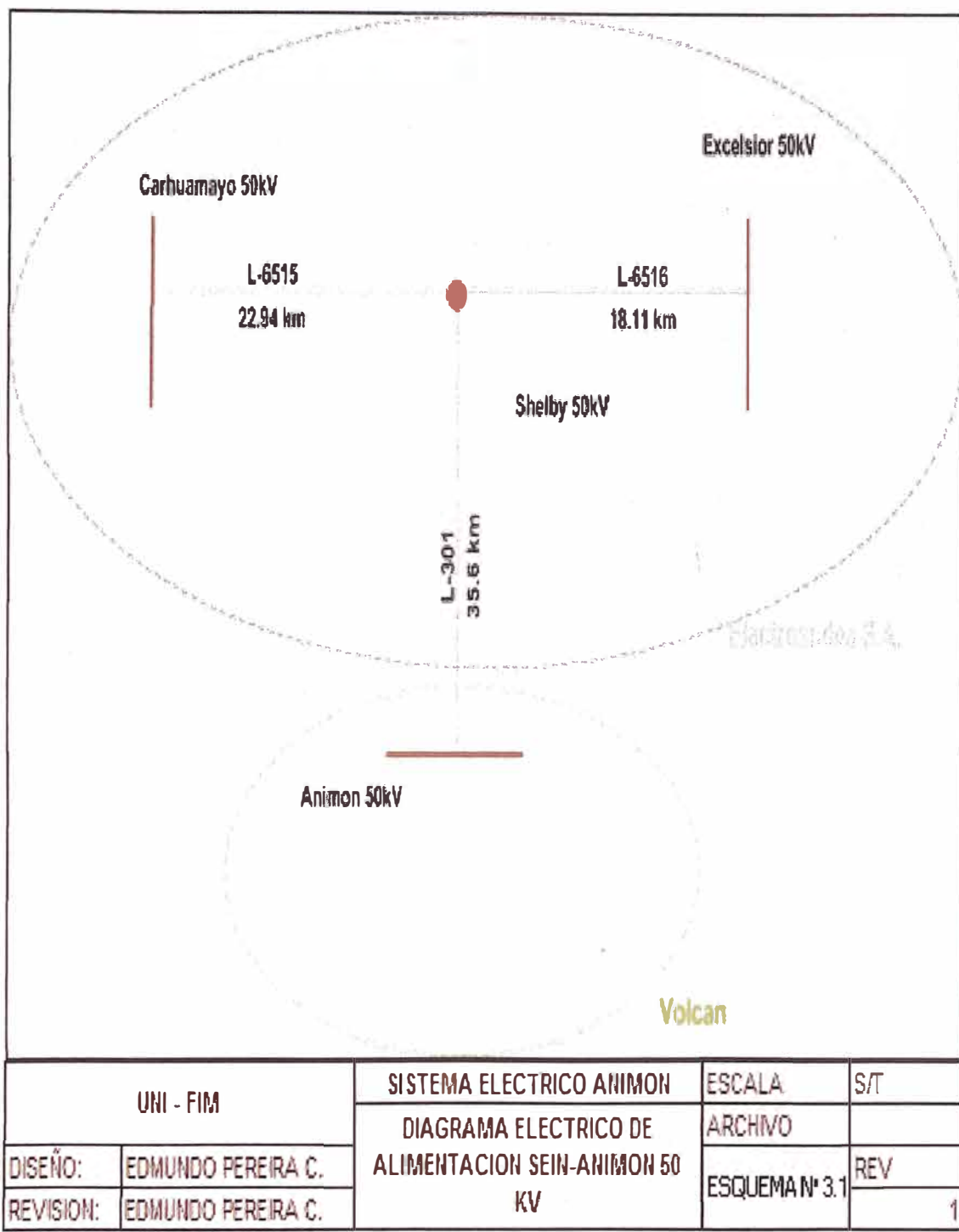
De 12MVA a 36MVA. Se puso en servicio dos transformadores de 15/18 MVA en las fechas 01/06/2012 y 28/02/2013 en reemplazo de los 02 transformadores de 06 MVA.

### 3.3 Sistema eléctrico en el 2010

Tiene a la Subestación Principal Animón que es el centro de llegada para sus operaciones, la cual se provee de energía eléctrica:

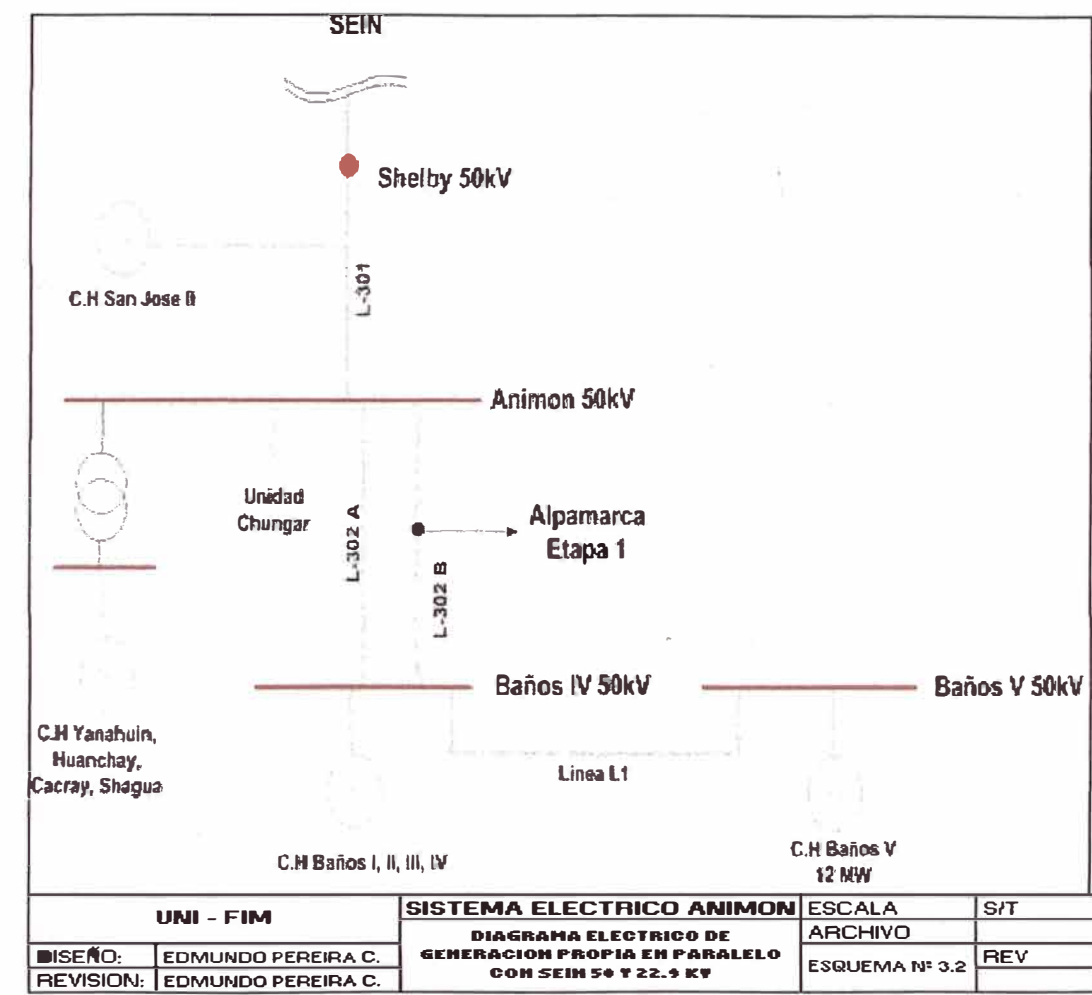
#### 3.3.1 Desde el SEIN

Mediante la Línea de Transmisión Shelby - San José - Animón en 50kV de 35.6 Km (N°301), desde la subestación ubicada en la Localidad de Shelby, la cual pertenece al sistema de sub transmisión en 50 kV comprendido entre las subestaciones de Carhuamayo y Excélsior perteneciente a la Empresa Electroandes. (Esquema 3.1).

Esquema 3.1: Alimentación desde el SEIN a Animón-Volcan en 50 KV<sup>1</sup><sup>1</sup> Fuente Propia

### 3.3.2 Generación Propia

La compañía minera a la fecha ha construido 10 Centrales Hidroeléctricas clasificadas según el cuadro N°3.1, que se encuentran localizadas en los ríos afluentes Baños (5 centrales), Chicrin (4 centrales) y San José en la Localidad de Huallay (01), desde allí mediante las LT (N°s 302 A y B) en 50 KV desde la cuenca de Baños y en 22.9 KV desde la cuenca de Chicrin, llegan a la SE Animón. Se muestran en el Esquema 3.2.



Esquema 3.2: Generación Propia en Paralelo con el SEIN.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Fuente Propia

Se indican valores de Tensión y Potencia en el cuadro Nº 3.1:

Cuadro 3.1: Unidades de Generación Propia<sup>3</sup>

Ítem	Unidad de Generación	Tensión Nominal (V)	Pot Nominal (KVA)	Central Generación	Clasificación Central Hidroeléctrica
1	Cacray	480	280	1	Micro
2	Yanahuin	2.400	620	2	Micro
3	Huanchay I	2.300	1.060	3	Mini
4	Huanchay II	2.300	1.380		
5	Shagua	2.300	1.375	4	Mini
6	Baños I G1	460	500	5	Mini
7	Baños I G2	460	500		
8	Baños I G3	460	500		
9	Baños II G1	460	675	6	Mini
10	Baños II G2	460	1.250		
11	Baños III	2.300	1.220	7	Mini
12	Baños IV G1	480	1.500	8	Mini
13	Baños IV G2	480	500		
14	Baños IV G3	480	500		
15	Baños IV G4	4.160	4.125		
16	Baños V G1	4.160	8.000	9	Gran Potencia
17	Baños V G2	4.160	8.000		
18	San José	5.500	2.800	10	Mini
Total	Potencia Total Instalada (kVA)		34.785	10	

#### 3.4 Consumo de energía desde el SEIN, barra de Shelby en 50 KV

El cuadro 3.2, muestra las características del diagrama de carga y la energía tomada desde la barra de Shelby en 50kV, en un día típico en Horas Punta (HP) y Horas Fuera de Punta (HFP):

<sup>3</sup> Fuente Propia



Cuadro 3.2: Barras de Shelby en 50KV, día típico Energía HP/HFP<sup>4</sup>

Ítem	Hora	Energía			
		Activa (kW.h)	Reactiva (kVAR.h)	Activa (%)	Reactiva (%)
1	Hora Punta	17 119	21 998	20%	26%
2	Hora Fuera de Punta	68 381	91 504	80%	107%
3	<b>Total</b>	<b>85 500</b>	<b>113 501</b>	100%	133%

Cuadro 3.3: Datos de un día típico: Potencias Max/Min<sup>5</sup>

Ítem	Valor	Potencia		Cosφ
		Activa (kW)	Reactiva (kVAR)	
1	Máximo	4 290	1 740	0.93
2	Promedio	3 563	4 729	0.59
3	Mínimo	1 455	4 770	0.29

Cuadro 3.4 Datos de un día típico: Potencias HP/HFP<sup>6</sup>

Ítem	Hora	Potencia Máxima	
		Activa (kW)	Reactiva (kVAR)
1	Hora Punta	4 560	5 040
2	Hora Fuera de Punta	8 970	5 670

El cuadro 3.5, muestra la energía consumida en Shelby, del mes de febrero de 2011. Se verificó que el porcentaje del consumo de energía reactiva, respecto a la energía activa, es de 142%.

Cuadro 3.5: Energía Feb.2011<sup>7</sup>

	Energía		
	MW.h-mes	MVAR.h-mes	(%)
Shelby	2 254	3 212	142%

En el gráfico 3.1, se muestra el diagrama de carga para el día de máxima demanda:

---

<sup>4</sup> Fuente Propia

<sup>5</sup> Fuente Propia

<sup>6</sup> Fuente Propia

<sup>7</sup> Fuente Propia

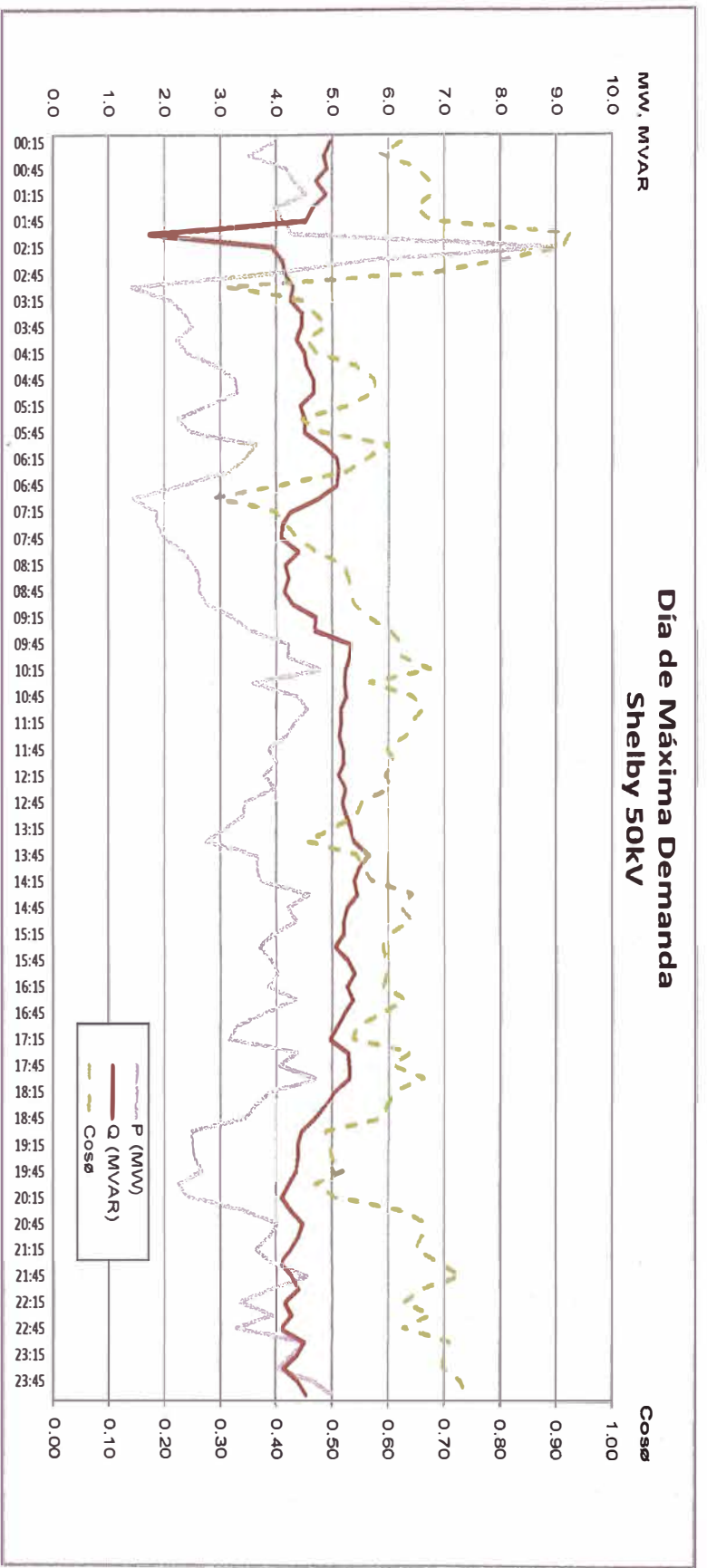


Gráfico 3. 1 Máxima Demanda Shelby (25/02/2011)<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Fuente Propia

Se encontraba alrededor de los 16MW según el gráfico N°3.2 (Feb'07-Feb '11), de demandas históricas.

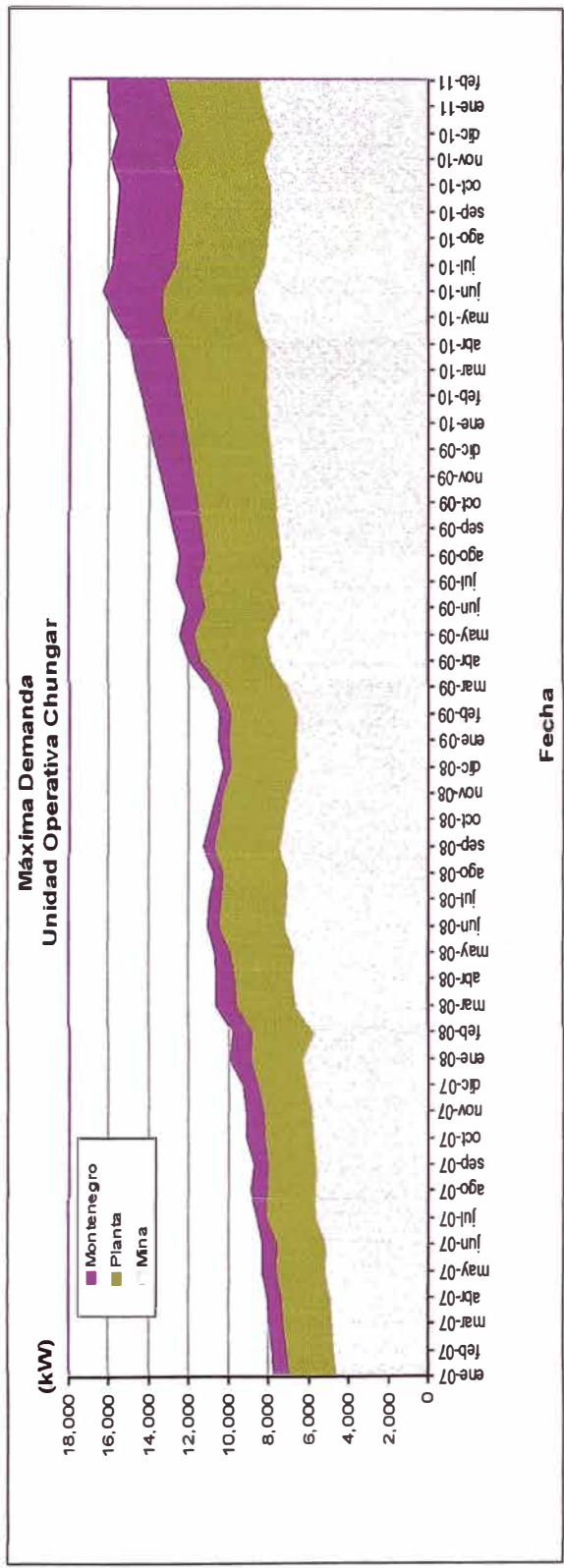


Gráfico N° 3.2: Máxima Demanda Histórica U.O. Anímon Ene '07 a Feb '11- 22.9 KV<sup>15</sup>

Se observa un crecimiento ascendente el cual está en relación directa con su producción (4,200 tn-día).

También se observa que, la operación de la “mina” (en el tiempo) siempre ha requerido mayor demanda.

### 3.5 Análisis de la Producción de Energía

Del total de energía producida por las mini centrales (64.84 GW.h-año), la central hidroeléctrica de Baños IV aporta con un 30% de la producción anual siendo ésta la central de mayor producción.

En los gráficos 3.3 y 3.4, se muestra la producción de energía mensual y anual del año 2010.

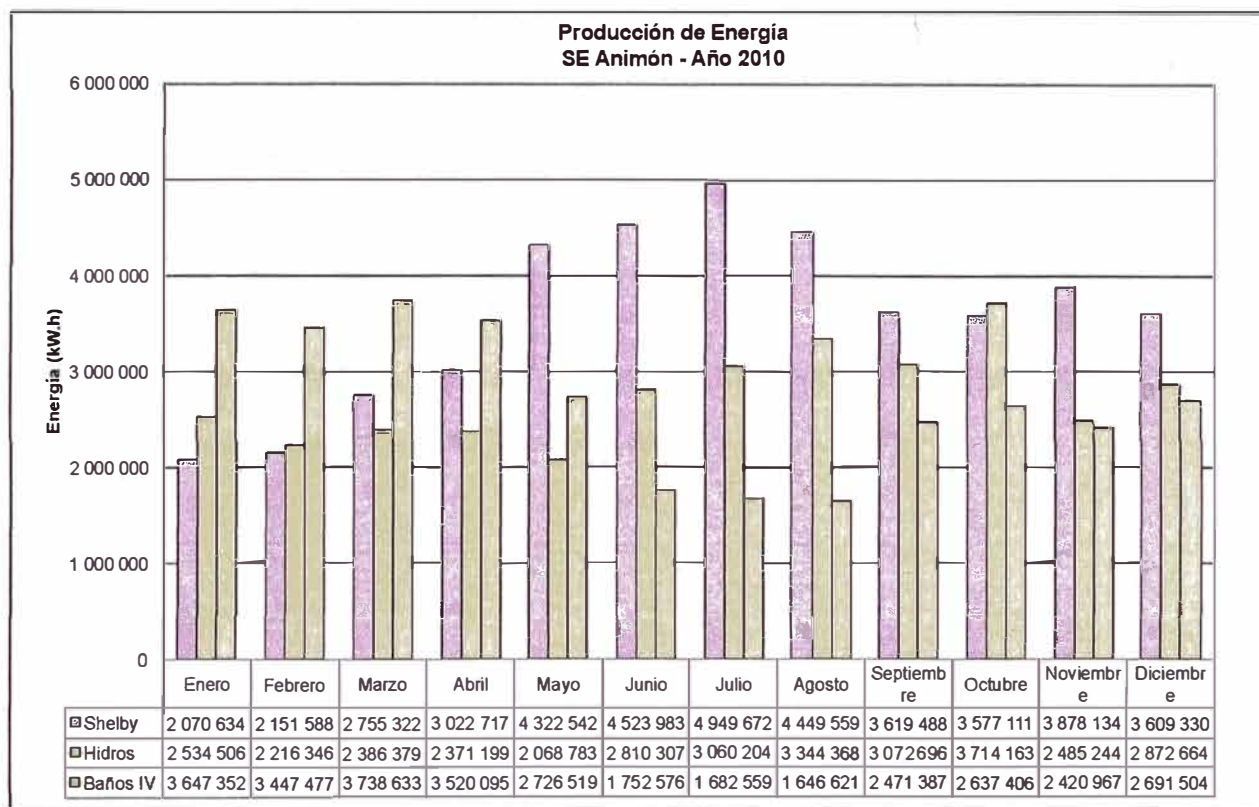


Gráfico 3.3: Producción de Energía Mensual-Año 2010<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Fuente Propia

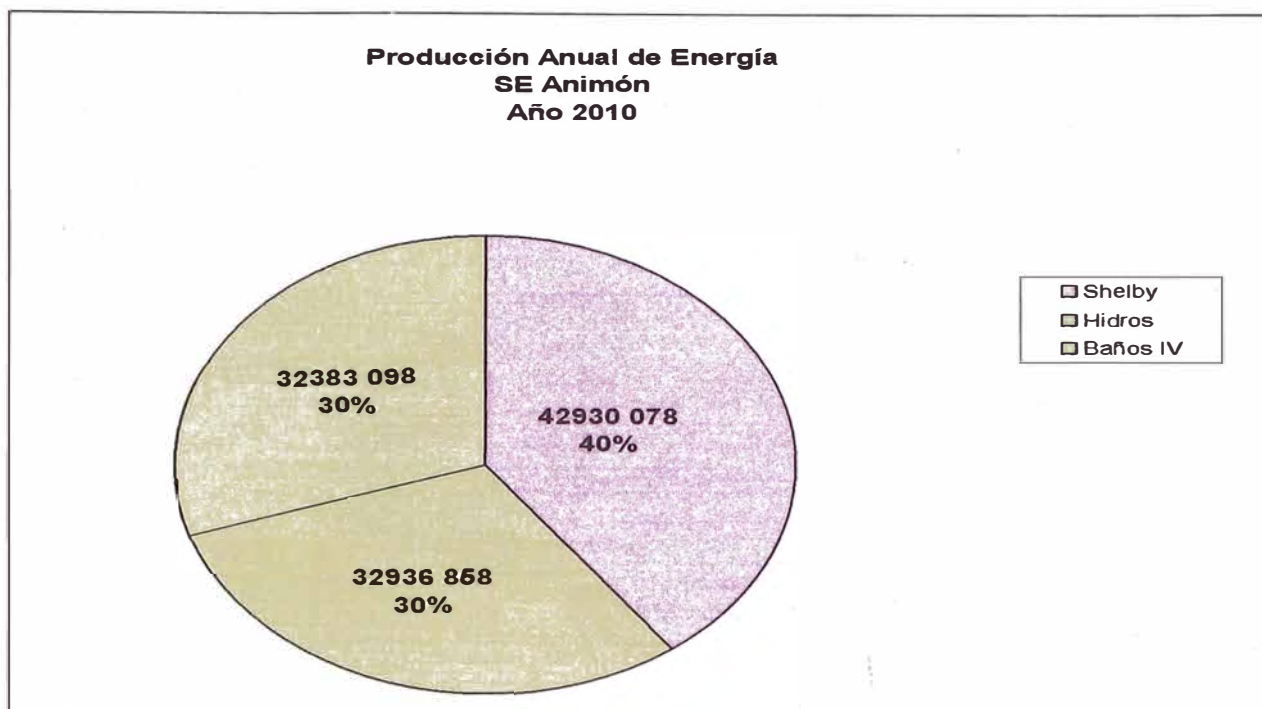


Grafico3.4: Producción Anual de las Mini CH, año 2010. <sup>17</sup>

### 3.6 Despacho de energía

En el 2010, la demanda total en Animón fue de 108.06 GW.h-año, del total de la oferta el SEIN aportó el 40% y el resto (60%) fue producido por las centrales hidroeléctricas, se puede observar en los Gráficos 3.5 y 3.6.

---

<sup>17</sup> Fuente Propia

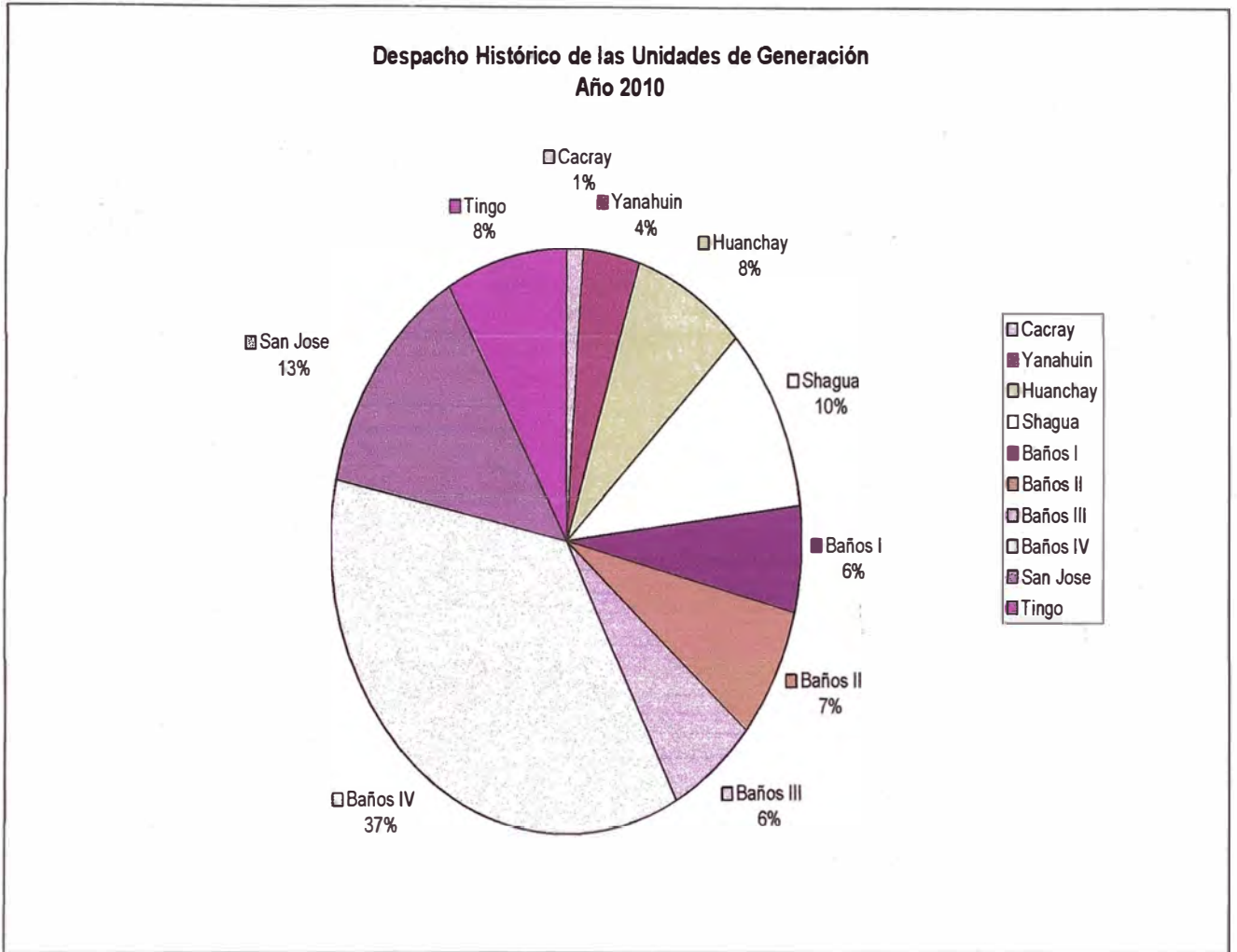


Gráfico 3.5: Despacho Histórico Año 2010, Mini Central Hidroeléctricas<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Fuente Propia

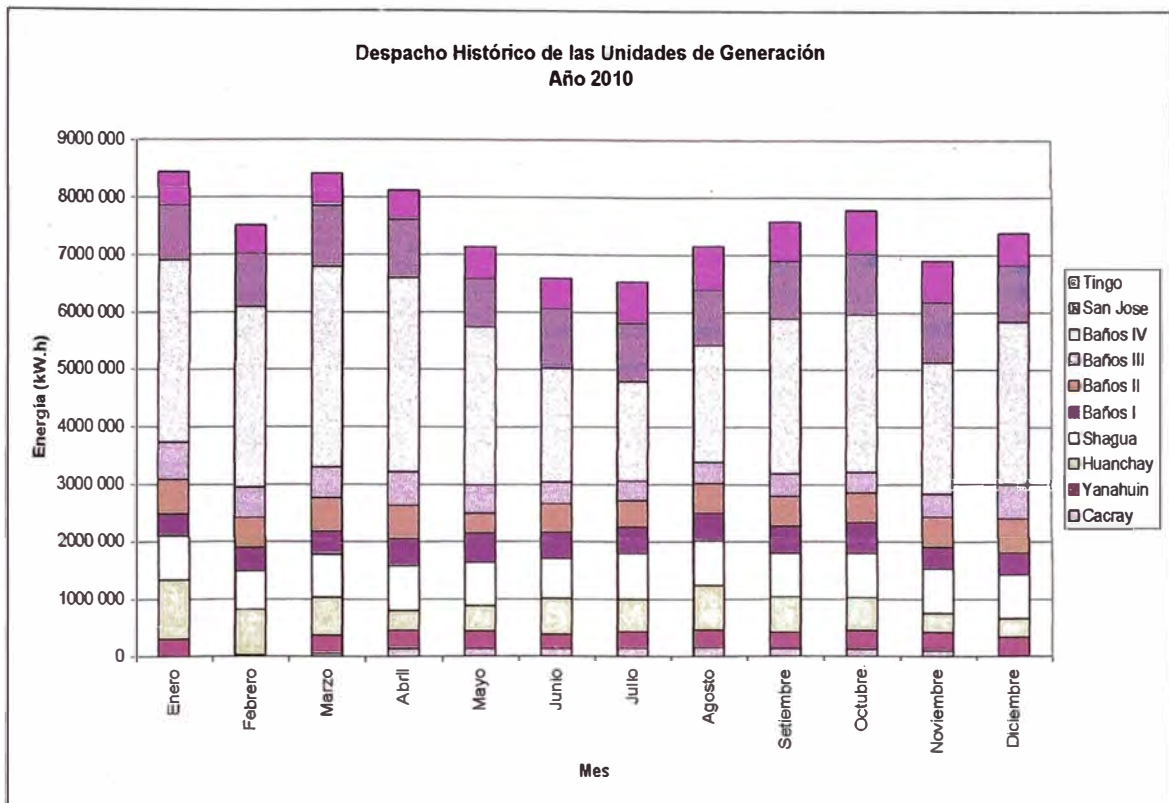


Gráfico 3.6: Despacho Histórico 2010. Centrales Hidroeléctricas<sup>19</sup>

En el gráfico 3.6, se muestra la producción mensual de todas las centrales de generación, las variaciones se deben a las estaciones entre avenida y estiaje.

### 3.7 Análisis de Consumos de Energía y Potencia en el 2010

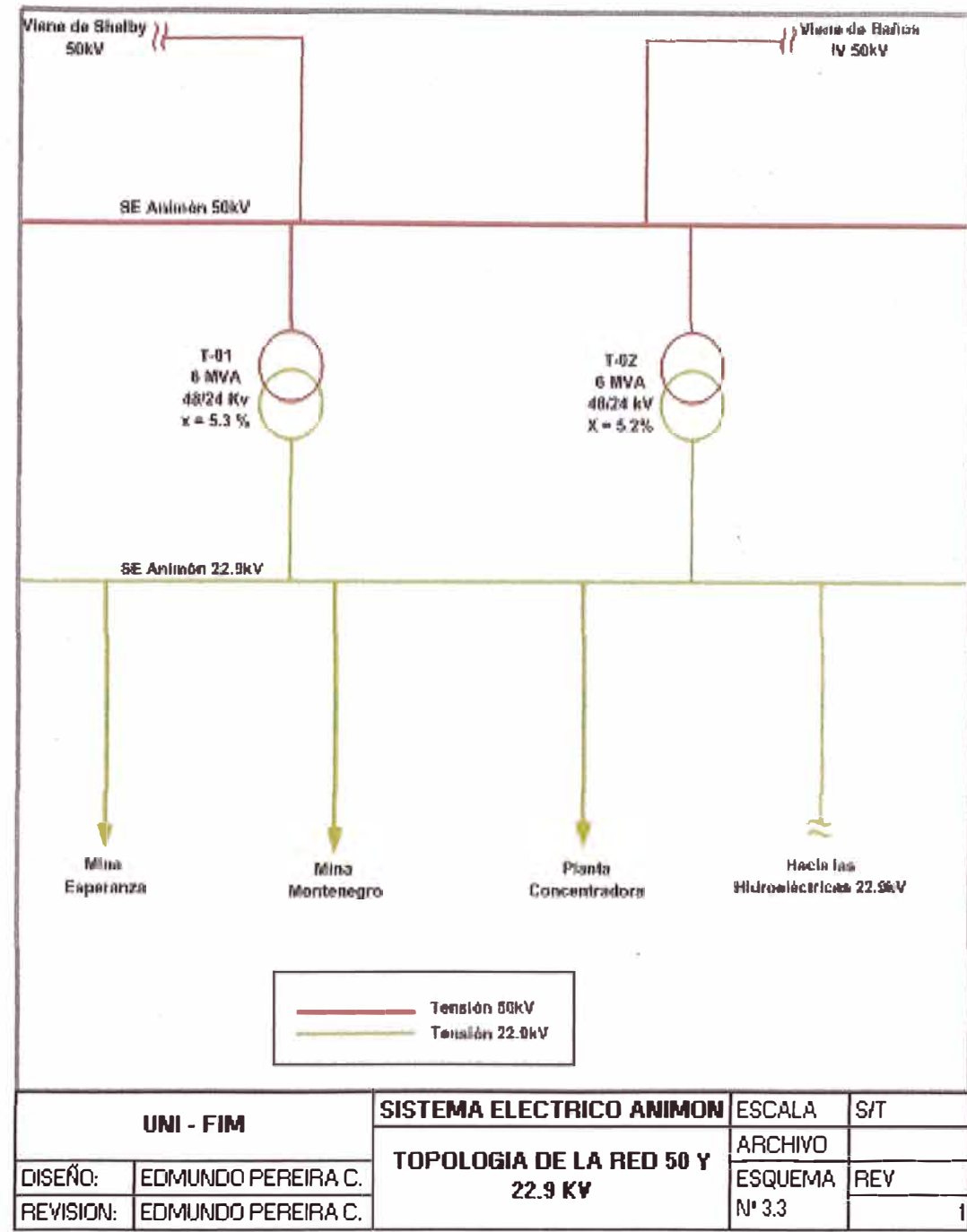
Animón presentaba tres centros de consumo de energía en 22.9 KV :

- Mina Montenegro.
- Mina Esperanza.
- Planta Concentradora.

Se muestra el Diagrama esquemático N° 3.3:

---

<sup>19</sup> Fuente Propia



Esquema 3.3: Topología de la red<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Fuente Propia



### 3.8 Consumo de Energía

En los gráfico 3.7 y 3.8, el consumo de energía mensual y anual del año 2010.

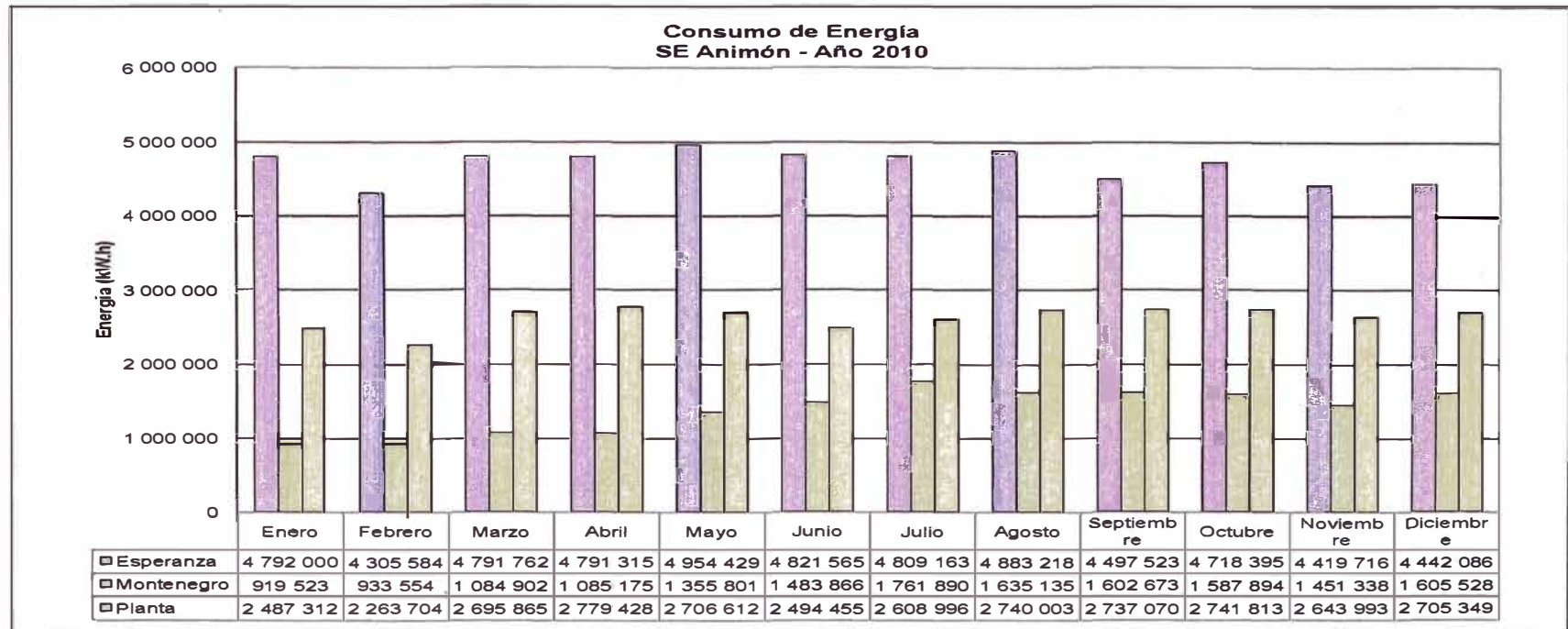


Gráfico 3.7: Consumo de Energía Mensual 2010<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Fuente Propia

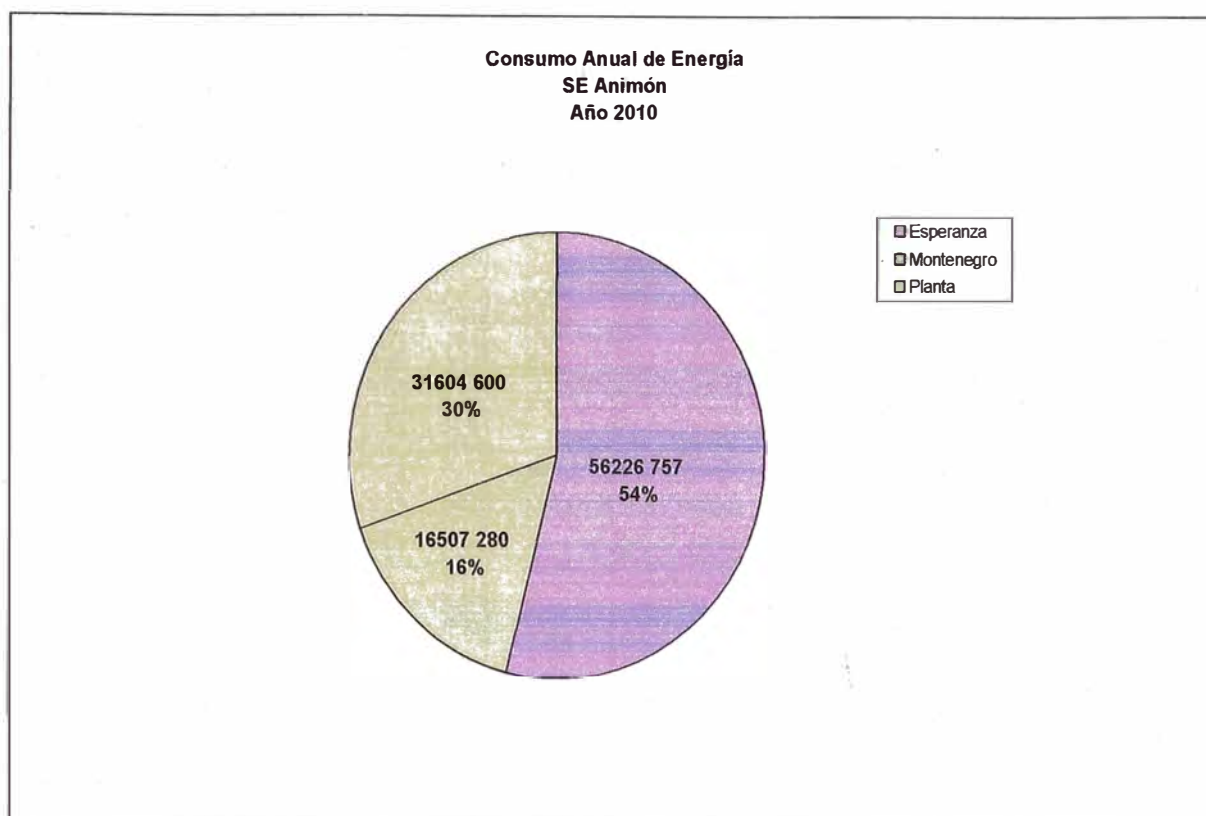


Gráfico 3.8: Consumo de Energía Anual 2010<sup>22</sup>

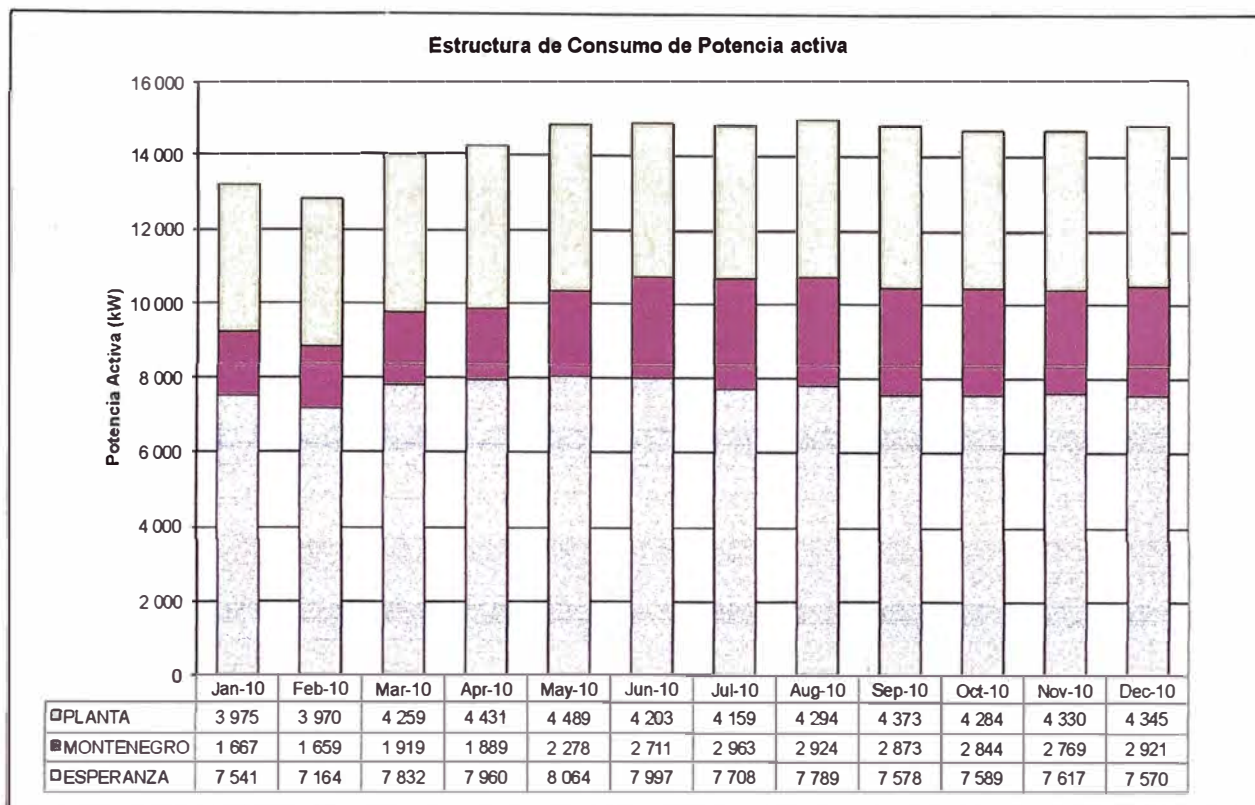
La energía total al año 2010 fue de 108.06 GW.h-año de los cuales el 54% se registra en la Mina Esperanza, seguida por un 30% de Planta Concentradora y un 16% de la Mina Montenegro.

### 3.9 Consumo de Potencia

En el gráfico 3.9, se observan las estructuras de consumo histórico de potencia activa y reactiva del año 2010 de las tres cargas principales.

---

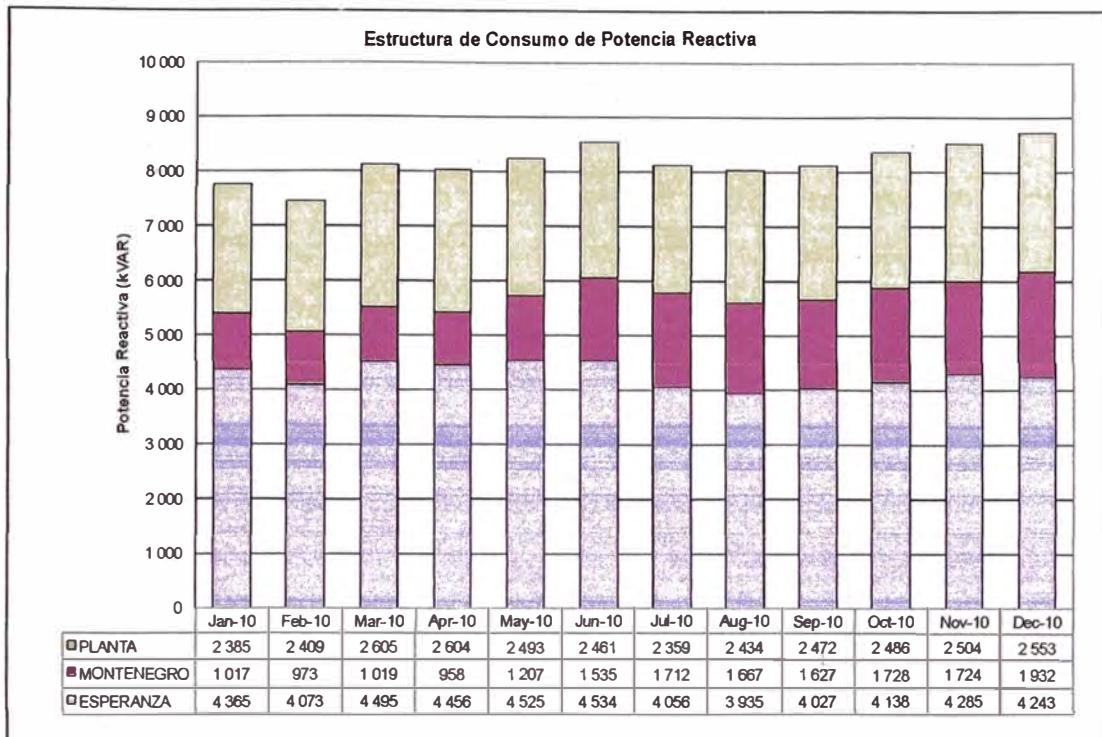
<sup>22</sup> Fuente Propia

Gráfico 3.9: Estructura de Consumo de Potencia Activa por circuitos operativos<sup>23</sup>Cuadro 3.6 Cuadro de Potencia Activa por mes-2010<sup>24</sup>

ÍTEM	FECHA	POTENCIA ACTIVA (KW)		
		ESPERANZA	MONTENEGRO	PLANTA
1	Ene-10	7 541	1 667	3 975
2	Feb-10	7 164	1 659	3 970
3	Mar-10	7 832	1 919	4 259
4	Abr-10	7 960	1 889	4 431
5	May-10	8 064	2 278	4 489
6	Jun-10	7 997	2 711	4 203
7	Jul-10	7 708	2 963	4 159
8	Ago-10	7 789	2 924	4 294
9	Sep-10	7 578	2 873	4 373
10	Oct-10	7 589	2 844	4 284
11	Nov-10	7 617	2 769	4 330
12	Dic-10	7 570	2 921	4 345
13	Máximo	8 064	2 963	4 489
14	Promedio	7 701	2 451	4 259
15	Mínimo	7 164	1 659	3 970

Del Cuadro 3.6, mina Esperanza presenta la mayor demanda promedio de 7.7 MW

<sup>23</sup> Fuente Propia<sup>24</sup> Fuente Propia

Gráfico 3.10 Estructura de Consumo de Potencia Reactiva<sup>25</sup>Cuadro 3.7: Cuadro de Potencia Reactiva Promedio 2010<sup>26</sup>

ÍTEM	FECHA	POTENCIA REACTIVA (KVAR)		
		ESPERANZA	MONTENEGRO	PLANTA
1	Ene-10	4 365	1 017	2 385
2	Feb-10	4 073	973	2 409
3	Mar-10	4 495	1 019	2 605
4	Abr-10	4 456	958	2 604
5	May-10	4 525	1 207	2 493
6	Jun-10	4 534	1 535	2 461
7	Jul-10	4 056	1 712	2 359
8	Ago-10	3 935	1 667	2 434
9	Sep-10	4 027	1 627	2 472
10	Oct-10	4 138	1 728	2 486
11	Nov-10	4 285	1 724	2 504
12	Dic-10	4 243	1 932	2 553
13	Máximo	4 534	1 932	2 605
14	Promedio	4 261	1 425	2 481
15	Mínimo	3 935	958	2 359

Del cuadro 3.7, se observa que la mina Esperanza presenta una demanda promedio de potencia reactiva de 4.261 MVAR (aproximadamente), siendo

<sup>25</sup> Fuente Propia

<sup>26</sup> Fuente Propia

centro de mayor consumo. A continuación se muestran los niveles de consumo histórico de la demanda total de Animón.

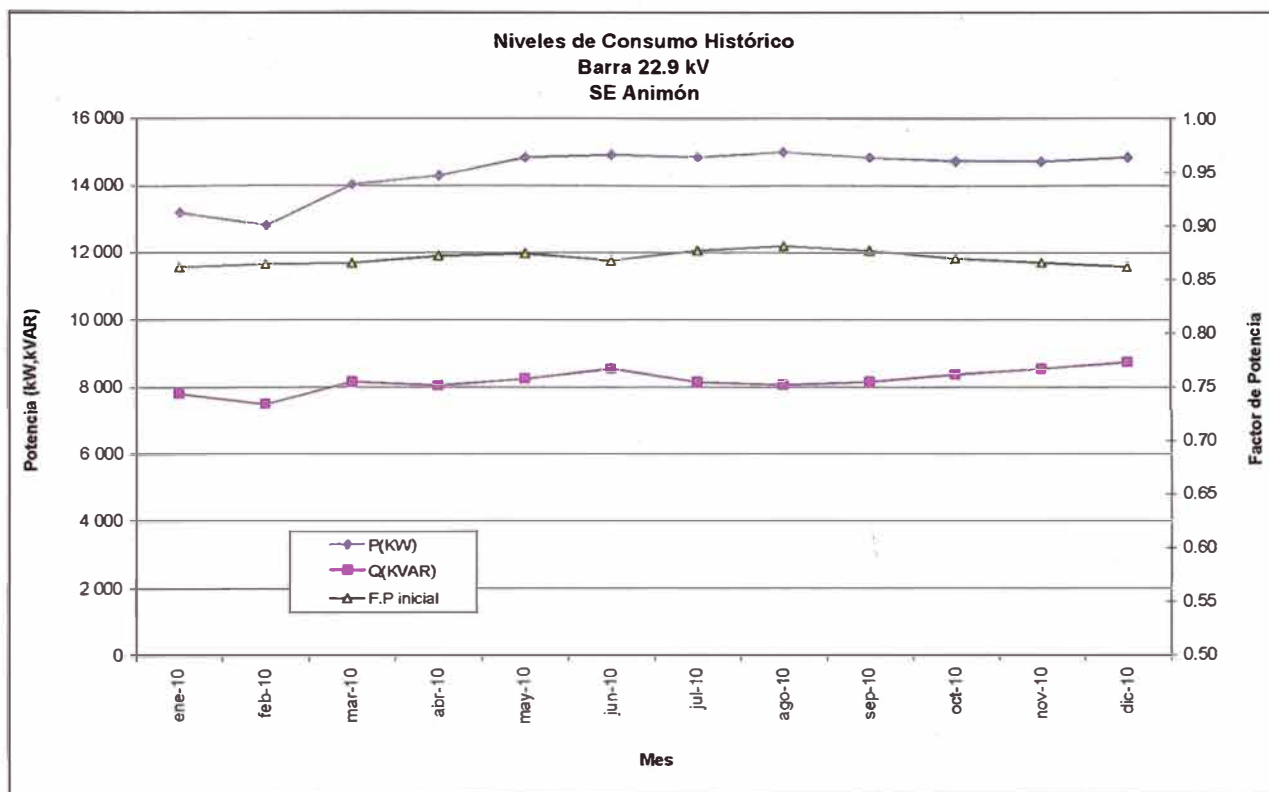


Gráfico3.11: Consumo Histórico Animon\_22.9KV\_En-Dic2010<sup>27</sup>

Del gráfico 3.11, se observa que la demanda de reactivos siempre es mayor a 7 MVAR lo cual implica tener un factor de potencia menor a 0.95 (valor óptimo según la regulación vigente).

### 3.10 Tensión en Bornes de Generación

En el cuadro 3.8, se muestra el registro de las tensiones en bornes de las unidades de generación del día 07/04/2011, se observa que existían grupos que se encuentran con tensiones altas o sobre tensionadas.

<sup>27</sup> Fuente Propia

Cuadro 3.8 Tensión en bornes. Se midió el día 07/04/11<sup>28</sup>

Ítem	Unidad de Generación	Tensión Nominal (V)	Tensión en Bornes (V)			Tensión en Bornes (p.u)		
			Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
1	Cacray	480						
2	Yanahuin	2 400						
3	Huanchay I	2 300	2 280	2 256	2 230	0.99	0.98	0.97
4	Huanchay II	2 300	2 280	2 260	2 240	0.99	0.98	0.97
5	Shagua	2 300	2 370	2 357	2 340	1.03	1.02	1.02
6	Baños I G1	460						
7	Baños I G2	460	433	433	433	0.94	0.94	0.94
8	Baños I G3	460	438	435	430	0.95	0.95	0.93
9	Baños II G1	460	490	485	480	1.07	1.05	1.04
10	Baños II G2	460	495	489	484	1.08	1.06	1.05
11	Baños III	2 300	2 455	2 437	2 407	1.07	1.06	1.05
12	Baños IV G1	480	495	486	476	1.03	1.01	0.99
13	Baños IV G2	480						
14	Baños IV G3	480	495	490	483	1.03	1.02	1.01
15	Baños IV G4	4 160	4 040	4 006	3 950	0.97	0.96	0.95
16	San Jose	5 500	5 512	5 477	5 433	1.00	1.00	0.99
17	Tingo G1	2 300						
18	Tingo G3	2 300						
19	Tingo G4	2 300						

### 3.11 Metodología de medición y equipo utilizado

La cantidad de días medidos por punto eléctrico es el que se muestra en el cuadro 3.9:

- A. La toma de los parámetros eléctricos fue registrada de la siguiente manera:
- B. Para la tensión a intervalos de 15 minutos
- C. Para las perturbaciones (armónicas y Flicker): 10 minutos.
- D. Para la potencia activa y reactiva: 5 minutos.
- E. Se midió armónicas de corriente individuales por fase desde el orden 2 al 40.

<sup>28</sup> Fuente Propia

Cuadro 3.9: Período de medición<sup>29</sup>

Ítem	Subestación	Punto Eléctrico	Nivel de Tensión (kV)	Período (días)
1	Animón	Esperanza	22.9	8
		Montenegro	22.9	8
		Planta	22.9	8
		Hidros	22.9	8
		Baños IV	50	8
		Shelby	50	8
2	Esperanza	Compresora N° 8	2.3	1
		Compresora N° 13	2.3	1
		NV 465-310	4.16	1
		SE 15	4.16	1
		SE 16	4.16	1
		SE 18	4.16	1
3	Montenegro	Winche	2.4	1
		SE 15-20	4.16	1
		SE 17	4.16	1
		Winche Jacob 500HP	0.48	*
4	Planta	T-055 (SE Cono Profundo)	0.46	**
		T-056 (SE Tanque A)	0.46	**
		T-059 (SE N1-P Chancado)	4.16	1
		T-060 (SE N1-P Chancado)	0.46	1
		T-061 (SE N2-P Flotación)	0.46	1
		T-062 (SE N2-P Flotación)	0.46	1
		T-063 (SEN2-P Flotación)	0.48	1

\* : 30 minutos de medición

\*\* : 1 hora de medición

Los equipos utilizados fueron:



Foto 3.1 Analizador POWER RECORDER



Foto 3.2 (RELIABLE POWER METERS) Modelo 1650



FOTO 3.2: ANALIZ DRANETZ MODELO 4400.

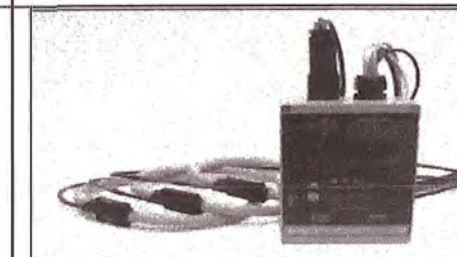


FOTO 3.3: ANALIZADOR MEMOBOX 300 MODELO SMART

<sup>29</sup> Fuente Propia

El tipo de conexión que se realizó para estas instalaciones fue de tipo Delta.

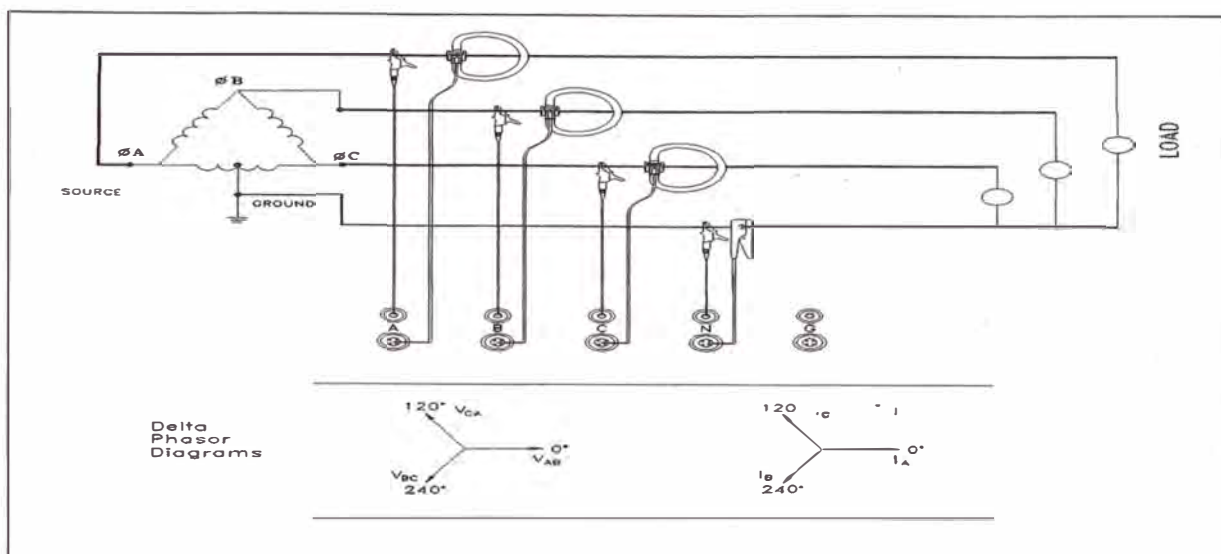


Gráfico: 3.12 Conexión tipo Delta<sup>30</sup>

### 3.12 Resultados de los análisis niveles de tensión

Cuadro 3.10, Niveles de Tensión en 22.9kV y 50kV<sup>31</sup>

Ítem	Subestación	Alimentador	Tensión Nominal (kV)	Tensión RMS (kV)		
				Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
1	Animón	Shelby	50	46.88	45.68	44.80
		Baños IV	50	46.53	45.38	44.53
		Esperanza	22.9	22.34	21.62	21.11
		Montenegro	22.9	22.25	21.50	20.99
		Planta	22.9	22.28	21.55	21.05
		Hidroeléctricas	22.9	22.25	21.52	20.99
2	Esperanza	NV 465-310	4.16	4.38	4.16	4.05
		SE N° 15	4.16	4.36	4.18	4.04
		SE N° 16	4.16	4.35	4.17	4.01
		SE N° 18	4.16	4.34	4.17	4.06
		Winche	2.4	2.89	2.44	2.28
		Compresora N° 8	2.3	2.33	2.26	2.17
		Compresora N° 13	2.3	2.25	2.18	2.09
3	Montenegro	SE N° 15-20	4.16	4.25	4.11	3.95
		SE N° 17	4.16	4.23	4.09	3.92
		Winche Jacob 500HP	0.48	0.50	0.49	0.47
4	Planta	T-055 (SE Cono Profundo)	0.46	0.45	0.44	0.44
		T-056 (SE Tanque A)	0.46	0.46	0.46	0.45
		T-059 (SE N1-P Chancado)	4.16	4.38	4.18	4.05
		T-060 (SE N1-P Chancado)	0.46	0.46	0.44	0.42
		T-061 (SE N2-P Flotación)	0.46	0.47	0.45	0.44
		T-062 (SE N2-P Flotación)	0.46	0.47	0.45	0.43
		T-063 (SEN2-P Flotación)	0.48	0.47	0.45	0.44

<sup>30</sup> Dada por el fabricante

<sup>31</sup> Fuente Propia



Si bien es cierto, la tensión nominal en la barra es 50kV sin embargo la tensión de operación es 45kV esto debido a la propia operación del SEIN, la cual se encuentra por debajo del 5% de su valor nominal.

Los perfiles de tensión de la barra 50kV y 22.9kV se muestran en los siguientes gráficos 3.13 y 3.14:

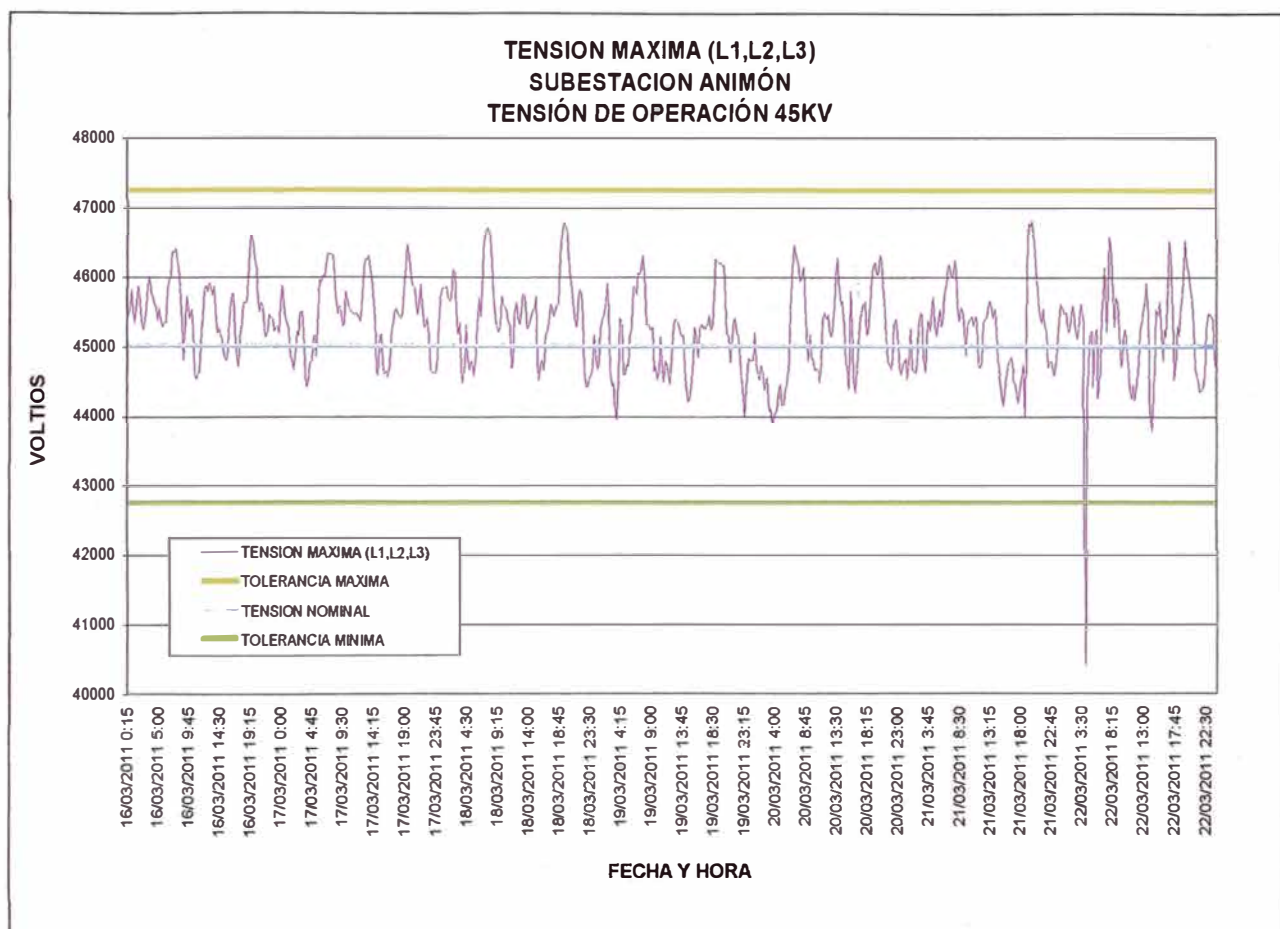


Gráfico 3.13: Perfiles de tensión 50kV<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Fuente Propia

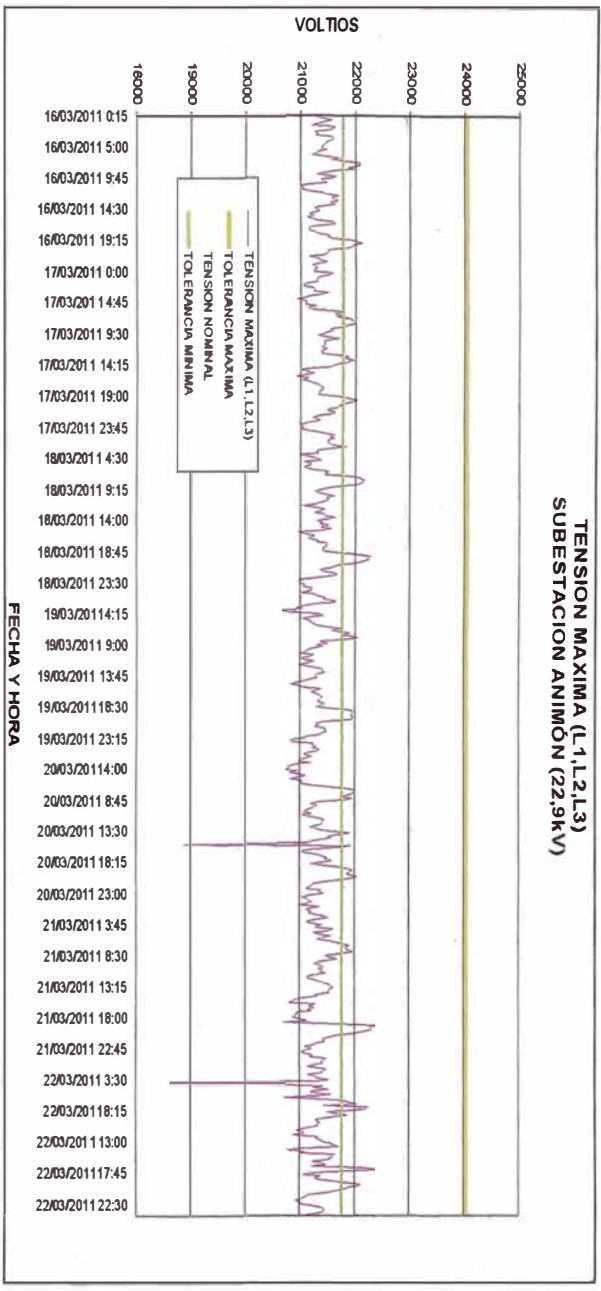


Gráfico 3.14: Perfiles de tensión 22.9kV<sup>33</sup>

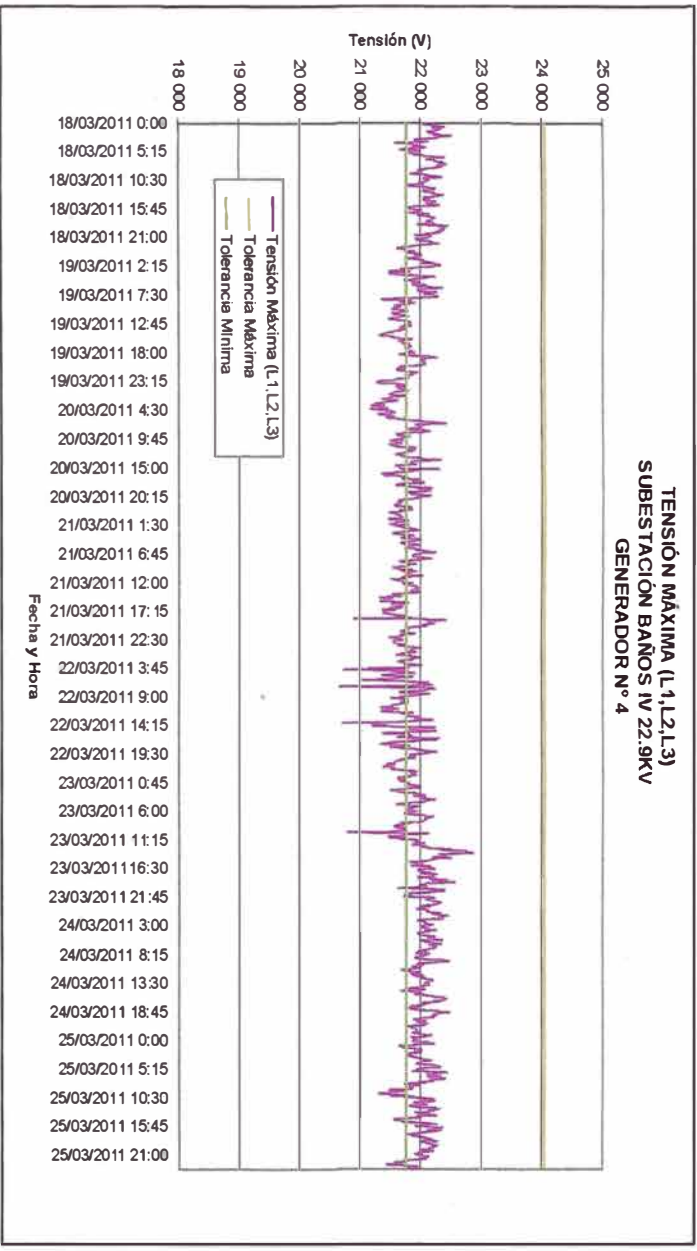


Gráfico 3.16: Baños IV-Generador N° 4 <sup>34</sup>

<sup>33</sup> Fuente Propia  
<sup>34</sup> Fuente Propia

### 3.13 Resultados de los Niveles de Corriente medidos en campo

Cuadro 3.11: Valores RMS para la corriente<sup>35</sup>

Ítem	Subestación	Alimentador	Tensión Nominal (KV)	Corriente RMS (A)		
				Valor Máximo	Valor Promedio	Valor Mínimo
1	Animón	Shelby	50	116	98	76
		Baños IV	50	62	60	53
		Esperanza	22.9	241	205	159
		Montenegro	22.9	95	70	39
		Planta Concentradora	22.9	140	127	106
		Hidroeléctricos	22.9	122	116	103
2	Esperanza	Nv 465-310	4.16	223	179	55
		SE N° 15	4.16	158	108	65
		SE N° 16	4.16	248	188	61
		SE N° 18	4.16	238	200	157
		Winche	2.4	137	78	2
		Compresora N°08	2.3	86	83	78
		Compresora N°13	2.3	84	80	76
3	Montenegro	SE N° 20	4.16	201	128	76
		SE N° 17	4.16	147	118	83
		Winche Jacob Timmers 500 HP	0.46	464	221	47
4	Planta	T - 055 (SE Cono Profundo)	0.46	439	422	407
		T - 056 (SE Tanque A)	0.46	423	396	371
		T - 059 (SE N°1 Chancado)	4.16	31	14	13
		T - 060 (SE N°1 Chancado)	0.46	743	507	153
		T - 061 (SE N°2 Flotación)	0.46	1580	1365	407
		T - 062 (SE N°2 Flotación)	0.46	1673	1608	1424
		T - 063 (SE N°2 Flotación)	0.46	1732	1673	1617

<sup>35</sup> Fuente Propia

### 3.14 Niveles de Potencia

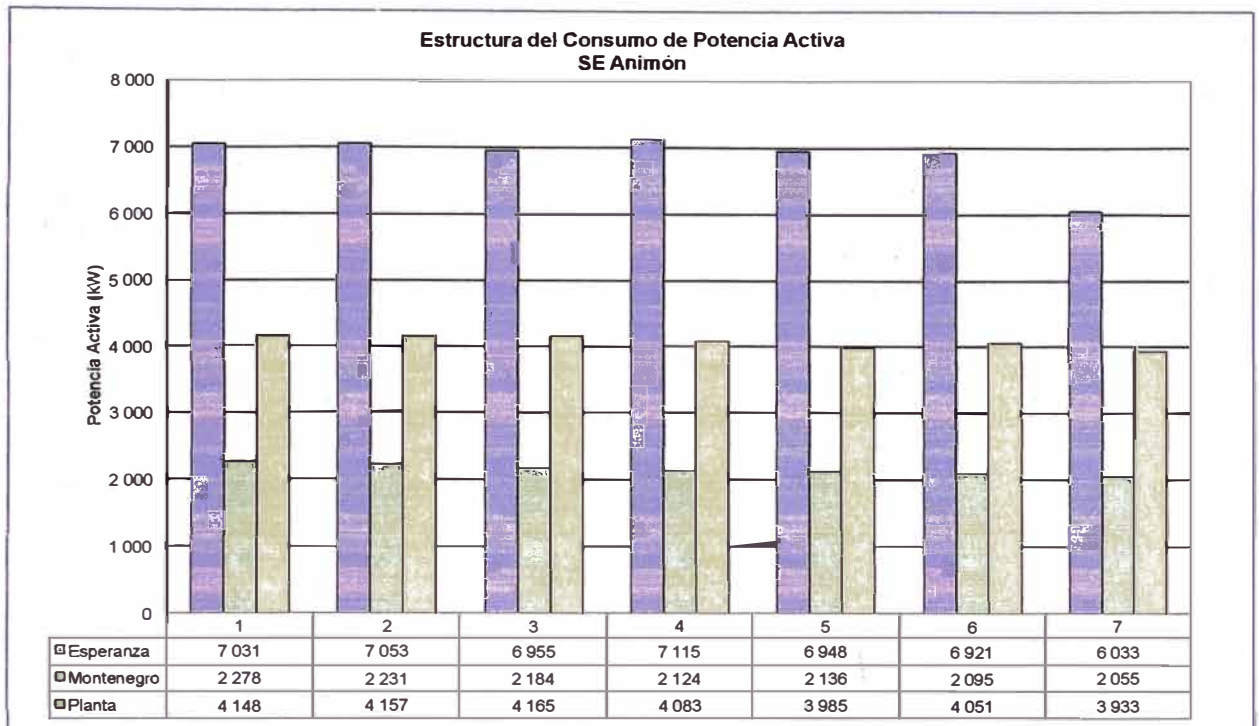
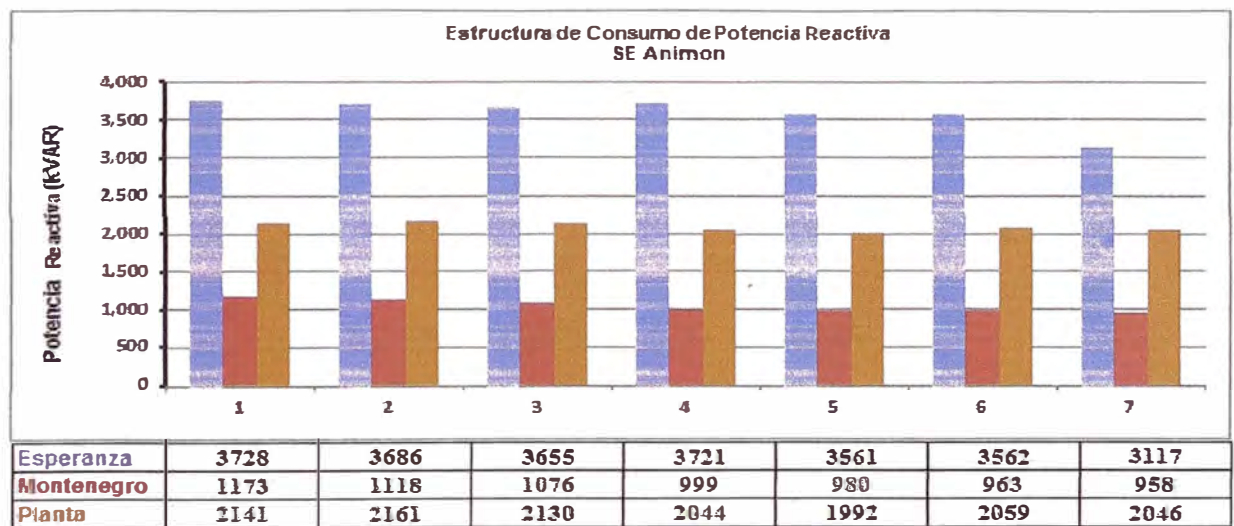
Los valores registrados son los siguientes:

Cuadro 3.12: Potencias Activa y Reactiva, para diferentes niveles de tensión.<sup>36</sup>

Ítem	Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	P(KW)	Q(KVAR)	Factor de Potencia	Factor de Carga
1	Animón	Esperanza	22.9	7 038	3 698	0.89	0.90
		Montenegro	22.9	2 204	1 092	0.90	0.80
		Planta	22.9	4 138	2 119	0.89	0.90
		Hidroeléctricas	22.9	4 285	557	0.99	1.00
		Shelby	50	5 706	4 898	0.76	0.80
		Baños IV	50	4 259	1 297	0.96	0.90
2	Esperanza	Compresora N° 8	2.3	281	153	0.88	0.96
		Compresora N° 13	2.3	259	147	0.87	0.96
		NV 465-310	4.16	1 127	605	0.88	0.83
		SE N° 15	4.16	705	329	0.91	0.71
		SE N° 16	4.16	1 304	313	0.97	0.77
		SE N° 18	4.16	1 273	553	0.92	0.83
		Winche	2.4	391	301	0.79	0.43
3	Montenegro	SE N° 15-20	4.16	775	432	0.87	0.64
		SE N° 17	4.16	752	317	0.92	0.82
		Winche Jacob 500HP	0.48	154	81	0.88	0.44
4	Planta	T-055 (SE Cono Profundo)	0.46	275	166	0.86	0.95
		T-056 (SE Tanque A)	0.46	272	144	0.88	0.95
		T-059 (SE N1-P Chancado)	4.16	49	71	0.57	0.75
		T-060 (SE N1-P Chancado)	0.46	281	253	0.74	0.63
		T-061 (SE N2-P Flotación)	0.46	917	497	0.88	0.88
		T-062 (SE N2-P Flotación)	0.46	907	826	0.74	0.95
		T-063 (SEN2-P Flotación)	0.48	1 146	592	0.89	0.98

Los alimentadores hacia las cargas operativas presentan un bajo factor de potencia (menor a 0.95), de allí la necesidad de compensarlos. Estos últimos tienen un factor de carga alto, lo cual indica el consumo constante de energía y potencia. A continuación se muestran las estructuras de consumo de potencias en los alimentadores de Animón 22.9kV.

<sup>36</sup> Fuente Propia

Gráfico 3.17: Consumo de Potencia Activa SE Animón<sup>37</sup>Gráfico 3.18: Consumo de Potencia Reactiva SE Animón<sup>38</sup><sup>37</sup> Fuente Propia<sup>38</sup> Fuente Propia

De los cuadros 3.17 y 3.18, se verifica que la mina Esperanza es el centro de mayor consumo de potencia activa y reactiva.

En el Anexo A, se encuentra el registro por día de los centros de consumo y producción de Animón en MT.

**3.15 Consumo de Energía SE Animón en HP y HFP**

Se caracterizó el consumo diario en el período de 7 días desagregados en hora punta y fuera de punta. Se muestran en el Gráfico N° 3.19.

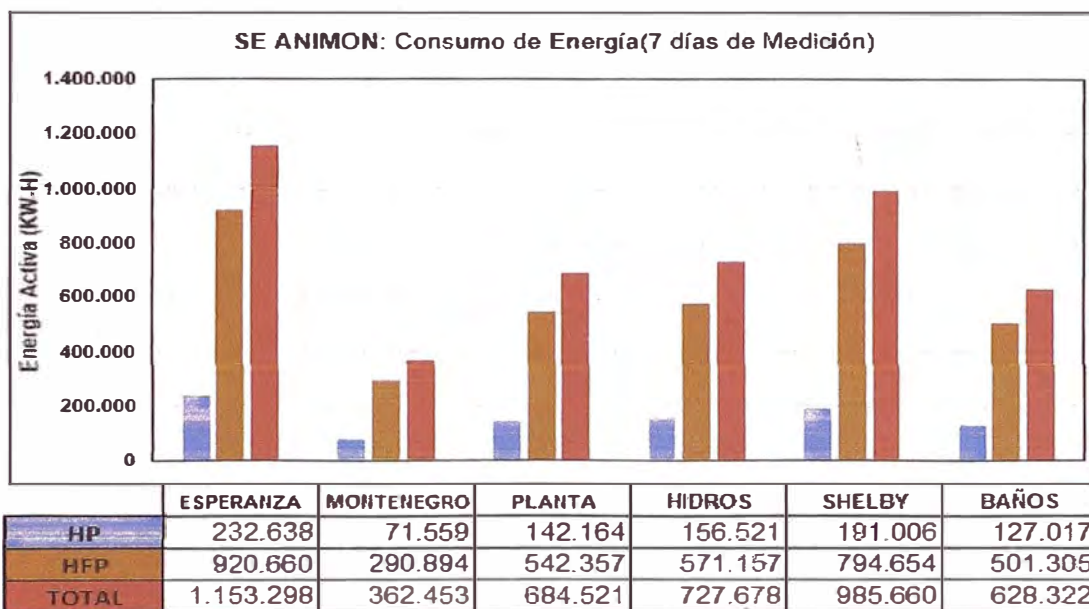


Gráfico 3.19: Días del Período de Medición<sup>39</sup>

Del gráfico 3.19, se observa que el mayor consumo de energía se da en la hora fuera de punta, siendo el de mayor consumo la Mina Esperanza y la de mayor producción la del SEIN.

<sup>39</sup> Fuente Propia

En el cuadro 3.13 se muestra el consumo de energía de un día típico (jueves 17 de marzo del 2011) de la semana de medición.

Cuadro 3.13: Día típico Jue 17/03/2011<sup>40</sup>

Ítem	Alimentador	Energía (KW.h)			Energía (%)		
		Hora Punta	Hora Fuera Punta	Total	Hora Punta	Hora Fuera Punta	Total
1	Esperanza	34 923	134 339	169 261	21%	79%	100%
2	Montenegro	9 904	43 630	53 534	19%	81%	100%
3	Planta	21 068	78 694	99 762	21%	79%	100%
4	<b>Total</b>	65 895	256 663	322 558	20%	80%	100%

Del cuadro 3.13, se puede observar que los tres alimentadores hacia los circuitos: Esperanza, Planta y Montenegro en la hora fuera de punta (HFP) consumen un 80% del total de la energía demanda en un día típico.

En el cuadro 3.14 se muestra el consumo de energía del día sábado 19 de marzo del 2011 de la semana de medición.

Cuadro 3.14: Día sábado 19/03/2011<sup>41</sup>

Ítem	Alimentador	Energía (KW.h)			Energía (%)		
		Hora Punta	Hora Fuera Punta	Total	Hora Punta	Hora Fuera Punta	Total
1	Esperanza	33 253	137 496	170 749	19%	81%	100%
2	Montenegro	9 938	41 027	50 965	20%	80%	100%
3	Planta	20 374	77 611	97 985	21%	79%	100%
4	<b>Total</b>	63 565	256 134	319 699	20%	80%	100%

Del cuadro 3.14 se puede observar que los tres alimentadores en la HFP consumen el 80% del total de la energía demanda en un día sábado.

<sup>40</sup> Fuente Propia

<sup>41</sup> Fuente Propia

En el cuadro 3.15, se muestra el consumo de energía del día domingo 20 de marzo del 2011 de la semana de medición.

Cuadro 3.15: Día Domingo 20/03/2011<sup>42</sup>

Ítem	Alimentador	Energía (KW.h)			Energía (%)		
		Hora Punta	Hora Fuera Punta	Total	Hora Punta	Hora Fuera Punta	Total
1	Esperanza	32 926	133 820	166 746	20%	80%	100%
2	Montenegro	10 912	40 357	51 269	21%	79%	100%
3	Planta	19 162	76 473	95 635	20%	80%	100%
4	<b>Total</b>	63 000	250 650	313 649	20%	80%	100%

Del cuadro anterior se puede observar que los tres alimentadores en las horas fuera de punta consumen el 80% del total de la energía demandada en un día domingo y los resultados anteriores se concluye que la demanda se mantiene toda la semana incluyendo sábados y domingos.

### 3.16 Parámetros de los transformadores con carga (Cargabilidad)

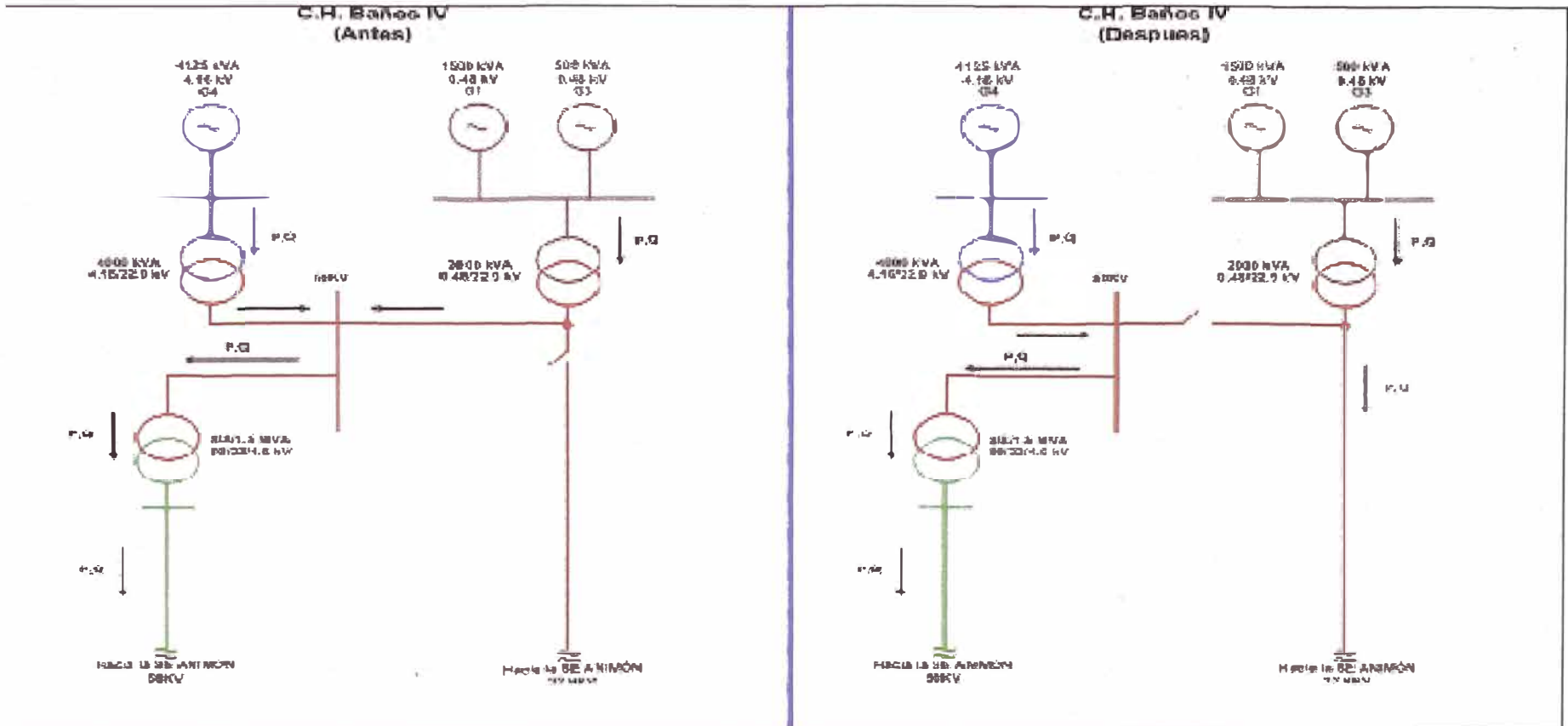
En el 2010 la subestación de Animón contaba con dos transformadores de potencia de 6MVA que se encontraban sobrecargados.

Con la finalidad de reducir la sobrecarga en los transformadores de Animón, el día 19 de marzo de dicho año se llevó a cabo el cambio de topología en Baños IV, tal y como se muestra en el siguiente esquema.

Del esquema 3.4, se puede concluir que al realizar este cambio de topología la inyección de potencia que entregaban los grupos G1 y G3 de Baños IV a través de la línea en 50kV ya no pasarían por los dos transformadores de Animón sino a través de la línea en 22.9kV, es decir directamente a la barra de alimentación de las cargas.

<sup>42</sup> Fuente Propia





UNI - FIM		SISTEMA ELECTRICO ANIMON	
		DIAGRAMA ELECTRICO CAMBIO DE TOPOLOGIA	
DISEÑO:	EDMUNDO PEREIRA C.	FSOAI A	S/T
REVISION:	EDMUNDO PEREIRA C.	ARCHIVO	NEV
		ESQUEMA N° 3.4	

Esquema 3.4: Cambio de Topología (Fuente Propia)

En el cuadro 3.16, se muestra la variación de los parámetros de trabajo con carga de los transformadores antes y después del cambio de topología.

Cuadro 3.16: Variación de parámetros de los Transformadores SE Principal<sup>43</sup>

Ítem	Tipo	Cargabilidad (%)			
		Transformador N° 1		Transformador N° 2	
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 1	Etapa 2
1	Máximo	114	111	116	113
2	Promedio	101	90	103	92
3	Mínimo	77	53	78	54

Donde:

- Etapa 1: Antes del cambio de topología
- Etapa 2: Después del cambio de topología

En el gráfico 3.20, se muestra el comportamiento del transformador N°01 de potencia de Animón durante la semana de medición.

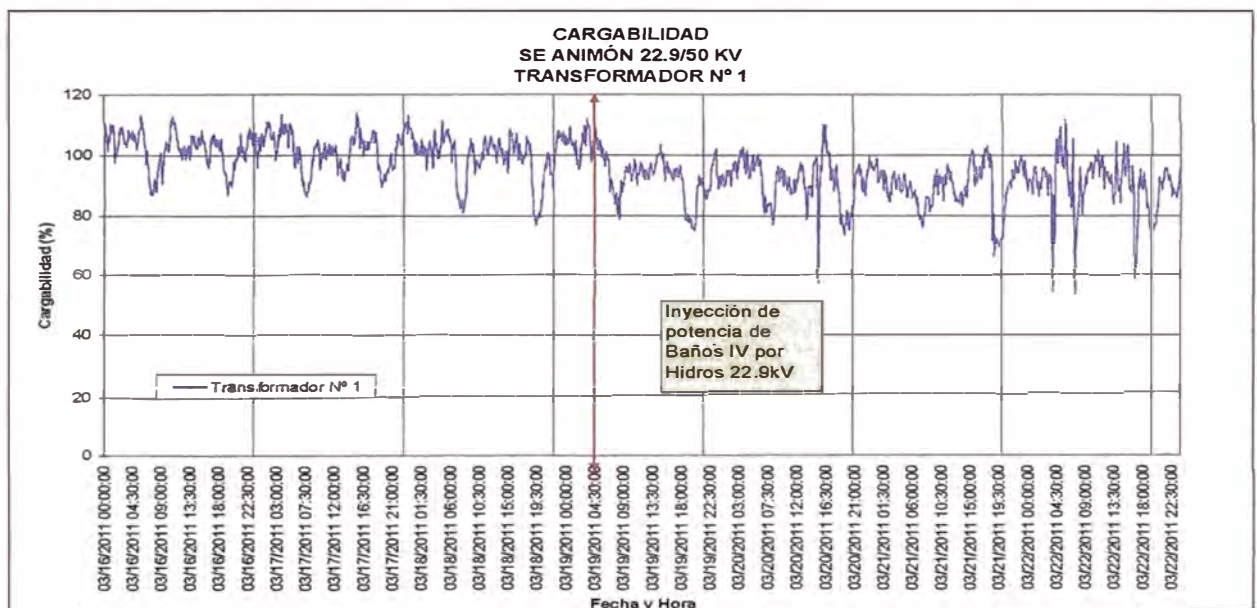


Gráfico 3.20: Transformador de 6MVA<sup>44</sup>

<sup>43</sup> Fuente Propia

<sup>44</sup> Fuente Propia

Del gráfico 3.20, se puede observar que existe un alivio en los transformadores, una vez realizado el cambio en la topología de Baño IV.

### 3.17 Niveles de temperatura en los Transformadores de Potencia SE Animón

En el gráfico 3.21, se muestran los niveles de temperatura en el transformador de potencia de 6MVA de la subestación de Animón.

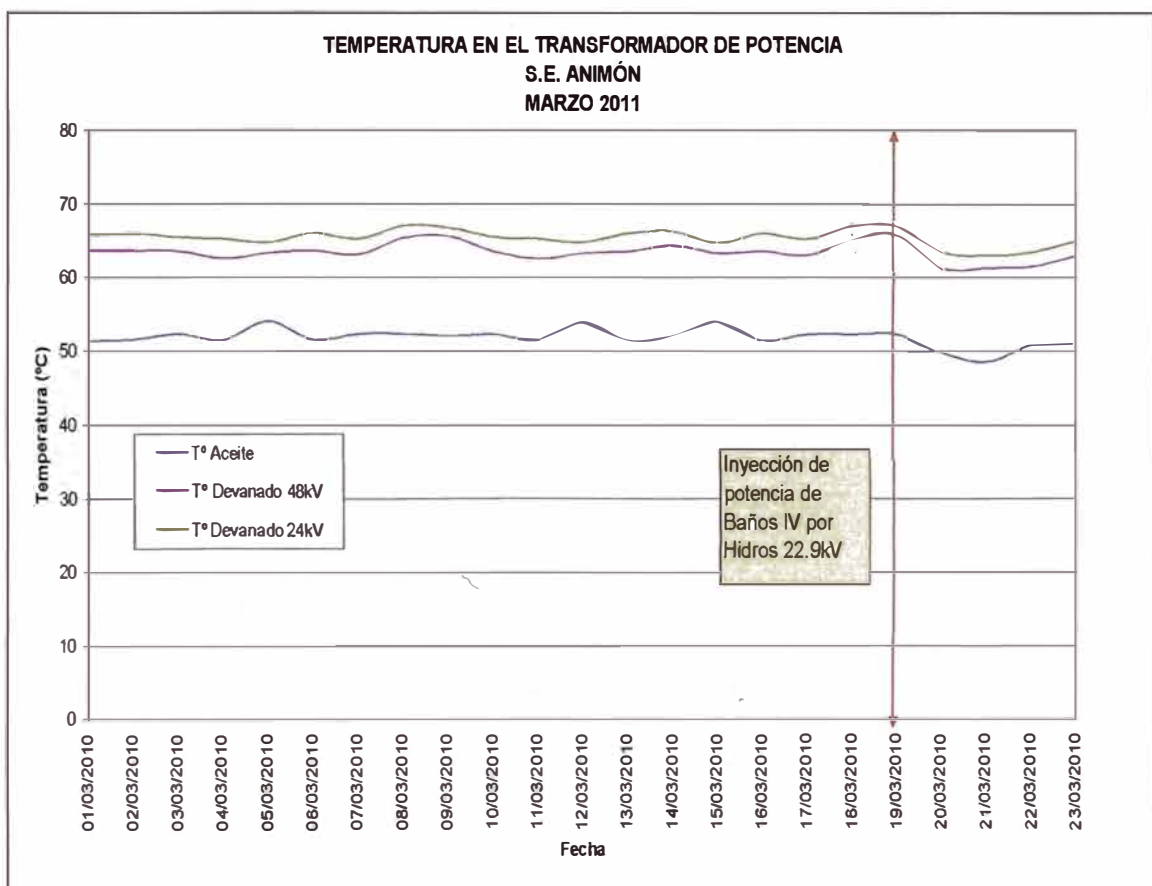


Gráfico 3.21: Temperatura en el transformador SE Animón<sup>45</sup>

<sup>45</sup> Fuente Propia

### 3.18 Balace de energía y potencia

Según las mediciones registradas se observa que la estructura de consumo de energía y potencia es la siguiente:

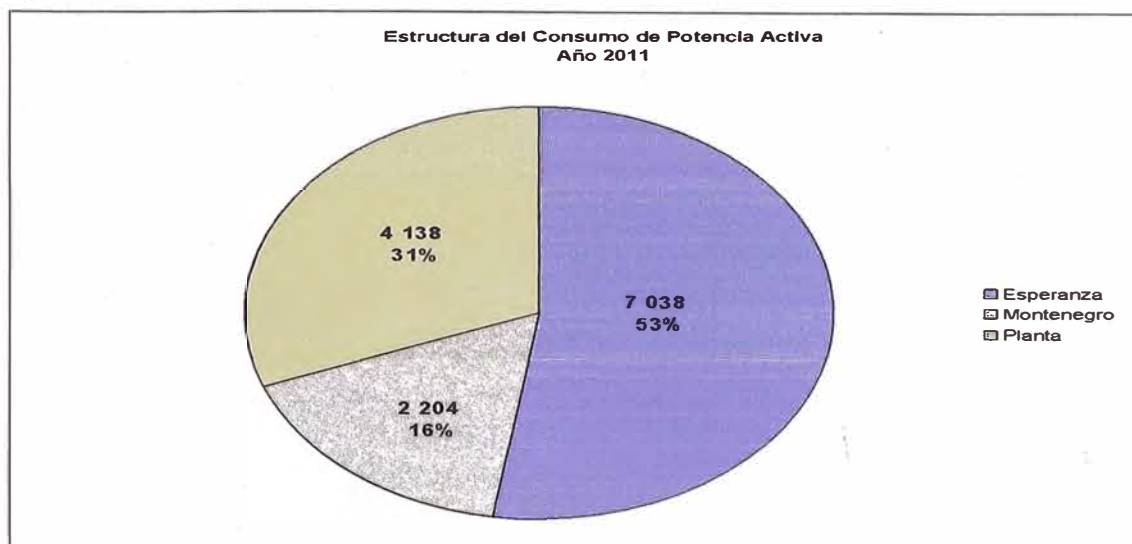


Gráfico 3.22: Estructura de potencia<sup>46</sup>

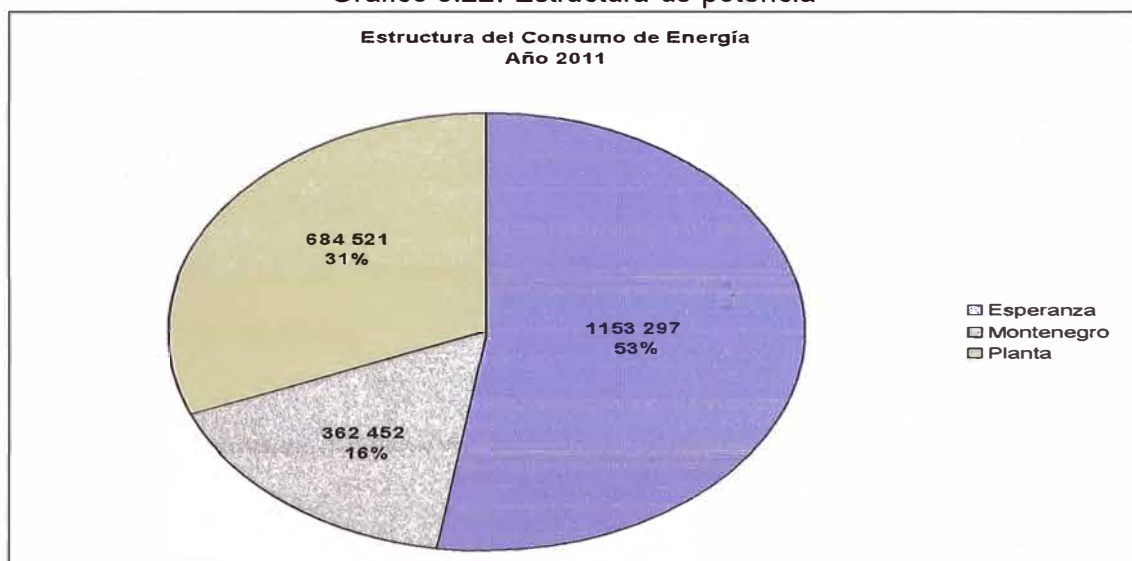


Gráfico 3.23: Estructura de Energía<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Fuente Propia

<sup>47</sup> Fuente Propia

Asimismo se observa que el diagrama de carga de la unidad Animón presenta un factor de carga de 0.89 cuya curva es la siguiente.

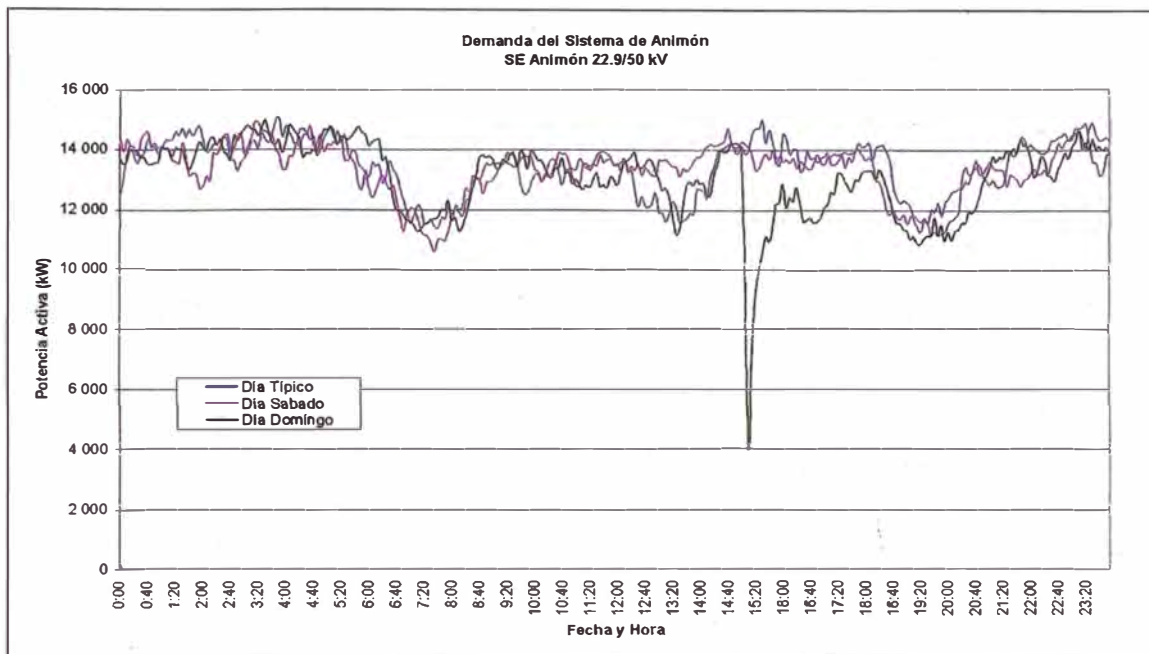


Gráfico 3.24: Demanda del sistema Animón<sup>48</sup>

Día Típico (17/03/2011)

Día sábado (19/03/2011)

Día domingo (20/03/2011)

En el cuadro 3.17, se presentan los factores de carga de los días analizados en el período de medición.

Cuadro 3.17: Factor de carga<sup>49</sup>

Ítem	Día	Factor de Carga	Máxima Demanda (kW)	Energía (kW.h)
1	Típico	0.89	15 039	322 558
2	Sábado	0.90	14 882	319 699
3	Domingo	0.87	14 951	313 649

<sup>48</sup> Fuente Propia

<sup>49</sup> Fuente Propia

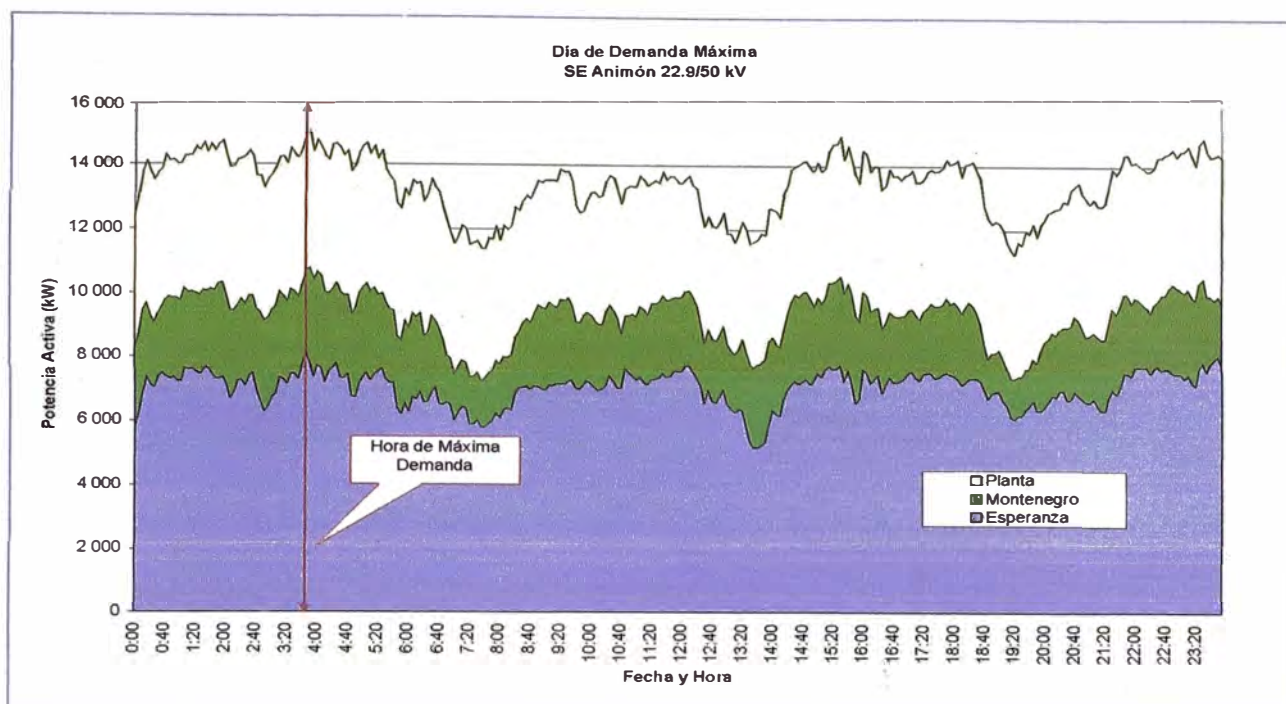


Gráfico 3.25: Demanda del sistema Animón por alimentador<sup>50</sup>

En el cuadro 3.18, se muestran los factores de coincidencia.

Cuadro 3.18: Factor de Coincidencia por Alimentador<sup>51</sup>

Ítem	Alimentador	Demanda Máxima Coincidente (kW)	Factor de Coincidencia (%)
1	Esperanza	7 821	52%
2	Montengro	2 942	20%
3	Planta	4 276	28%
4	<b>Total</b>	<b>15 039</b>	<b>100%</b>

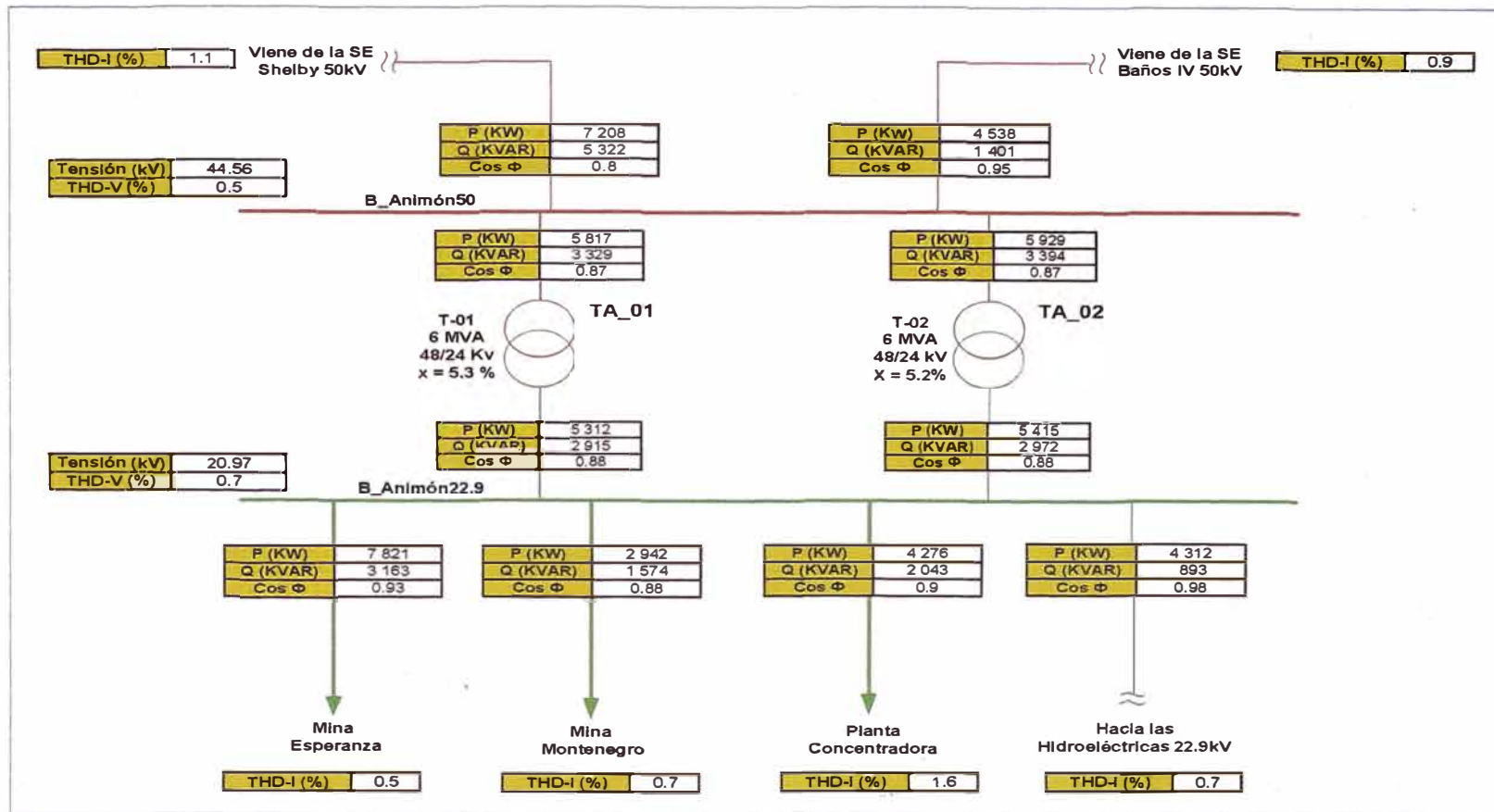
En el Anexo B, se presentan los balances de energía y potencia.

### 3.19 Verificación de Operación de las Centrales

La forma de operación de los grupos de generación está relacionada con la correspondencia entre los flujos de potencia del generador, la carga y el factor de potencia, tal y como se muestra en cuadro 3.19.

<sup>50</sup> Fuente Propia

<sup>51</sup> Fuente Propia



Esquema 3.5: Direccionalidad de los flujos de potencia activa y reactiva<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Fuente Propia

### 3.20 Verificación de la operación de los condensadores existentes.

En campo se verificó que el Sistema Eléctrico cuenta con los siguientes condensadores:

Cuadro 3.20: Condición operativa de los condensadores existentes<sup>55</sup>

Ítem	Código de Condensador	Ubicación	Plano de Referencia (*)	Potencia (KVAR)	Nivel Tensión (kV)	Condición Operativa
1	CP_1	Planta	N° 004	600	22.9	Inoperativo
2	CP_2	Planta	N° 004	150	0.46	Inoperativo
3	CP_3	Planta	N° 004	200	0.46	En servicio
4	CE_1	Esperanza	N° 001	600	22.9	En servicio
5	CE_2	Esperanza	N° 001	600	22.9	F/Servicio
6	CE_3	Esperanza	N° 001	600	22.9	En Servicio

(\*) Los planos se encuentran en el Anexo D.

Los condensadores en media tensión son similares, los tres están conectados en 22.9kV y son de 600KVAR. Su configuración es según las fotos 3.8 y 3.9.

El condensador de Esperanza, se encontraba fuera de servicio debido a fallas a la hora de la sincronización de las centrales térmicas.

Se ha determinado que dicho condensador resuena en la banda de la 7ma armónica con la operación de uno y cuatros grupos (Gráfico N° 3.27) Scan de frecuencia.

Los condensadores en baja tensión, de la Planta Concentradora se encuentran inoperativos debido a que sus componentes no están habilitados, ver siguientes fotos N°s 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.

---

<sup>55</sup> Fuente Propia



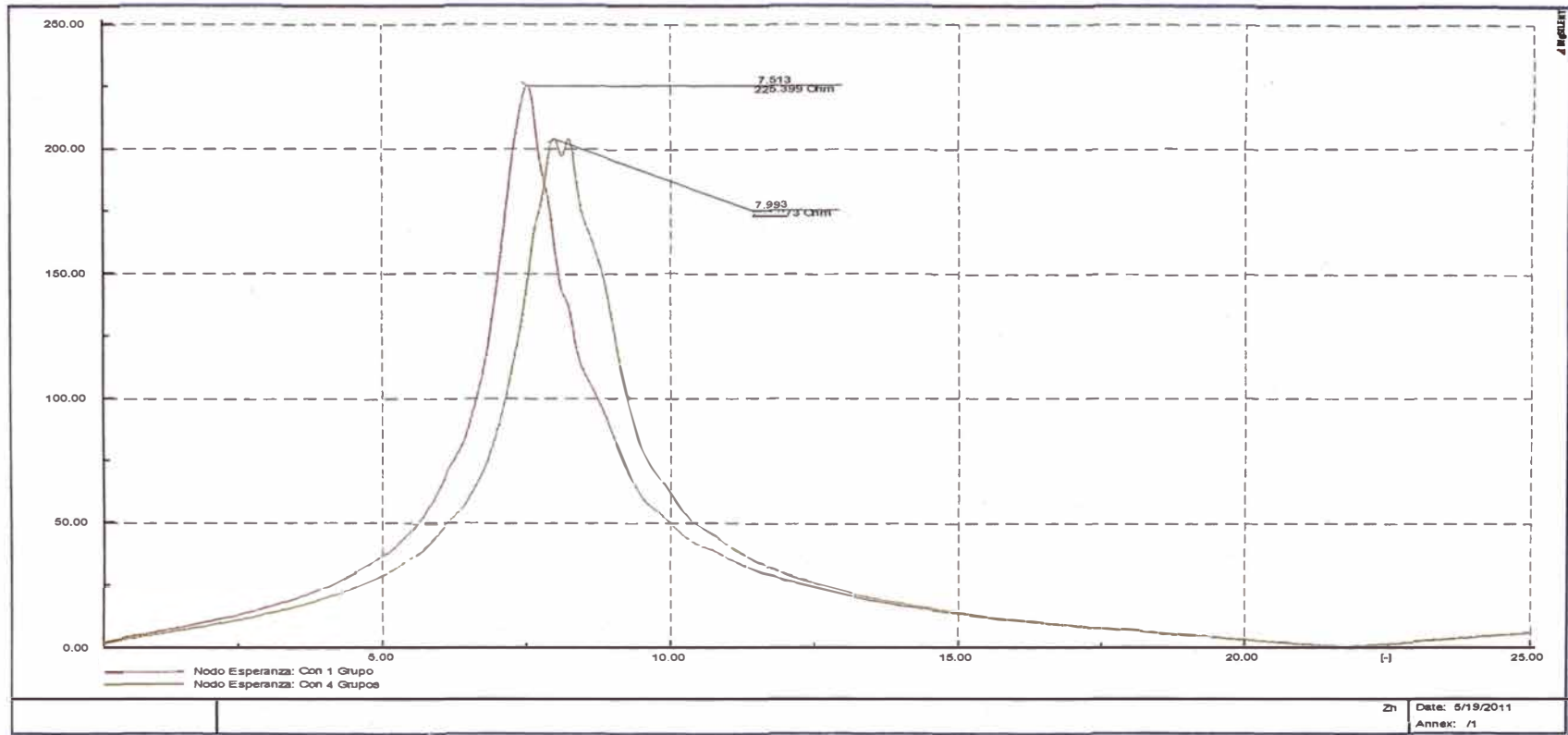
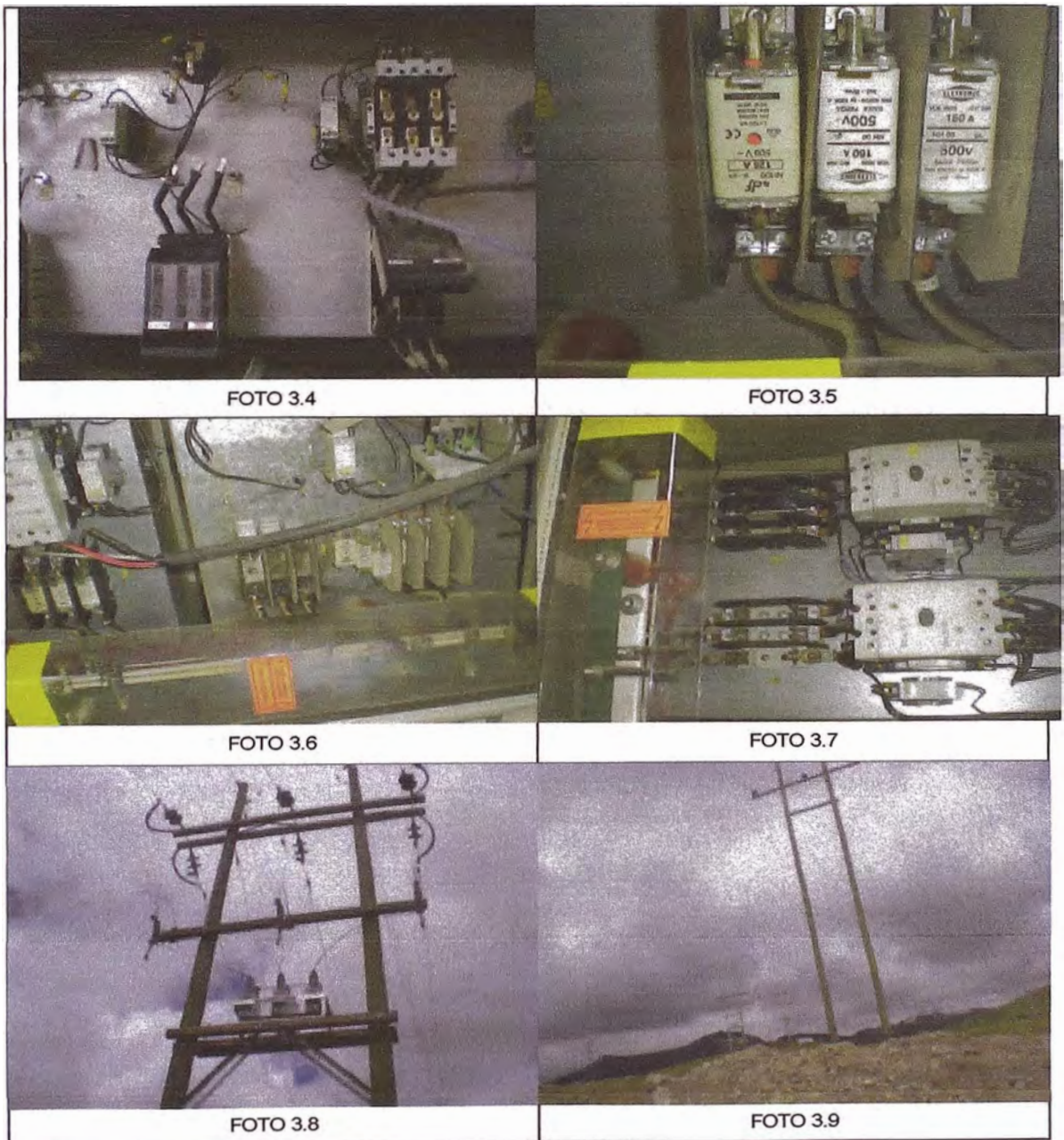


Gráfico 3.27: Scan de Frecuencia de la 7ma armónica del condensador cuando trabajan los grupos electrógenos <sup>56</sup>

<sup>56</sup> Fuente Propia

Esta resonancia ocasiona que el condensador consuma una gran corriente en el momento de su conexión. Para mejorar esta situación el condensador debería tener un reactor sintonizado a la 7ma armónica. No se recomienda su instalación, dado que existirá una compensación centralizada o distribuida. Los pasos de dicho condensador deberían ser utilizados como repuestos de los condensadores de Planta, Chicrin y Esperanza.



**CAPÍTULO 4**  
**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA Y ARMÓNICOS BAJO LOS**  
**MARCOS NORMATIVOS DE LA NTCSE Y EL IEEE 519**

**4.1 Análisis de calidad de Energía**

Según la NTCSE solo contempla indicadores de calidad para el control del Flicker y Tensiones Armónicas.

**4.1.1 Medición de Tensión en la SE Animón 22.9kV**

En el gráfico 4.1 se presentan los perfiles de tensión obtenidos. Se ve que existen intervalos que superan la tolerancia estipulada por la NTCSE (Cuadro N°4.1).

Cuadro N° 4.1<sup>57</sup>

EVALUACIÓN DE MEDICIONES DE TENSIÓN	
SUBESTACIÓN	ANIMÓN
TENSIÓN NOMINAL [ V ]	22 900
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	672
No DE INTERVALOS EN FALTA	576
% DE INTERVALOS EN FALTA	85.71
FECHA DE INICIO	16/03/2011 0:15
FECHA DE RETIRO	23/03/2011 0:00

---

<sup>57</sup> Fuente Propia

#### 4.1.2 Medición de Flicker en la SE Animón 22.9kV

En el gráfico 4.2 se presentan los perfiles del Flicker registrado. Se observa que existen 12 intervalos en falta; sin embargo, la cantidad de intervalos “en falta” no superan el límite estipulado por la NTCSE ( $Pst < 1$ ), véase Cuadro N°4.2.

Cuadro N° 4.2. Medición de Flicker en la SE Animón 22.9 KV<sup>58</sup>

EVALUACION DE MEDICIONES DE FLICKER	
SUBESTACIÓN	ANIMÓN
TENSIÓN NOMINAL	22 900
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	1008
No DE INTERVALOS EN FALTA	12
% DE INTERVALOS EN FALTA	1.19
FECHA DE INICIO	16/03/2011 0:10
FECHA DE RETIRO	23/03/2011 0:00

---

<sup>58</sup> Fuente Propia

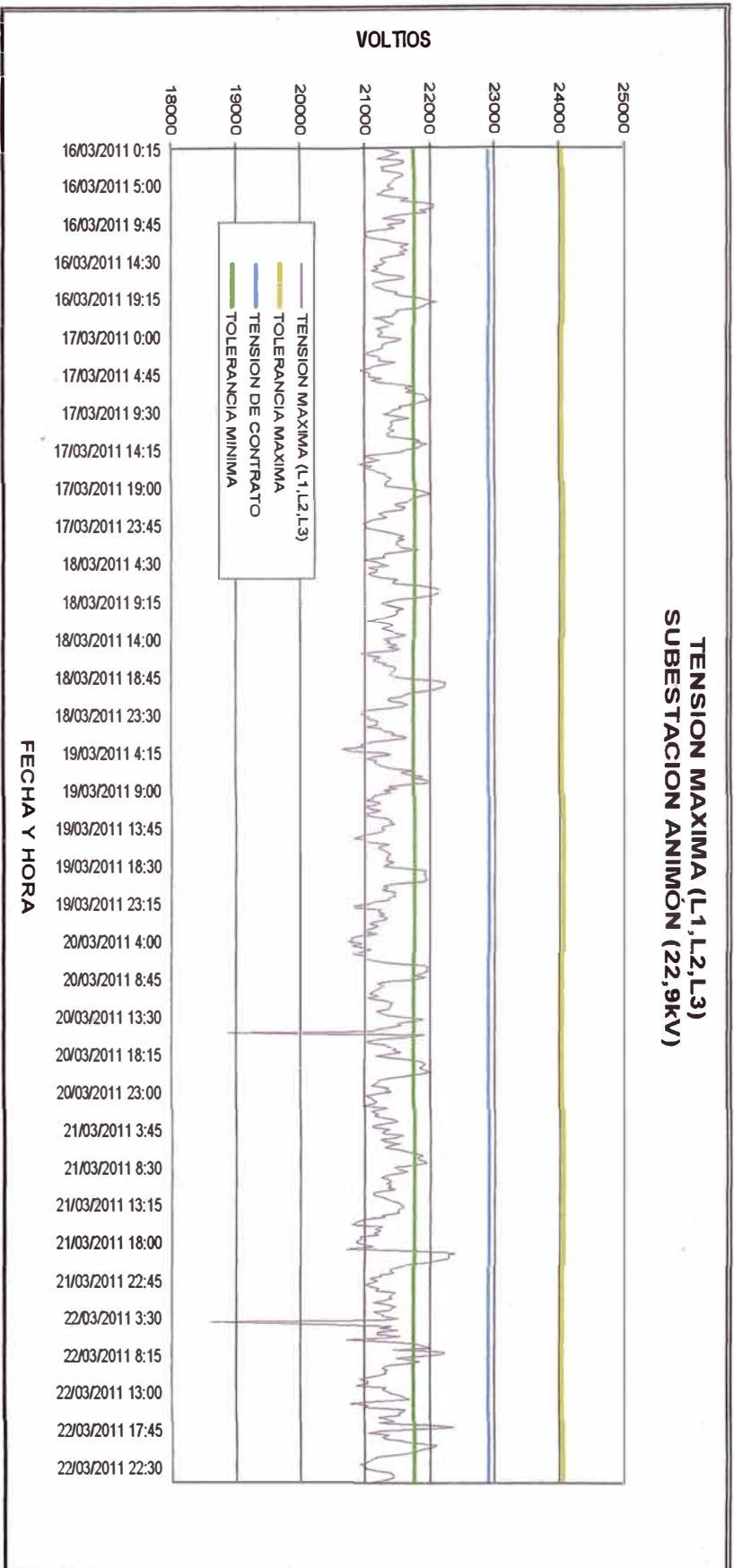


Gráfico N° 4. 1Tolerancias en Nv de Tensión 22.9 KV SE Animón<sup>59</sup>

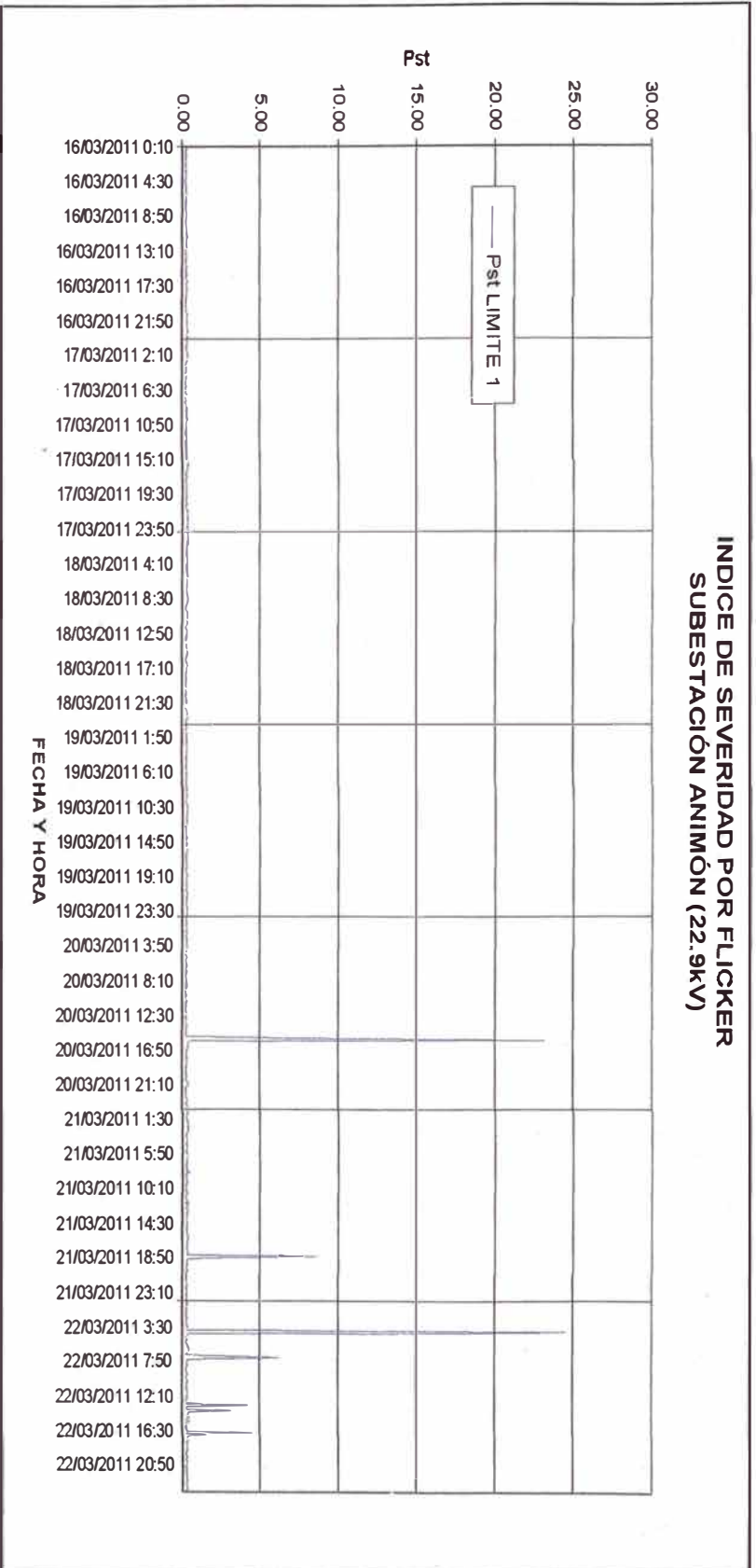


Gráfico N° 4.2 Índice de Severidad por Flicker en la SE Animón en 22.9 KV<sup>60</sup>

60 Fuente Propia

#### 4.2 Medición de armónicas individuales de tensión en 22.9 KV

En el gráfico 4.3, se presentan los perfiles de las armónicas individuales de tensión registradas. Se observa que no existen intervalos en falta por armónica individual de tensión (Cuadro N°4.3).

En el gráfico 4.4 se presentan el perfil del THD de tensión registrado. Se observa que no supera la tolerancia estipulada por la NTCSE (THD-V<8%).

Cuadro N° 4.3 Medición de Armónicas de Tensión en 22.9 KV<sup>61</sup>

EVALUACIÓN DE MEDICIONES DE ARMÓNICAS DE TENSIÓN	
SUBESTACIÓN	ANIMÓN
TENSIÓN NOMINAL [ V ]	22 900
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	1008
No DE INTERVALOS EN FALTA	0
% DE INTERVALOS EN FALTA	0.00
FECHA DE INICIO	16/03/2011 0:10
FECHA DE RETIRO	23/03/2011 0:00

---

<sup>61</sup> Fuente Propia

### TENSIONES ARMONICAS MAXIMAS SUBESTACION ANIMÓN (22.9KV)

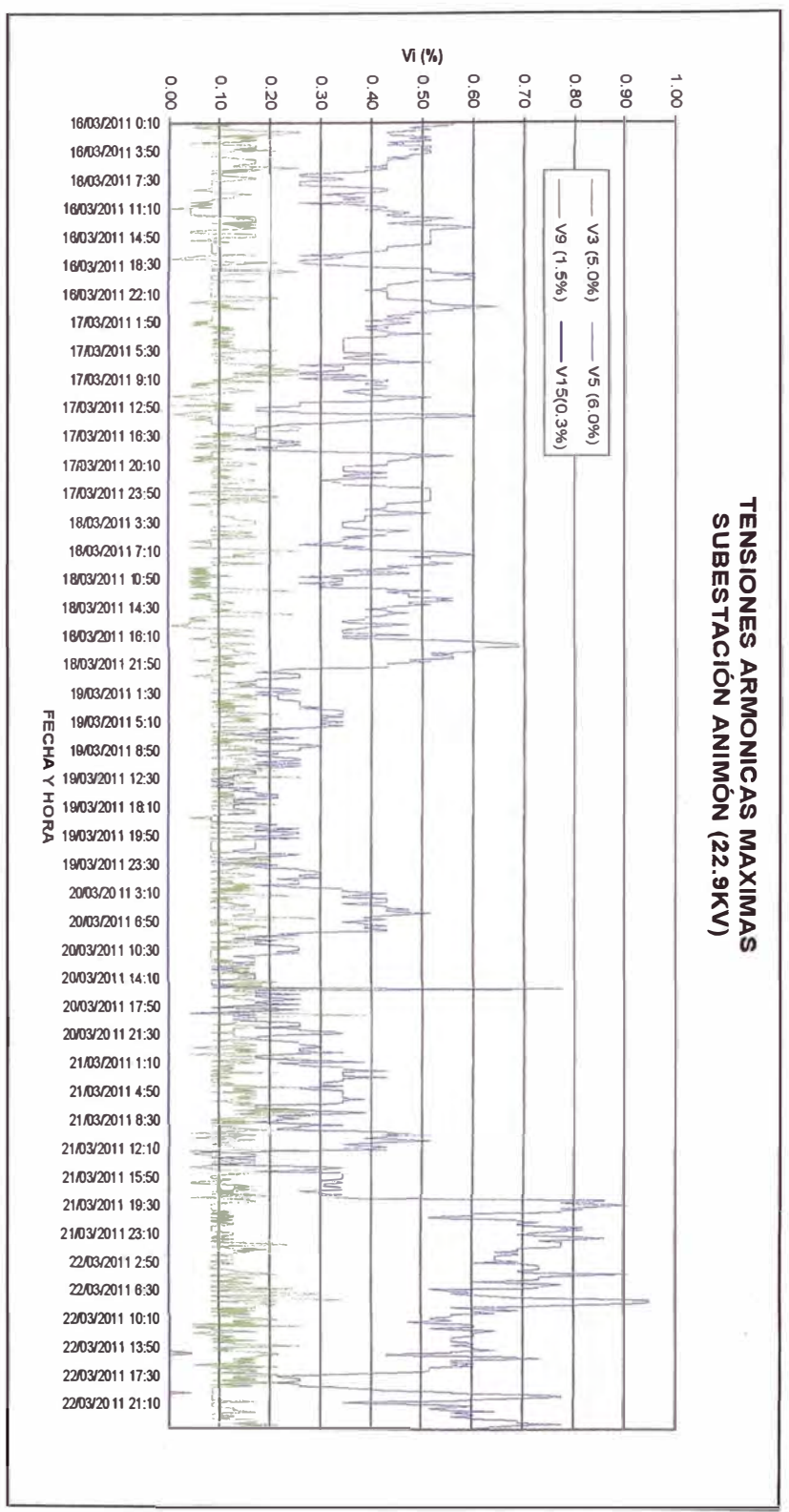


Gráfico N° 4.3 Tensiones Armónicas Máximas en SE Animón 22.9 KV<sup>62</sup>

<sup>62</sup> Fuente Propia



### FACTOR DE DISTORSION TOTAL POR TENSIONES ARMONICAS SUBESTACION ANIMÓN (22.9KV)

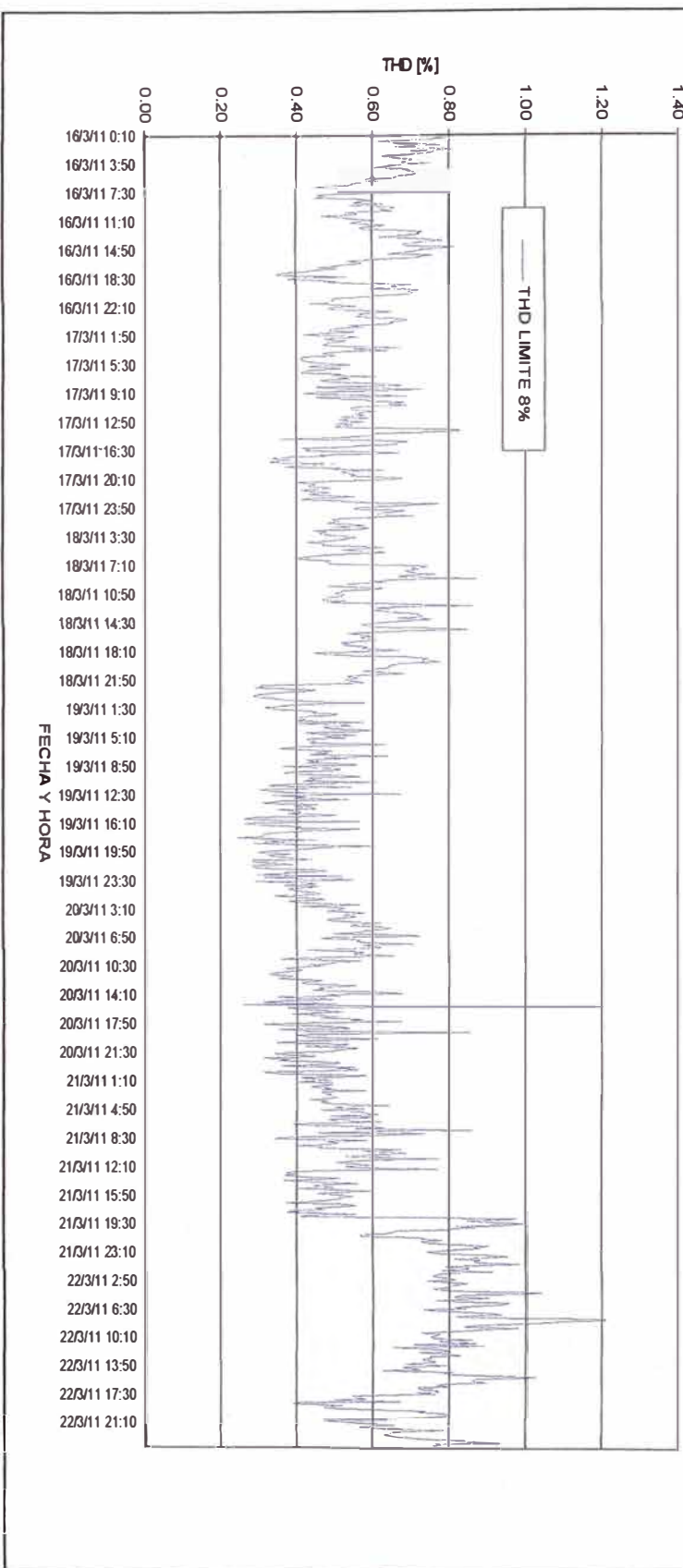


Gráfico N° 4.4. Factor Distorsión Total por Tensiones Armónicas SE Animón 22.9 KV<sup>63</sup>

63 Fuente Propia

Cuadro N° 4.4. Porcentaje de Intervalos en Falta<sup>64</sup>

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
2	0	0.00%	Ok
3	0	0.00%	Ok
4	0	0.00%	Ok
5	0	0.00%	Ok
6	0	0.00%	Ok
7	0	0.00%	Ok
8	0	0.00%	Ok
9	0	0.00%	Ok
10	0	0.00%	Ok
11	0	0.00%	Ok
12	0	0.00%	Ok
13	0	0.00%	Ok
14	0	0.00%	Ok
15	0	0.00%	Ok
16	0	0.00%	Ok
17	0	0.00%	Ok
18	0	0.00%	Ok
19	0	0.00%	Ok
20	0	0.00%	Ok
21	0	0.00%	Ok
22	0	0.00%	Ok
23	0	0.00%	Ok
24	0	0.00%	Ok
25	0	0.00%	Ok
26	0	0.00%	Ok
27	0	0.00%	Ok
28	0	0.00%	Ok
29	0	0.00%	Ok
30	0	0.00%	Ok
31	0	0.00%	Ok
32	0	0.00%	Ok
33	0	0.00%	Ok
34	0	0.00%	Ok
35	0	0.00%	Ok
36	0	0.00%	Ok
37	0	0.00%	Ok
38	0	0.00%	Ok
39	0	0.00%	Ok
40	0	0.00%	Ok
THD	0	0.00%	Ok

---

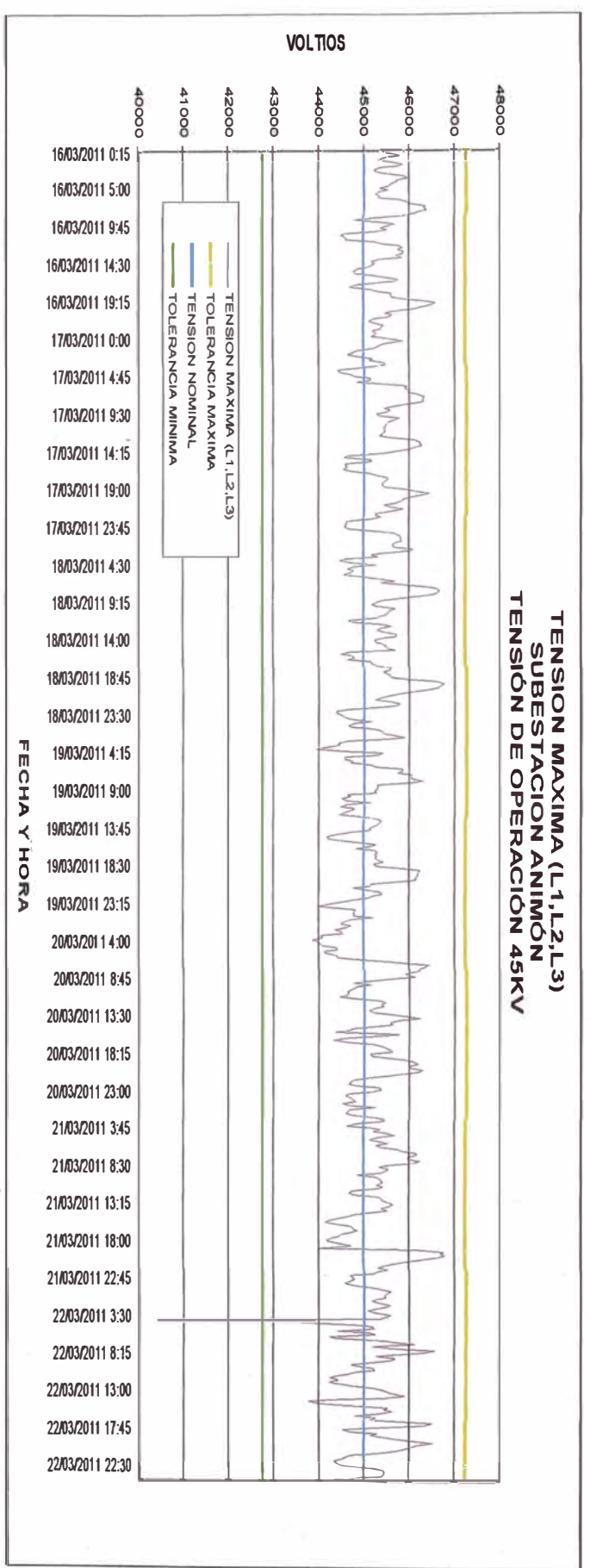


---

<sup>64</sup> Fuente Propia

**4.3 Medición de Tensión en la SE Animón 50kV:**

En el gráfico 4.5, se presentan los perfiles de tensión obtenidos. Se observa que todos los intervalos superan la tolerancia estipulada por la NTCSE.



**Gráfico N° 4.5 Perfiles de Tensión SE Animón 22.9 KV<sup>65</sup>**

<sup>65</sup> Fuente Propia

Cuadro N° 4.5. Evaluación de Mediciones de Tensión<sup>66</sup>

EVALUACION DE MEDICIONES DE TENSION	
SUBESTACIÓN	ANIMÓN
TENSIÓN NOMINAL [ V ]	45 000
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	672
No DE INTERVALOS EN FALTA	1
% DE INTERVALOS EN FALTA	0.15
FECHA DE INICIO	16/03/2011 0:10
FECHA DE RETIRO	23/03/2011 0:00

#### 4.4 Medición de Flicker en la SE Animón 50kv

En el gráfico 4.6, se presentan los perfiles del Flicker registrado. En el cuadro N° 4.6 se observa que existen 12 intervalos en falta; sin embargo, la cantidad de intervalos “en falta” no superan el límite estipulado por la NTCSE ( $Pst > 1$ ).

Cuadro N° 4.6. Evaluación de Mediciones de Flicker<sup>67</sup>

EVALUACIÓN DE MEDICIONES DE FLICKER	
SUBESTACIÓN	ANIMÓN
TENSIÓN NOMINAL	45 000
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	1008
No DE INTERVALOS EN FALTA	12
% DE INTERVALOS EN FALTA	1.19
FECHA DE INICIO	16/03/2011 0:10
FECHA DE RETIRO	23/03/2011 0:00

#### 4.5 Medición de armónicas individuales de tensión en 50 KV

En el gráfico 4.7, se presentan los perfiles de las armónicas individuales de tensión registradas. Se observa que no existen intervalos en falta por armónica individual de tensión.

En el gráfico 4.8, se presentan el perfil del THD de tensión registrado. Se observa que el THD no supera la tolerancia estipulada por la NTCSE ( $THD-V < 3\%$ ).

---

<sup>66</sup> Fuente Propia

<sup>67</sup> Fuente Propia

**INDICE DE SEVERIDAD POR FLICKER  
SUBESTACION ANIMÓN (50kV)**

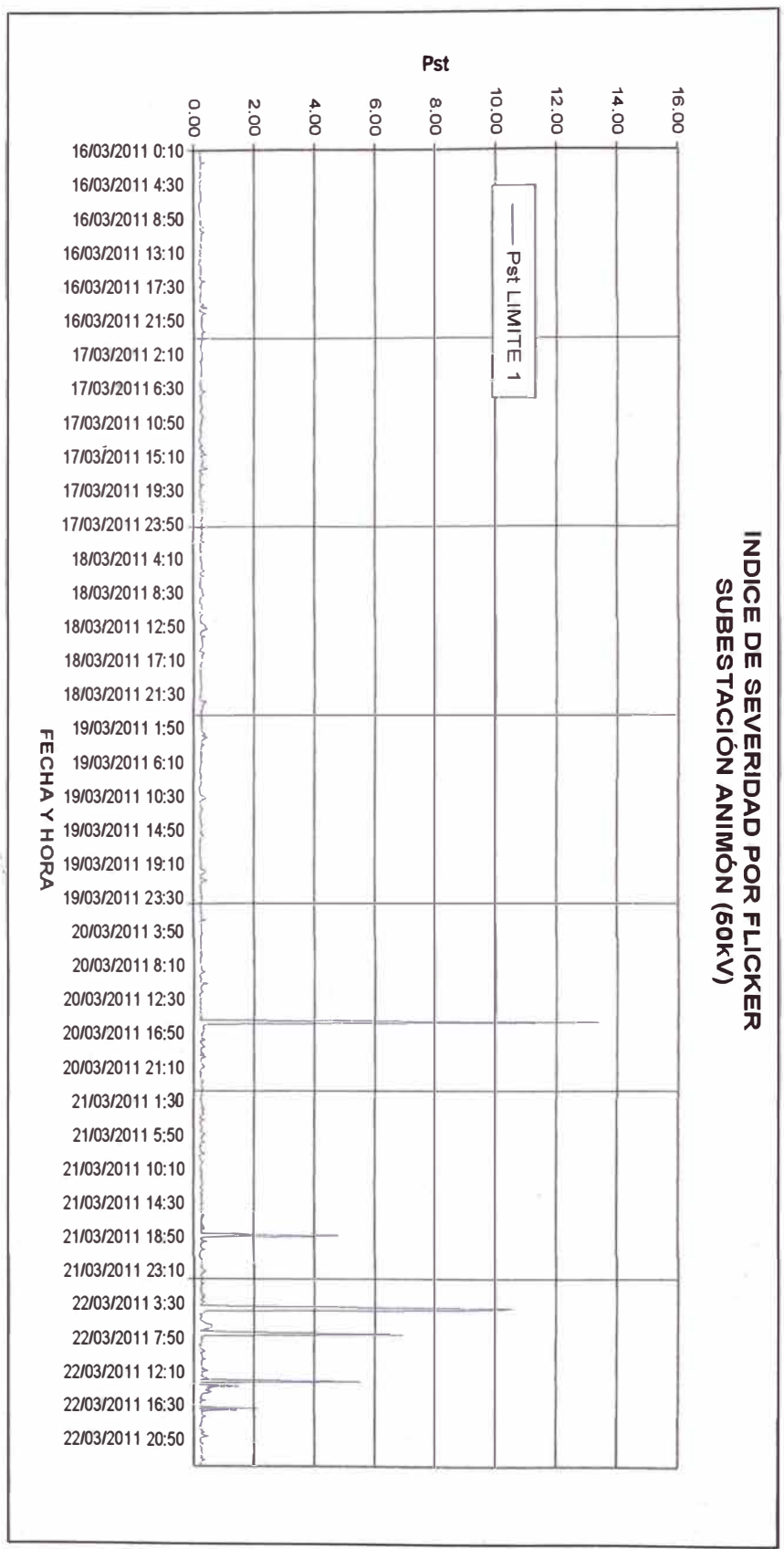


Gráfico N° 4.6 Índice Severidad por Flicker SE Animón 22.9 KV<sup>68</sup>

<sup>68</sup> Fuente Propia

### TENSIONES ARMONICAS MAXIMAS SUBESTACION ANIMÓN (50KV)

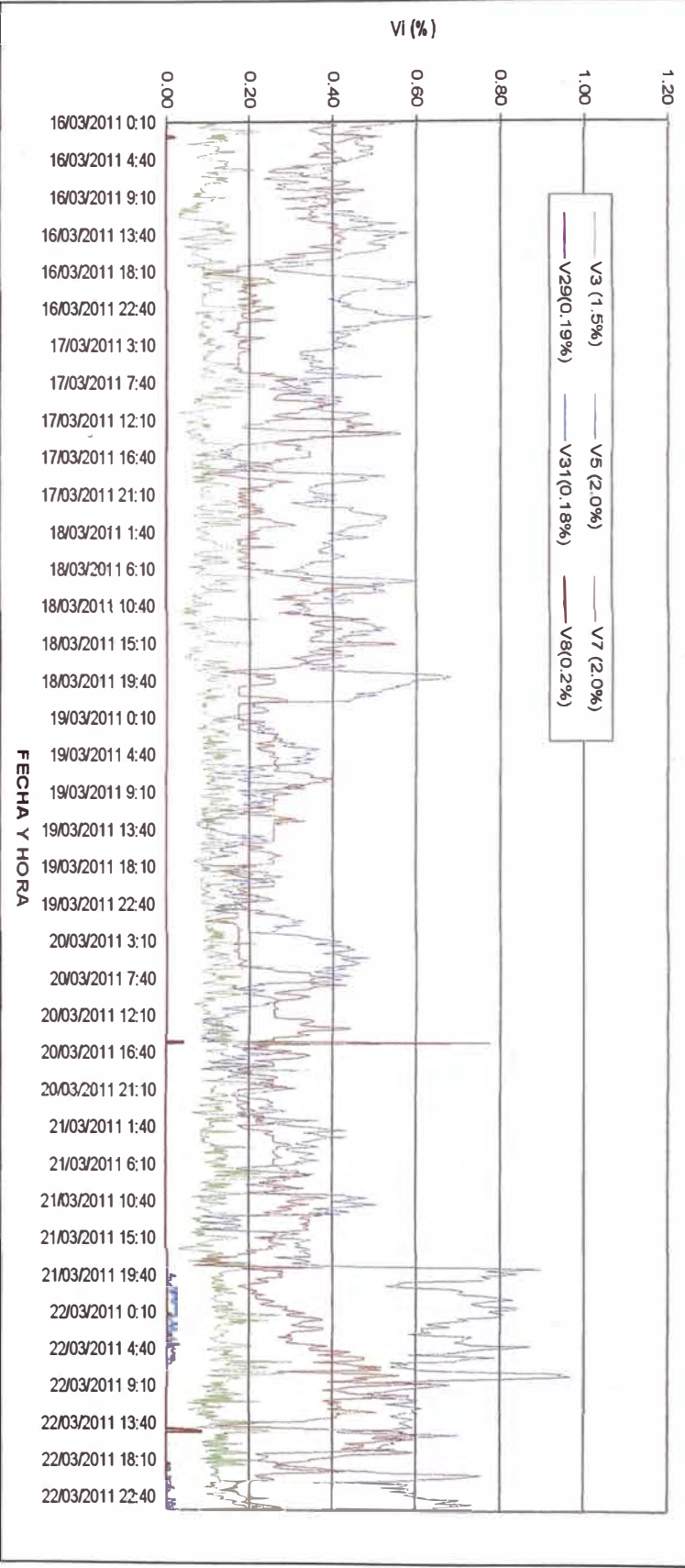
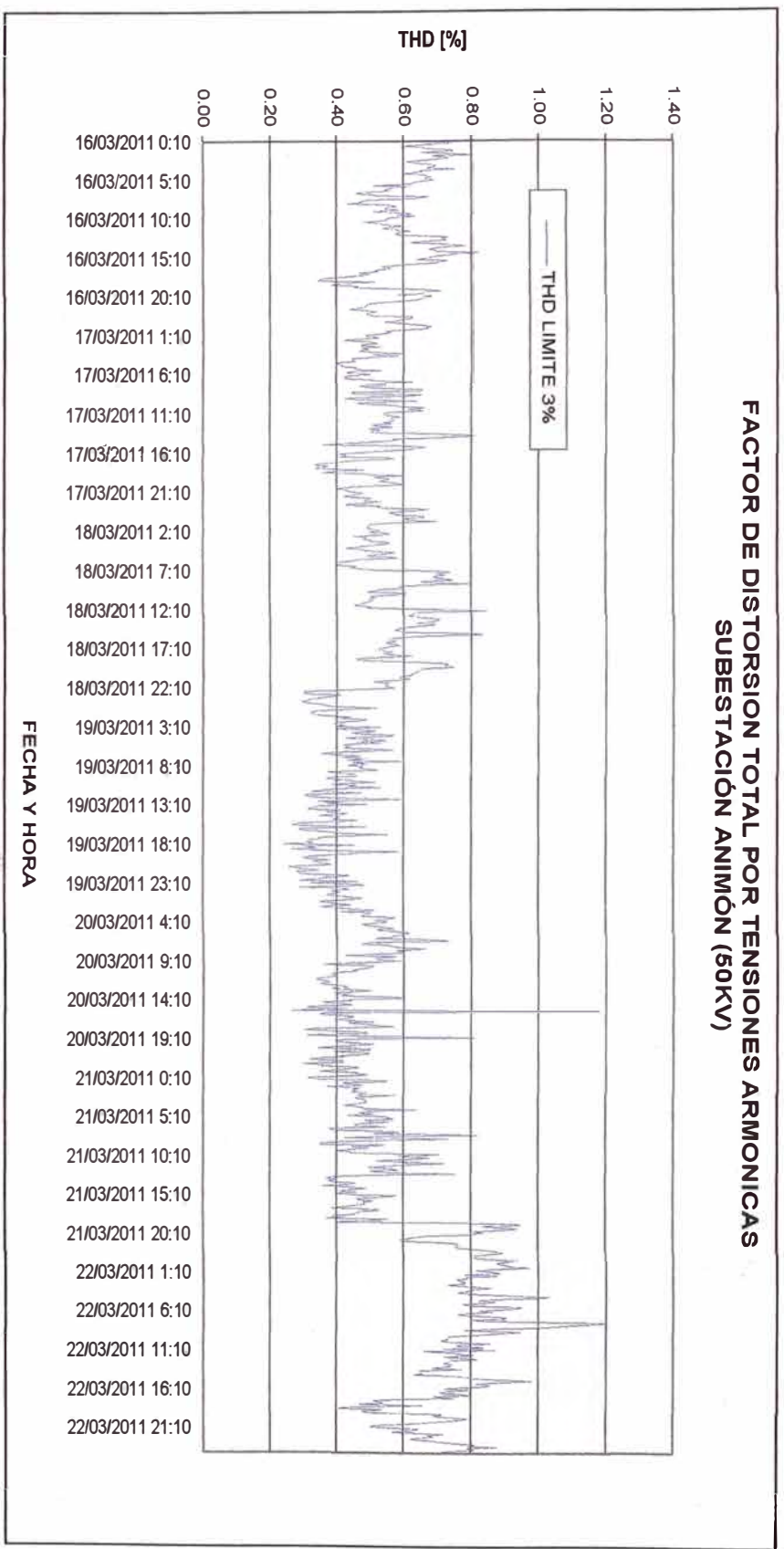


Gráfico N° 4.7 Tensione Armónicas Máximas SE Animón 50KV<sup>59</sup>

<sup>59</sup> Fuente Propia

**FACTOR DE DISTORSION TOTAL POR TENSIONES ARMONICAS  
SUBESTACION ANIMÓN (50KV)**



**Gráfico N° 4.8 Factor Distorsión Total SE Animón 50KV<sup>70</sup>**

<sup>70</sup> Fuente Propia

Cuadro N° 4.7: Evaluación de Mediciones de Tensiones Armónicas<sup>71</sup>

SE ANIMON: EVALUACION DE MEDICIONES DE TENSIONES ARMONICAS	
TENSIÓN NOMINAL [ V ]	45 000
COMPENSACIÓN 3ra ETAPA [ US\$ ]	0.00
No DE INTERVALOS REGISTRADOS	1008
No DE INTERVALOS EN FALTA	0
% DE INTERVALOS EN FALTA	0.00
FECHA DE INICIO	16/03/2011 0:10
FECHA DE RETIRO	23/03/2011 0:00

Cuadro N° 4.8: Intervalos en falta<sup>72</sup>

ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
2	0	0.00%	Ok
3	0	0.00%	Ok
4	0	0.00%	Ok
5	0	0.00%	Ok
6	0	0.00%	Ok
7	0	0.00%	Ok
8	0	0.00%	Ok
9	0	0.00%	Ok
10	0	0.00%	Ok
11	0	0.00%	Ok
12	0	0.00%	Ok
13	0	0.00%	Ok
14	0	0.00%	Ok
15	0	0.00%	Ok
16	0	0.00%	Ok
17	0	0.00%	Ok
18	0	0.00%	Ok
19	0	0.00%	Ok
20	0	0.00%	Ok
21	0	0.00%	Ok
22	0	0.00%	Ok
23	0	0.00%	Ok
24	0	0.00%	Ok
25	0	0.00%	Ok
26	0	0.00%	Ok
27	0	0.00%	Ok
28	0	0.00%	Ok
29	0	0.00%	Ok
30	0	0.00%	Ok
31	0	0.00%	Ok
32	0	0.00%	Ok
33	0	0.00%	Ok

<sup>71</sup> Fuente Propia<sup>72</sup> Fuente Propia



ARMONICA	No DE INTERVALOS EN FALTA	% DE INTERVALOS EN FALTA	CALIFICACION
34	0	0.00%	Ok
35	0	0.00%	Ok
36	0	0.00%	Ok
37	0	0.00%	Ok
38	0	0.00%	Ok
39	0	0.00%	Ok
40	0	0.00%	Ok
THD	0	0.00%	Ok

#### 4.6 Análisis de Armónicos de Corriente Según IEEE 519

Según el std. IEEE 519 para dicho análisis se debe utilizarse la máxima corriente de la carga y la corriente de corto circuito.

##### 4.6.1 Determinación de las Tolerancias

Según el estándar los valores de las armónicas de corriente deben estar limitados a los valores de distorsión según la relación de corrientes “Isc/IL”

Dónde:

Isc= Máxima corriente de cortocircuito en el PAC (Pto. Acoplamiento Común)

IL= Máxima corriente de carga (componente fundamental) en el PAC

De los registros obtenidos los valores de la corriente máxima en los alimentadores en 22.9kV y 50kV fueron los siguientes:

Cuadro 4.9: Valores de Corriente Máxima en 22.9 y 50 KV<sup>73</sup>

	Animón 22.9kV				Animón 50kV	
	Esperanza	Montenegro	Planta	Hidros	Shelby	Baños
I <sub>Lmax</sub> (A)	241	95	140	122	116	62

<sup>73</sup> Fuente Propia

Los valores de las corrientes de corto circuito para condiciones de avenida y estiaje fueron determinados utilizando el modelo eléctrico del SEIN del software Digsilent. Dichos resultados gráficos se encuentran en el Anexo C.

Los valores obtenidos son los siguientes:

Cuadro 4.10: Valores de Corrientes de Corto Circuito<sup>74</sup>

Ítem	ISC(kA)	Condición	Animón 22.9kV	Animón 50kV
1	$I_{sc}(kA)$	Avenida	2.16	1.49
2	$I_{sc}(kA)$	Estiaje	2.12	1.46

La siguiente tabla presenta la relación entre la corriente de corto circuito y la corriente de la carga " $I_{sc}/I_L$ ":

Cuadro 4.11: Relación de Corriente de Corto Circuito/Corriente Carga<sup>75</sup>

Ítem	ISC/ $I_L$	Condición	Animón 22.9kV				Animón 50kV	
			Esperanza	Montenegro	Planta	Hidros	Shelby	Baños
1	ISC/ $I_L$	Avenida	8.96	22.74	15.43	17.70	12.84	24.03
2	ISC/ $I_L$	Estiaje	8.80	22.32	15.14	17.38	12.59	23.55

Con dichos valores se obtendrán las tolerancias para las armónicas de corriente según el siguiente cuadro:

Cuadro 4.12: Tolerancias para Armónicas de Corriente<sup>76</sup>

Límites de la Corriente de Distorsión para Sistemas con Tensiones Menores a 69kV						
$I_{sc}/I_L$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
$< 20^*$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

<sup>74</sup> Fuente Propia

<sup>75</sup> Fuente Propia

<sup>76</sup> Fuente Propia

#### 4.6.2 Evaluación de los indicadores de calidad

Con las tolerancias de cada armónica determinada, se determinó que no existen intervalos que exceden las tolerancias. Los resultados son los siguientes:

Cuadro 4.13: Evaluación intervalos que excedieron la tolerancia<sup>77</sup>

Ítem	h	Animón 50KV			
		Baños		Shelby	
		Cantidad de Intervalos que excedieron la tolerancia	Intervalos en falta (%)	Cantidad de Intervalos que excedieron la tolerancia	Intervalos en falta (%)
1	2	1	0.0%	0	0.0%
2	3	3	0.1%	0	0.0%
3	4	0	0.0%	0	0.0%
4	5	4	0.2%	1	0.0%
5	6	0	0.0%	0	0.0%
6	7	2	0.1%	0	0.0%
7	8	0	0.0%	0	0.0%
8	9	0	0.0%	0	0.0%
9	10	0	0.0%	0	0.0%
10	11	3	0.1%	0	0.0%
11	12	0	0.0%	0	0.0%
12	13	2	0.1%	0	0.0%
13	TDD	1	0.0%	0	0.0%

<sup>77</sup> Fuente Propia

Cuadro 4.14: Revisión cantidad intervalos que exceden la tolerancia<sup>78</sup>

Ítem	h	Animón 22.9kV							
		Esperanza		Montenegro		Planta		Hidros	
		Cantidad de Intervalos que excedieron la tolerancia	Intervalos en falta (%)	Cantidad de Intervalos que excedieron la tolerancia	Intervalos en falta (%)	Cantidad de Intervalos que excedieron la tolerancia	Intervalos en falta (%)	Cantidad de Intervalos que excedieron la tolerancia	Intervalos en falta (%)
1	2	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
2	3	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
3	4	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
4	5	2	0.1%	0	0.0%	0	0.0%	6	0.3%
5	6	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
6	7	0	0.0%	0	0.0%	3	0.1%	0	0.0%
7	8	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
8	9	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
9	10	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
10	11	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1	0.0%
11	12	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
12	13	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%
13	TDD	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%

Cuadro 4.15. Valores para TDD <sup>79</sup>

Ítem	Alimentador	Valor	Fase A	Fase B	Fase C	Tolerancia
1	Esperanza	Máximo	1.8%	2.1%	1.9%	5.0%
		Promedio	0.4%	0.4%	0.4%	5.0%
		Mínimo	0.1%	0.1%	0.2%	5.0%
2	Montenegro	Máximo	1.1%	1.2%	0.9%	8.0%
		Promedio	0.5%	0.5%	0.4%	8.0%
		Mínimo	0.1%	0.2%	0.1%	8.0%
3	Planta	Máximo	2.2%	2.3%	2.3%	5.0%
		Promedio	1.4%	1.4%	1.4%	5.0%
		Mínimo	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%

Cuadro 4.16. Valores para los alimentadores<sup>80</sup>

Ítem	Alimentador	Valor	Fase A	Fase B	Fase C	Tolerancia
1	Shelby	Máximo	2.6%	2.2%	2.3%	5.0%
		Promedio	0.9%	0.9%	0.9%	5.0%
		Mínimo	0.5%	0.6%	0.5%	5.0%
2	Hidroeléctricas	Máximo	0.7%	0.6%	0.8%	5.0%
		Promedio	0.3%	0.3%	0.4%	5.0%
		Mínimo	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%
3	Baños	Máximo	10.1%	5.6%	5.0%	8.0%
		Promedio	0.5%	0.5%	0.5%	8.0%
		Mínimo	0.3%	0.3%	0.3%	8.0%

<sup>78</sup> Fuente Propia<sup>79</sup> Fuente Propia<sup>80</sup> Fuente Propia

En los siguientes gráficos se muestran los espectros de tensión y corriente en los puntos eléctricos medidos.

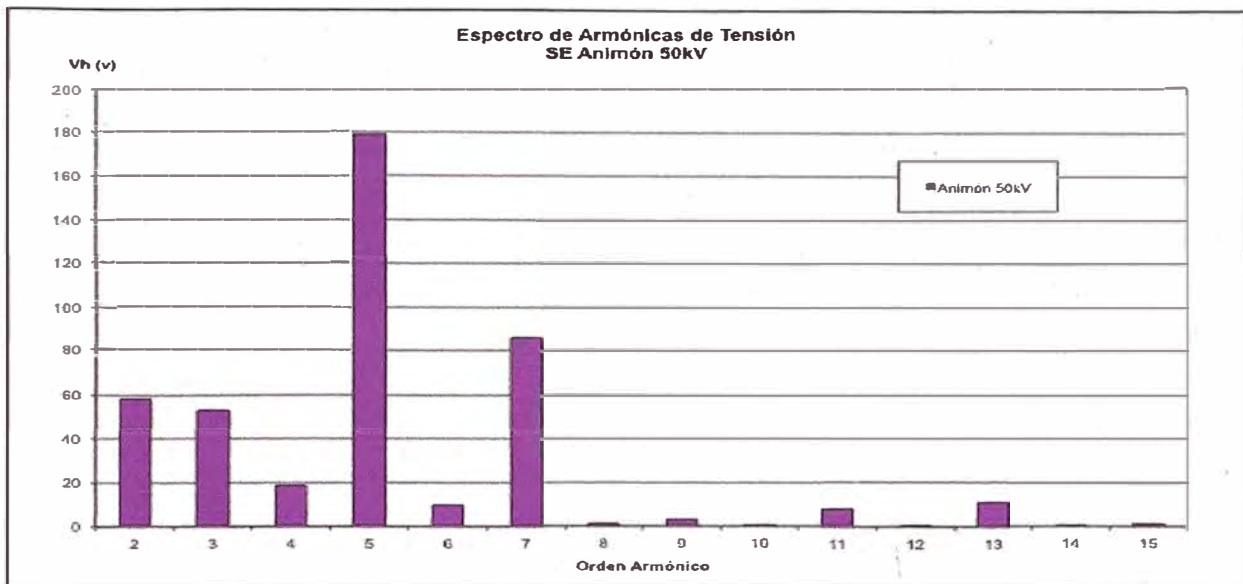


Gráfico 4.9 Espectro de tensión 50kV<sup>81</sup>

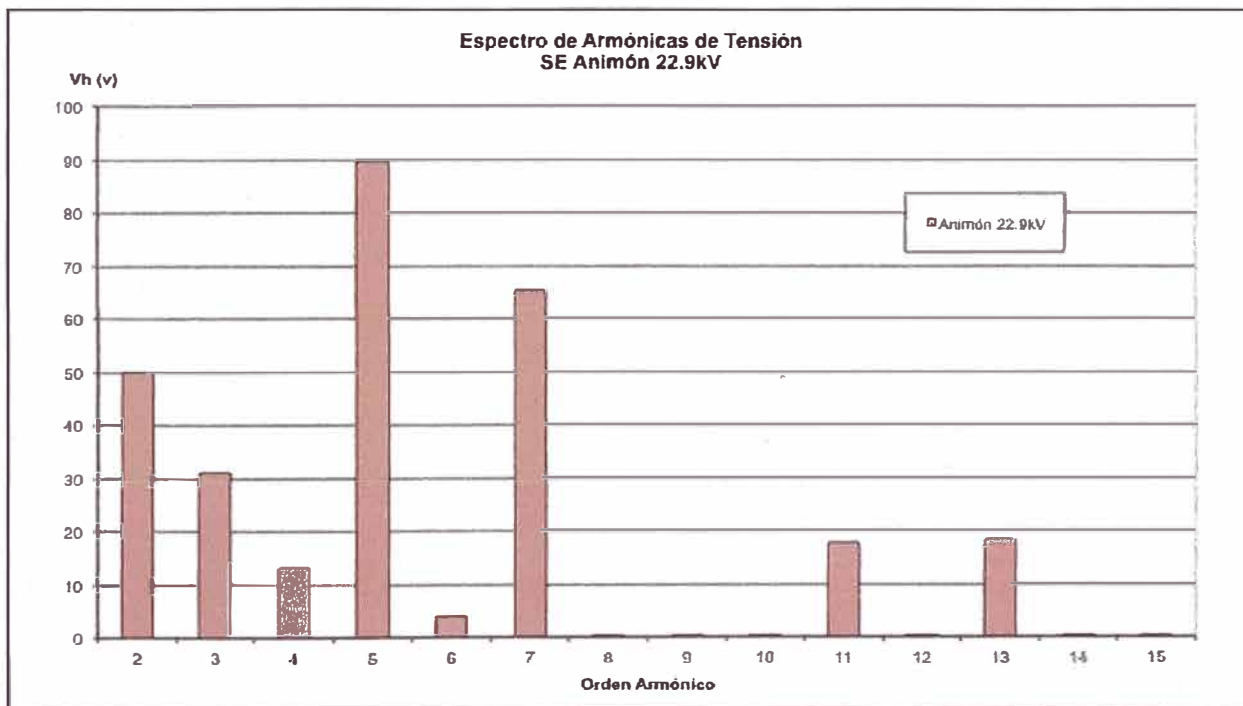


Gráfico 4.10 Espectro de tensión 22.9kV<sup>82</sup>

<sup>81</sup> Fuente Propia

<sup>82</sup> Fuente Propia

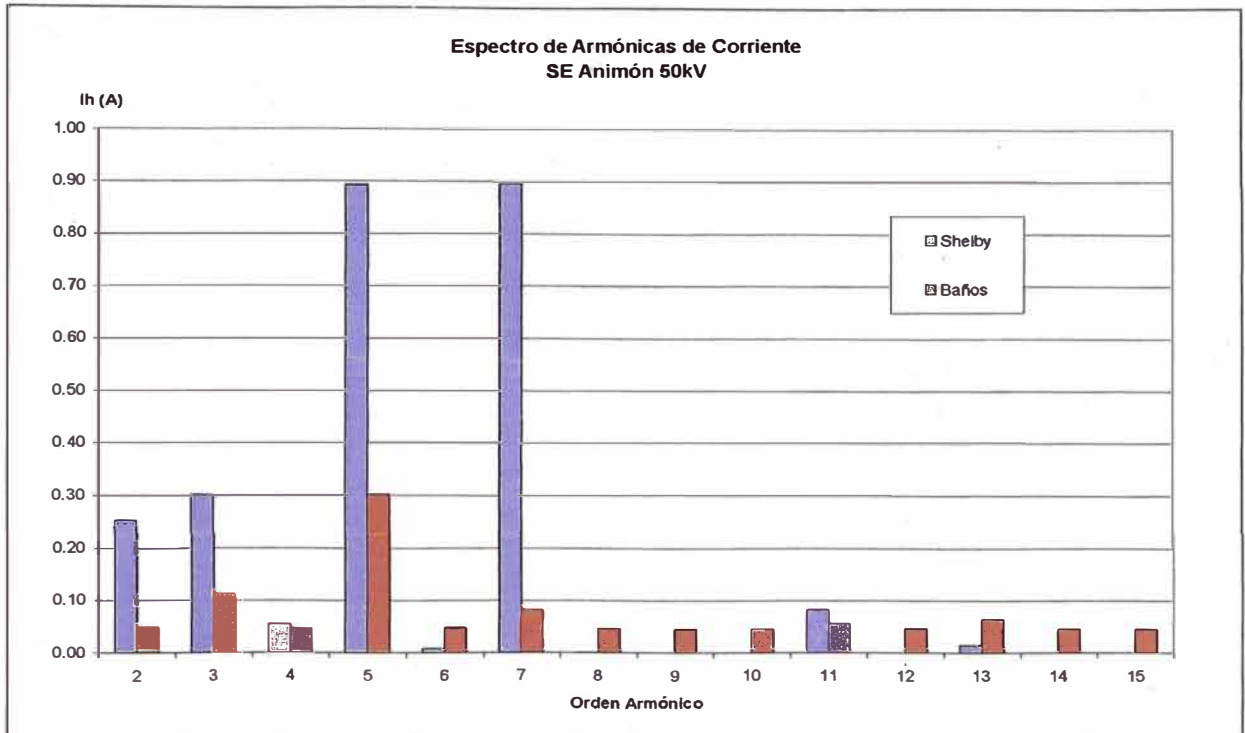


Gráfico 4.11 Espectro de corriente 50kV<sup>83</sup>

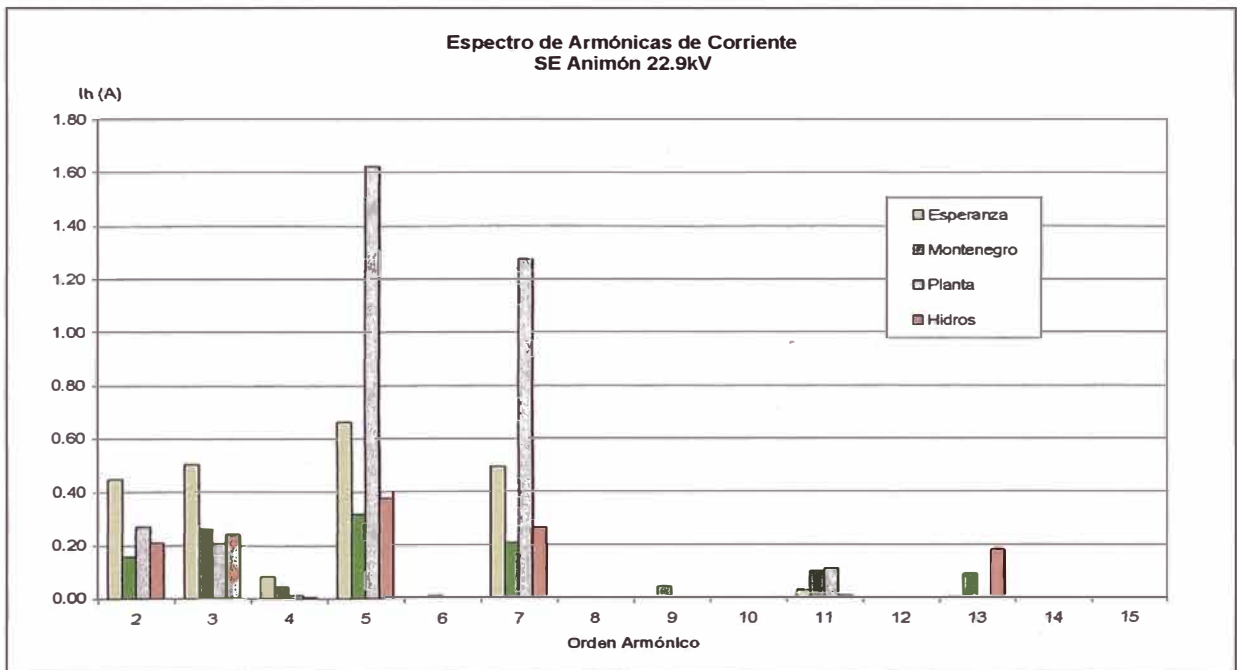


Gráfico 4.12 Espectro de corriente 22.9kV<sup>84</sup>

<sup>83</sup> Fuente Propia

<sup>84</sup> Fuente Propia

4.7 Análisis de Armónicos

4.7.1 Análisis de la 5ta Armónica

En el gráfico 4.13, se muestra la dispersión de la 5ta armónica de corriente en los niveles de 50kV y 22.9kV.

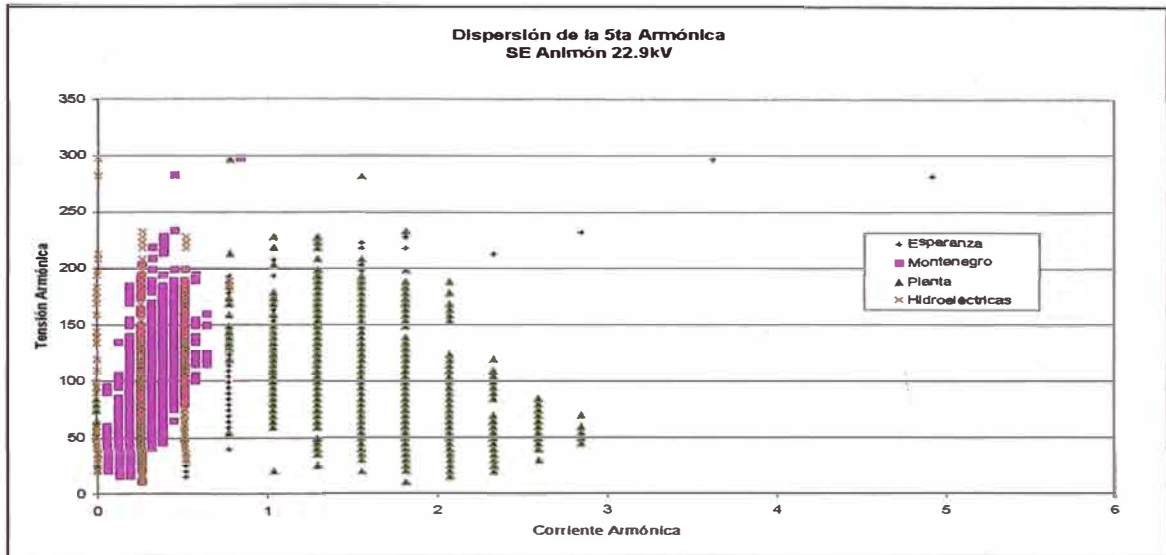


Gráfico 4.13 Dispersión 5ta armónica 22.9kV<sup>85</sup>

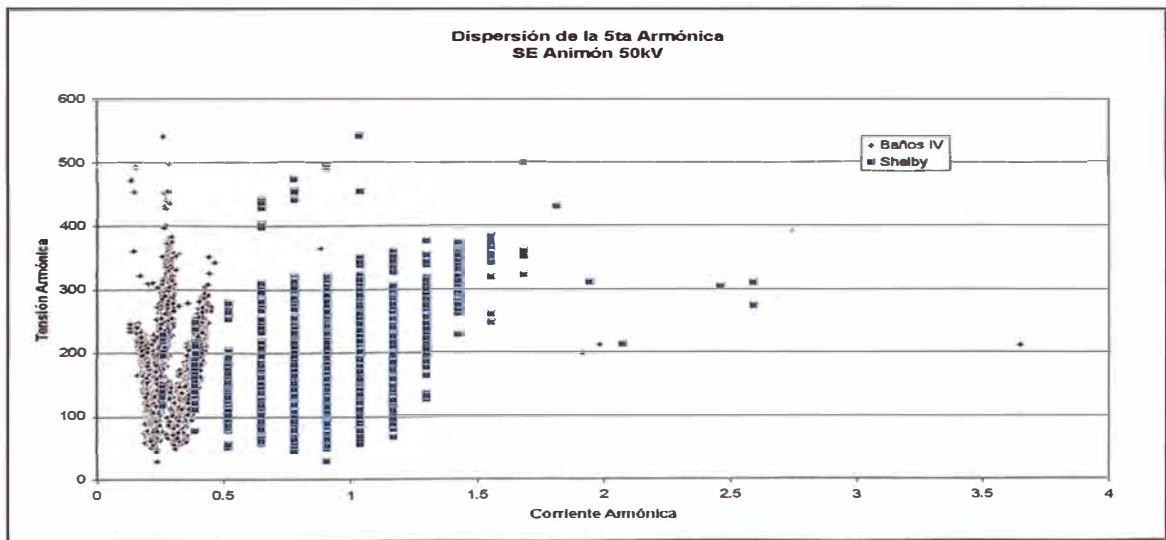


Gráfico 4.14 Dispersión 5ta armónica 50kV<sup>86</sup>

<sup>85</sup> Fuente Propia

<sup>86</sup> Fuente Propia

Montenegro y Shelby tiene una tendencia lineal con una pendiente cercana a 90°; por tal, se podría afirmar que la poca corriente de 5ta armónica fluye a través de dichos alimentadores.

#### 4.7.2 Análisis de la 7ma Armónica

En el gráfico 4.15, se muestra la dispersión de la 7ma armónica de corriente en los niveles de 50kV y 22.9kV.

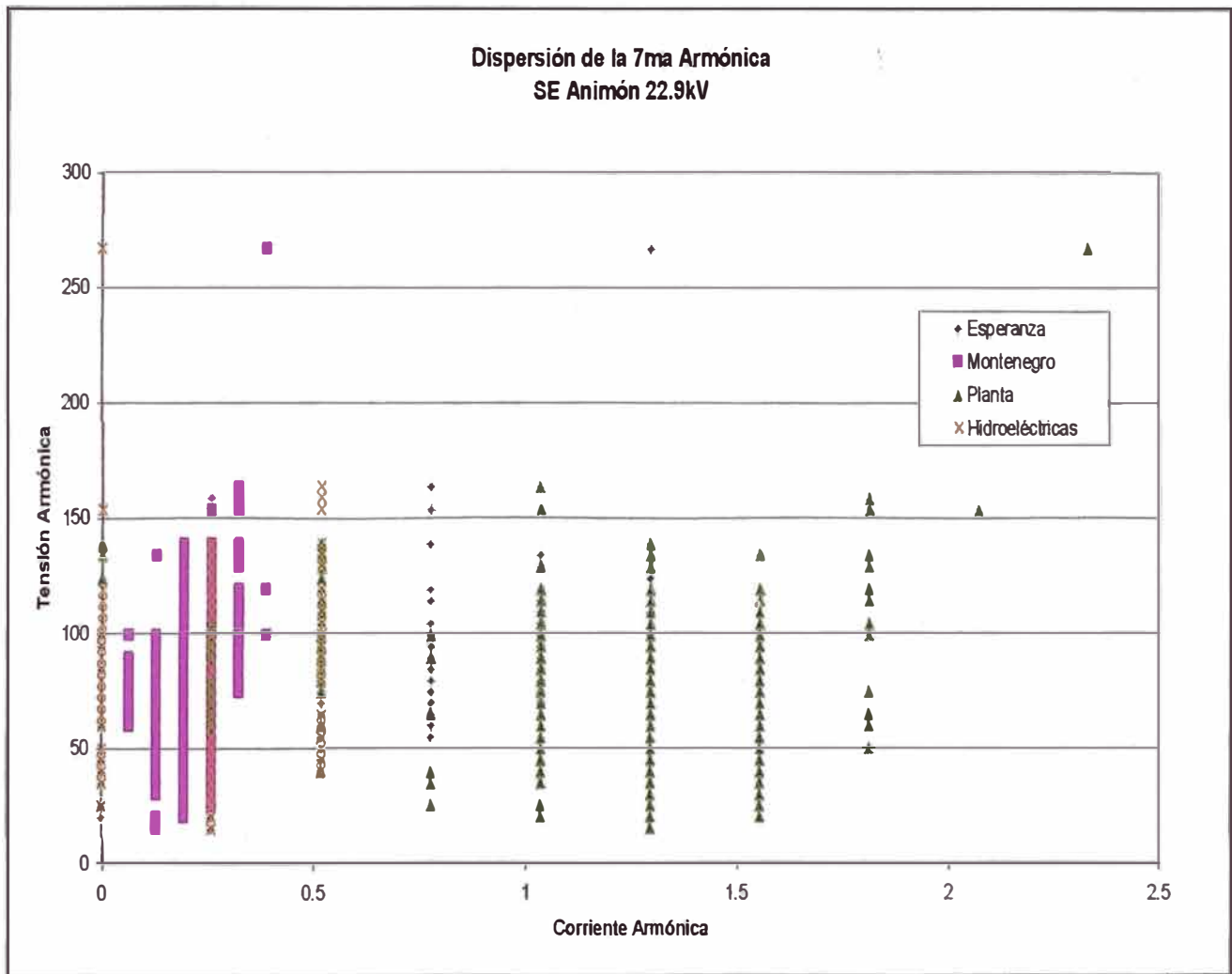


Gráfico 4.15 Dispersión 7ma armónica 22.9kV<sup>87</sup>

<sup>87</sup> Fuente Propia



## CAPÍTULO 5 SELECCIÓN DE LA COMPENSACIÓN REACTIVA

### 5.1 Costo Adicional de Operación

De acuerdo a lo encontrado en el estudio, se tiene una relación de 142 % de la Energía Reactiva con respecto a la Energía Activa, lo cual a la Mina Animón le implica incurrir en sobrecostos.

Según el contrato, entre Electroperù S.A. y Volcan, este último deberá pagar el exceso de consumo de energía reactiva cuando ésta sea superior al 29.2% del consumo de energía activa o lo que es lo mismo cuando el factor de potencia sea menor a 0.95, lo cual equivale a que Volcan tenga que pagar 30,640 US\$ mensuales o 367,682 US\$ por año, ver el cuadro N° 5.6:

Cuadro 5.6: Pago por exceso de consumo de energía reactiva mensual.<sup>89</sup>

Hora	Activa kW.h	Reactiva kVAR.h	Porcentaje Respecto a la Energía Activa
EHP	371 434	558 398	25%
EHFP	1 882 995	2 653 245	118%
E Total	2 254 429	3 211 643	142%

<b>Exceso MVAR.h</b>	<b>2 553</b>
<b>Costo Medio US\$/MVAR.h</b>	<b>12</b>
<b>Costo US\$ - mes</b>	<b>30 640</b>
<b>Costo US\$ - año</b>	<b>367 682</b>

El cálculo es el siguiente:

Exceso de Potencia Reactiva:

$$3.211.623 - 2.254.429 \times 0.292 = 2.553.349 \text{ KVAR-h}$$

---

<sup>89</sup> Fuente Propia

## 5.2 Comportamiento de la Potencia Reactiva

En el cuadro N° 5.7, se muestran los consumos de potencia activa y reactiva de los tres alimentadores principales de la Unidad Animón.

Cuadro 5.7 Requerimiento de energía de Alimentadores de Animón<sup>90</sup>

Ítem	Alimentador	P(kW)	Q (kVAR)	Factor de Potencia
1	Esperanza	7 038	3 698	0.89
2	Montenegro	2 204	1 092	0.90
3	Planta	4 138	2 119	0.89
4	Total	13 380	6 908	0.89

Según el cuadro N° 5.7, la mina Esperanza es que toma el mayor requerimiento de potencia reactiva.

Según el comportamiento de la potencia reactiva (ver siguientes gráficos), existe un porcentaje que es variable en los tres alimentadores. Para el caso de Esperanza (Grafico 5.1), se observa que dichas cargas consumen 2 700 KVAR fijos o constantes, mientras que para Montenegro 501 KVAR (Grafico 5.2) y la Planta 1 730 KVAR (Grafico 5.3), se resume en el cuadro 5.8:

Cuadro 5.8 Potencia Reactiva Fija y Variable<sup>91</sup>

Ítem	Alimentador	Fijo	Variable
		KVAR	KVAR
1	Esperanza	2 700	1 683
2	Montenegro	501	1 109
3	Planta	1 730	680
	Total	4 931	3 472

El comportamiento de la potencia reactiva también puede ser observado en los gráficos N°s 5.1, 5.2 y 5.3.

<sup>90</sup> Fuente Propia

<sup>91</sup> Fuente Propia

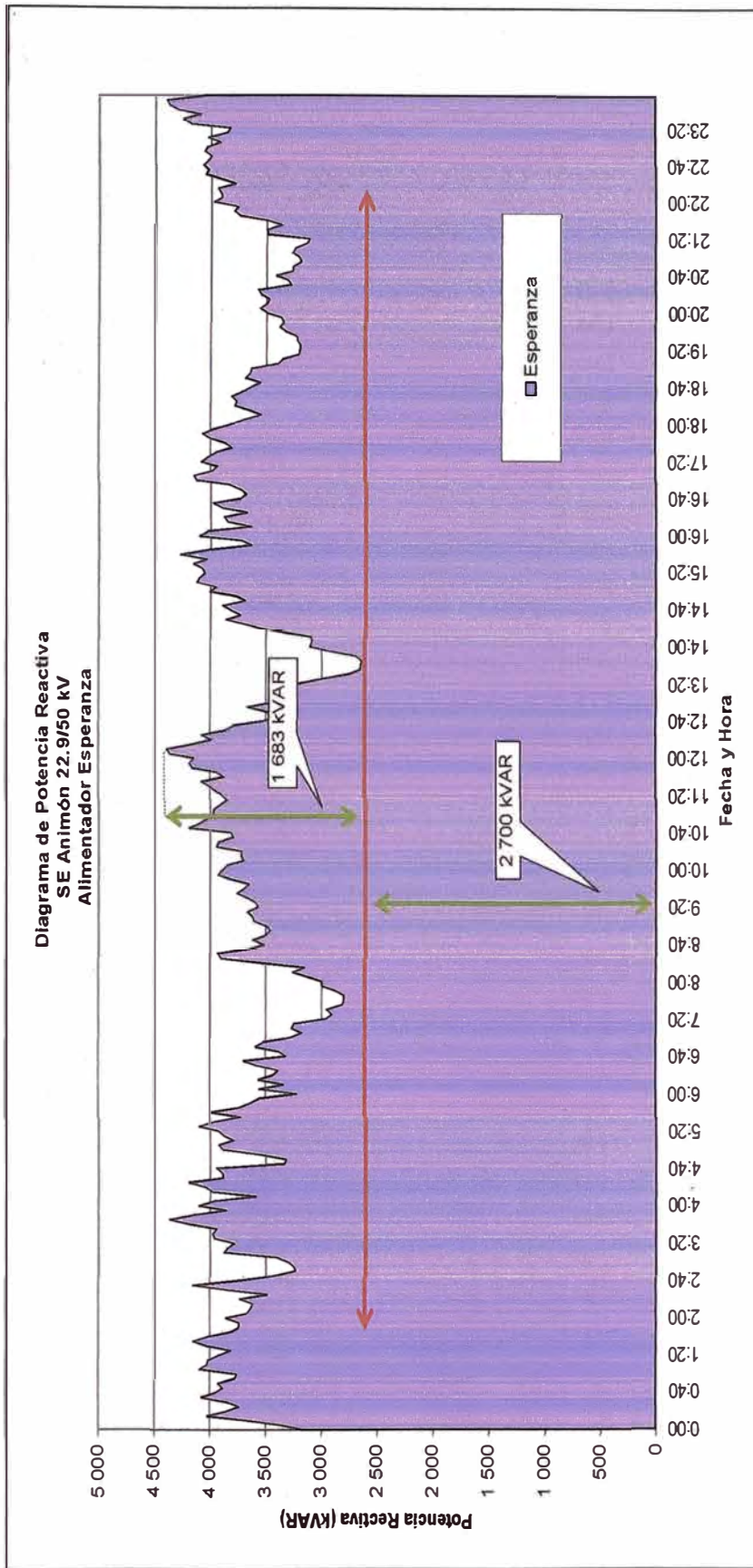


Gráfico 5.1 Potencia Reactiva – Mina Esperanza<sup>92</sup>

<sup>92</sup> Fuente Propia

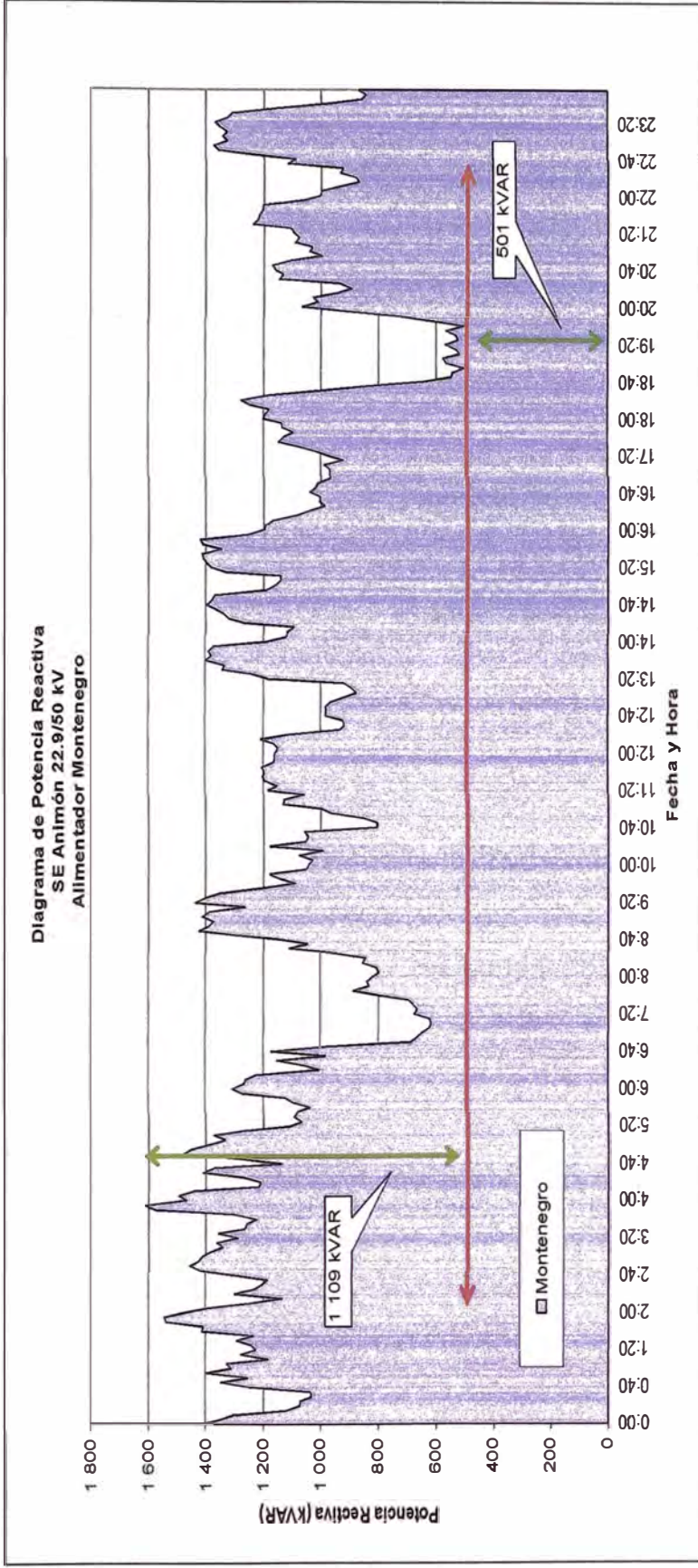


Gráfico 5.2 Potencia Reactiva – Montenegro<sup>93</sup>

<sup>93</sup> Fuente Propia

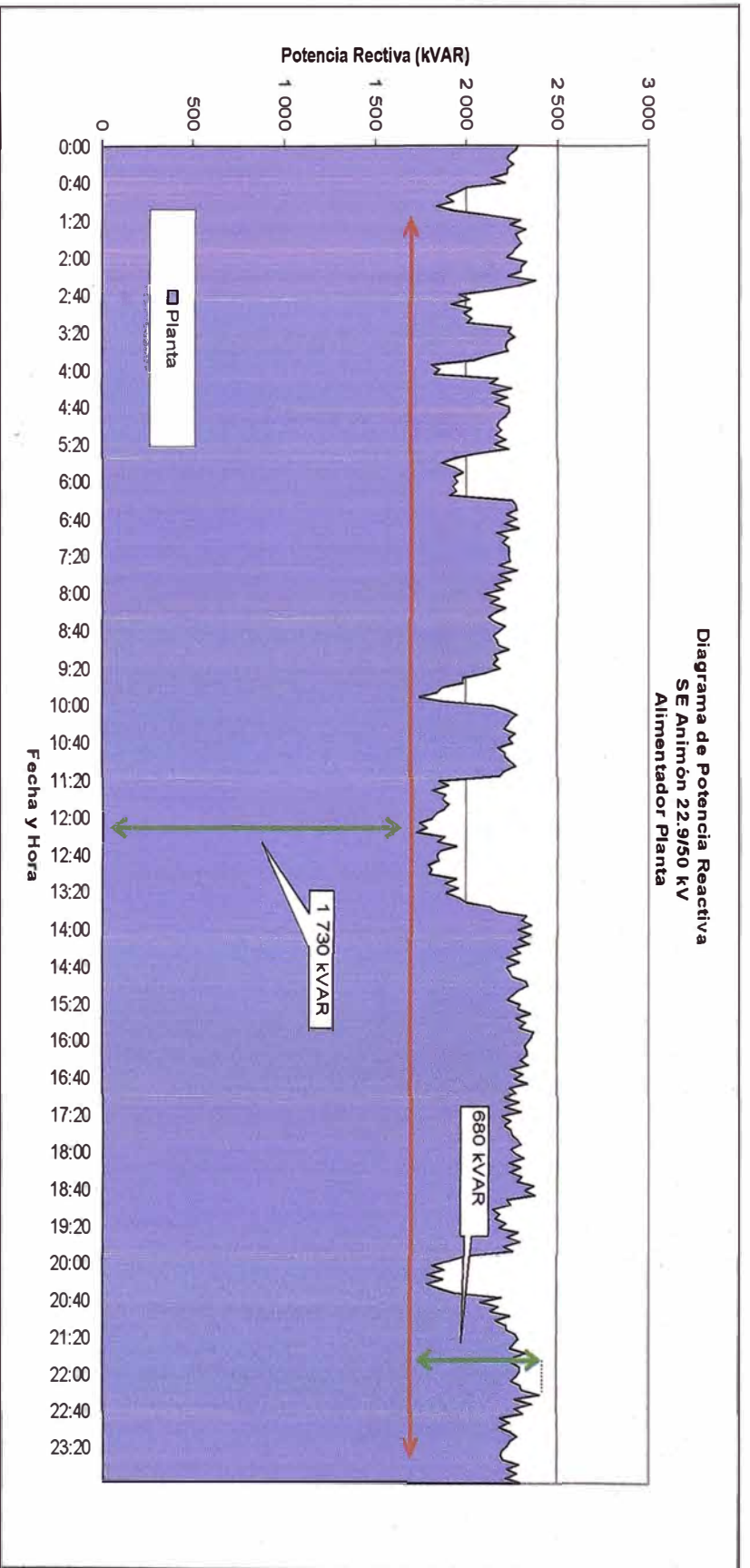


Gráfico 5.3 Potencia Reactiva – Planta Concentradora<sup>94</sup>

<sup>94</sup> Fuente Propia

### 5.3 Análisis inicial de compensación

Si consideramos como objetivo compensar la barra de Animón 22.9 kV y teniendo como factor de potencia objetivo 0.965, se tendrían que compensar 3 272 KVAR en dicha barra, ver el cuadro 5.9:

Cuadro 5.9: Análisis inicial de Compensación en la barra de Animón<sup>95</sup>

	Potencia Activa (KW)	Potencia Reactiva (KVAR)	Factor de Potencia		Potencia Reactiva Objetivo (KVAR)	Potencia Reactiva Condensador (KVAR)
			Actual	Objetivo		
<b>Total</b>	13 380	6 908	0.889	0.965	3 636	3 272

Los cálculos realizados ver en el Anexo J.

La distribución de los 3 272 KVAR sería dividido en función al factor de potencia de cada alimentador, según el cuadro 5.10:

Cuadro 5.10: Compensación inicial<sup>96</sup>

Ítem	Alimentador	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAR)	Factor de Potencia		Potencia Reactiva Condensador (KVAR)
				Actual	Objetivo	
1	Esperanza	7 038	3 698	0.885	0.965	1 785
2	Montenegro	2 204	1 092	0.896	0.965	493
3	Planta	4 138	2 119	0.890	0.965	994
4	Potencia Reactiva Total a Compensar (kVAR)					3 272

Los cálculos realizados ver en el Anexo I, figura I-1.

Esta potencia fue el punto de partida para iniciar el diseño de compensación, dado que el sistema de compensación podría ser del tipo fijo o automático.

<sup>95</sup> Fuente Propia, los cálculos ver en Anexo I

<sup>96</sup> Fuente Propia

#### 5.4 Planteamiento de alternativas

Si bien es cierto, Compensar en forma Centralizada en 22.9kV anulaba el bajo factor de potencia en Animón, no se descartó la segunda opción de compensar directamente en la carga (Compensación Distribuida) en baja tensión de 460 VAC, ya que dicha opción es más eficiente debido a que alivia la toma de carga de los equipos eléctricos y reduce el nivel de pérdidas. En este sentido, se propusieron las dos alternativas de compensación con sus respectivas ofertas económicas a la Gerencia de Operaciones, la cual de acuerdo a la situación real dada por la caída de precios de los minerales a fines del 2013, aprobó la segunda opción.

##### 5.4.1 Compensación Centralizada en 22.9 KV

La compensación centralizada consiste en instalar dos bancos de condensadores en 22.9kV, uno de ellos se conectará a la barra Esperanza y el otro, a Montenegro.

Dado que, los consumos en ambos alimentadores tienen una parte fija y otra variable, se simuló la compensación con la totalidad de condensadores fijos en 22.9kV. Cabe mencionar que los condensadores deberán tener controladores de factor de potencia para evitar variaciones en la tensión en 22.9kV.

Las potencias iniciales de los condensadores fijos se indican:

Cuadro 5.11: Compensación en 22.9 KV<sup>97</sup>

Ítem	Alimentador	Potencia Inicial (kVAR)	Tensión (kV)
1	Esperanza	2 700	22.9
2	Planta	1 730	22.9

<sup>97</sup> Fuente Propia

La ubicación de estos condensadores planteados, es mostrada en los planos N° 8, del Anexo D, ver condensadores de código CA17 y CA18.

#### 5.4.1.1 Análisis de Resonancia

El análisis de resonancia implica conocer el comportamiento de la impedancia, en la barra a conectar el condensador, que en este caso es la barra Animón 22.9kV. El comportamiento de la impedancia está dado por la variación de frecuencia de los componentes inductivos y capacitivos existentes en la red Animón.

Este análisis fue necesario, dado que, al tener una frecuencia de resonancia dentro de la banda de una frecuencia armónica representativa (como es la de orden 5 o 7) se podría originar que el condensador consuma una gran corriente y afecte a las cargas vecinas o en algunos casos, origina la destrucción propia del condensador.

Para obtener el Scan de Frecuencia se modeló la red eléctrica (incluyendo el SEIN) en el software Power Factory.

Los casos a analizados fueron los siguientes:

#### 5.4.1.2 Caso Inicial

Caso que representa la condición existente, es decir, sin bancos de condensadores con 2 transformadores de 6MVA cada uno.

#### 5.4.1.3 Caso con Condensadores sin Filtro de Armónicas

Caso que representa la operación de bancos de condensadores sin ningún tipo de filtro de armónicas. Este caso de análisis sirve para descartar el uso de filtros de armónicas.



#### 5.4.1.4 Caso con Condensadores con Filtros de Armónicas

Representa la operación de bancos de condensadores con filtros de armónicas. Anexo D Plano N°8.

#### 5.4.1.5 Caso Inicial

El resultado del Scan de Frecuencia indica que el sistema resuena a la armónica 9, ver gráficos N°s 1 y 2 del Anexo G.

Esta frecuencia de resonancia es originada por los condensadores existentes de 3x600KVAR en 22.9kV.

#### 5.4.1.6 Caso con Condensadores sin Filtro de Armónicas

Se están considerando los condensadores propuestos en el cuadro 5.11.

La resultada del Scan de Frecuencia indica que el sistema de compensación resonaría con el sistema eléctrico en la banda de la 5ta armónica, esto se puede apreciar en los gráficos del Anexo G N°s 3 y 4.

Este resultado confirmaría que está un alto riesgo de que los bancos puedan tener problemas de operación por amplificación de la 5ta armónica.

#### 5.4.1.7 Caso con Condensadores con Filtro de Armónicas

A pesar de que en la red de 22.9kV, no existe mayor distorsión armónica (THDv en promedio 1%) no sería necesario instalar filtros de armónicas. Dado que, se podría proteger al condensador elevando su tensión nominal; sin embargo, consideramos que deba tener un filtro de armónicas, ya que en un futuro cercano, los niveles de armónicos se podrían elevar por las propias cargas de Animón o por las cargas vecinas. En este, sentido los bancos de condensadores deberían tener un filtro sintonizado a la 5ta armónica.

También consideramos que el condensador deba tener dos taps para prever posibles resonancias a la frecuencia armónica 11 o 13, ya que según los resultados (ver gráficos G.7 y G.8) existe una resonancia en la banda de la armónica 11 y 13.

Asimismo, se observa en los mismos gráficos, que la impedancia de la 5ta armónica se reduce al mínimo; por tal, se evita cualquier riesgo de amplificación por dicha corriente armónica.

#### 5.4.1.8 Selección del Filtro de Armónicas

Para fijar la tensión del condensador que formará el filtro de armónicas, se han evaluado las tensiones de 22.9kV, 24kV y 27kV, de las cuales, es descartada la tensión de 22.9kV y 24kV debido a que para dichas tensiones, se obtenían corrientes RMS (en el condensador) iguales a la corriente nominal, lo cual no es conveniente.

La fijación de la tensión en 27kV, se encuentra documentada en los cuadros E.1, E.2 y E.3 del Anexo E.

Se realizaron simulaciones para la sintonización de la 5ta armónica (entre 4.5 y 5.5 pu) para verificar la operación del condensador y el nivel de distorsión de la red. Los resultados indican que el filtro de armónicas no afectará los niveles de distorsión existentes y cumplirá con la Norma Técnica de Calidad de Los Servicios Eléctricos y el IEEE 519, ver resultados en los cuadros E.4, E.5, E.6 y E.7 del Anexo E.

El análisis de operación de los filtros es presentado en el Anexo F.

Las características técnicas de los filtros de armónicas son las que se muestran en el cuadro 5.12:

**Cuadro 5.12: Filtro de Armónicas – Planta<sup>98</sup>**

Potencia Nominal	2.5 MVAR
Tensión Nominal	27 kV
Pasos	1
Potencia de cada Paso	2.5 MVAR

**Inductor Tap 1**

Inductancia	33.57	mH
Corriente Nominal	70	A
Factor de Calidad	Mayor a 80	
Frecuencia Sintonizada	4.8	Pu
	288	Hz

**Inductor Tap 2**

Inductancia	6.63	mH
Corriente Nominal	70	A
Factor de Calidad	Mayor a 80	
Frecuencia Sintonizada	10.8	Pu
	648	Hz

**Cuadro 5.13: Filtro de Armónicas – Esperanza<sup>99</sup>**  
(Ver Condensador CA 14 del plano N° 2 y N° 8)**Condensador**

Potencia Nominal	3.75 MVAR
Tensión Nominal	27 kV
Pasos	1
Potencia de cada Paso	3.75 MVAR

**Inductor Tap 1**

Inductancia	22.36	mH
Corriente Nominal	100	A
Factor de Calidad	Mayor a 80	
Frecuencia Sintonizada	4.8	Pu
	288	Hz

**Inductor Tap 2**

Inductancia	4.42	mH
Corriente Nominal	100	A
Factor de Calidad	Mayor a 80	
Frecuencia Sintonizada	10.8	Pu
	648	Hz

La ubicación de dichos filtros se muestra en el Plano N° 8 del Anexo D.

<sup>98</sup> Fuente Propia

<sup>99</sup> Fuente Propia

### 5.4.2 Compensación distribuida

Al igual que en 22.9kV se ha realizado una distribución de la compensación en función al f de p de cada carga, se muestra en el Cuadro N° 5.14:

Cuadro 5.14 Compensación en Circuitos Operativos<sup>100</sup>

Ítem	Subestación	Alimentador	Potencia Activa (kW)	Potencia Reactiva (kVAR)	Factor de Potencia		Potencia Reactiva Objetivo (KVAR)	Potencia Reactiva a Compensar (KVAR)
					Actual	Objetivo		
1	Esperanza	Compresora N° 8	281	153	0.88	0.98	57	96
		Compresora N° 13	259	147	0.87	0.98	53	94
		NV 465-310	1 127	605	0.88	0.98	229	376
		SE N° 15	705	329	0.91	0.98	143	186
		SE N° 16	1 304	313	0.97	0.98	265	0
		SE N° 18	1 273	553	0.92	0.98	258	295
<b>Total Esperanza</b>								<b>1 047</b>
2	Montenegro	SE N° 15-20	775	432	0.87	0.98	157	275
		SE N° 17	752	317	0.92	0.98	153	164
		<b>Total Montenegro</b>						
3	Planta	T-055 (SE Cono Profundo)	275	166	0.86	0.98	56	110
		T-059 (SE N1-P Chancado)	49	71	0.57	0.98	10	61
		T-060 (SE N1-P Chancado)	281	259	0.74	0.98	57	202
		T-061 (SE N2-P Flotación)	917	497	0.88	0.98	186	311
		T-062 (SE N2-P Flotación)	907	826	0.74	0.98	184	642
		T-063 (SEN2-P Flotación)	1 146	592	0.89	0.98	233	360
<b>Total Planta</b>								<b>1686</b>
<b>Total</b>								<b>3 172</b>

Para completar la compensación restante, se consideraron las cargas de Esperanza según el cuadro N° 5.15:

Cuadro 5.15 Compensación en interior Mina<sup>101</sup>

Subestación	Transformador	Potencia (MVA)	Cos $\Phi$ Real	Cos $\Phi$ Objetivo	Potencia a Compensar (MVAR)
Esperanza	T-01	2.00	0.89	0.97	500
	T-03	2.00	0.89	0.97	500
	T-02	1.25	0.89	0.97	300
	T-87	1.00	0.89	0.97	200
<b>Total</b>					<b>1 500</b>

Los transformadores están ubicados en el Plano N° 3 del Anexo D.

<sup>100</sup> Fuente Propia

<sup>101</sup> Fuente Propia

Cuadro 5.16: Compensación Distribuida por circuitos<sup>102</sup>

	Alimentador	Cargas	Potencia Requerida (kVAR)	Nivel de Tensión de Operación (kV)	Potencia Nominal (KVAR)	Nivel de Tensión Nominal (kV)	Nº de Pasos	Potencia Nominal por Paso (kVAR)	Factor de Potencia		Condensador
									Actual	Objetivo	
1	Esperanza	Compresora N° 8 y N° 13	190	2.3	303	2.9	1	303	0.88	0.98	C-A1
		NV 465-310	376	4.16	440	4.5	3	147	0.88	0.98	C-A2
		SE N° 15	186	4.16	217	4.5	3	72	0.91	0.98	C-A3
		SE N° 18	295	4.16	345	4.5	2	172	0.92	0.98	C-A4
		Transformador T-01	500	0.48	587	0.52	12	49	0.89	0.98	C-A5
		Transformador T-03	500	4.16	585	4.5	6	98	0.89	0.98	C-A6
		Transformador T-02	300	4.16	351	4.5	2	176	0.89	0.98	C-A7
		Transformador T-87	200	0.46	256	0.52	5	51	0.89	0.98	C-A8
2	Montenegro	SE N° 15-20	300	4.16	351	4.5	2	176	0.87	0.98	C-A9
		SE N° 17	160	4.16	187	4.5	1	187	0.92	0.98	C-A10
3	Planta	T-055 (SE Cono Profundo)	110	0.46	140	0.52	2	70	0.86	0.98	C-A11
		T-059 (SE N1-P Chancado)	61	4.16	71	4.5	1	71	0.57	0.98	C-A12
		T-060 (SE N1-P Chancado)	202	0.46	258	0.52	4	65	0.74	0.98	C-A13
		T-061 (SE N2-P Flotación)	311	0.46	398	0.52	6	66	0.88	0.98	C-A14
		T-062 (SE N2-P Flotación)	642	0.46	821	0.52	8	103	0.74	0.98	C-A15
		T-063 (SEN2-P Flotación)	360	0.48	422	0.52	6	70	0.89	0.98	C-A16
<b>Total (KVAR)</b>			<b>4 693</b>		<b>5 732</b>						

<sup>102</sup> Fuente Propia

Se ha codificado los condensadores (ver plano N° 3 y N° 6 del Anexo G) según el cuadro 5.17:

Cuadro 5.17: Codificación de los bancos de condensadores<sup>103</sup>

Ítem	Condensador	Potencia (KVAR)	Número de Pasos	Potencia por Paso (KVAR)	Tensión Nominal (kV)	Plano de Referencia
1	C-A1	303	1	303	2.90	N° 003
2	C-A2	440	3	147	4.50	N° 003
3	C-A3	217	3	72	4.50	N° 003
4	C-A4	345	2	172	4.50	N° 003
5	C-A5	587	12	49	0.52	N° 003
6	C-A6	585	6	98	4.50	N° 003
7	C-A7	351	2	176	4.50	N° 003
8	C-A8	256	5	51	0.52	N° 003
9	C-A9	351	2	176	4.50	N° 009
10	C-A10	187	1	187	4.50	N° 009
11	C-A11	140	2	70	0.52	N° 006
12	C-A12	71	1	71	4.50	N° 006
13	C-A13	258	4	65	0.52	N° 006
14	C-A14	398	6	66	0.52	N° 006
15	C-A15	821	8	103	0.52	N° 006
16	C-A16	422	6	70	0.52	N° 006
<b>Total (KVAR)</b>		<b>5 732</b>				

<sup>103</sup> Fuente Propia

## 5.6 Comparación técnica de los sistemas de compensación

Se ha realizado una comparación de las dos alternativas planteadas:

Cuadro 5.18: Comparación técnica de las alternativas de Compensación<sup>104</sup>

Alternativa de Compensación	Ventajas	Desventajas
Compensación Centralizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejor control del factor de potencia en los puntos de facturación de energía.</li> <li>▪ Con un regulador de factor de potencia se puede contralar la tensión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presenta sobretensiones.</li> <li>▪ Mayor costo de implementación.</li> <li>▪ Requiere de filtros de armónicas.</li> <li>▪ Se recomienda que sea de un solo paso.</li> <li>▪ Podría generar transitorios a la hora de conexión.</li> <li>▪ Requiere mayor espacio.</li> </ul>
Compensación Distribuida	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mejor eficiencia.</li> <li>▪ Reducción de pérdidas.</li> <li>▪ Menor costo de implementación.</li> <li>▪ El condensador puede ser fijo o automático.</li> <li>▪ No requiere mayor espacio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Por la ubicación en puntos distantes se puede perder el control de su operación y mantenimiento.</li> </ul>

---

<sup>104</sup> Fuente Propia

## CAPÍTULO 6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE BANCO DE CONDENSADORES DISTRIBUIDOS

### 6.1. Instalación Inicial de los Bancos de Condensadores

Se muestra en el cuadro N° 6.1.

Se tomó la decisión de compensar los 1,587 KVAR en el circuito Esperanza debido a que es el circuito con más alto consumo de reactivos del sistema eléctrico de Animón, en segundo lugar está el circuito de Montenegro debido a que por razones de producción se estaba convirtiendo en el segundo consumidor de energía reactiva.

Cuadro 6.1: BANCOS DE CONDENSADORES POR CIRCUITOS<sup>105</sup>

Circuito Operativo	Potencia Reactiva (KVAR)
Circuito Esperanza	1, 587 KVAR
Circuito Jacob Timmers	461 KVAR
Circuito Montenegro	512 KVAR
<b>TOTAL</b>	<b>2, 560 KVAR</b>

Se detalla la ubicación de los bancos distribuidos en los Circuitos Operativos de Esperanza, Jacob Timmers y Montenegro.

---

<sup>105</sup> Fuente Propia



## 6.2. Ubicación de los Bancos de Condensadores por Circuitos

Se escogió las Labores en Producción de los puntos más alejados de la mina.

Cuadro 6.2: Ubicación de los Bancos de Condensadores<sup>106</sup>

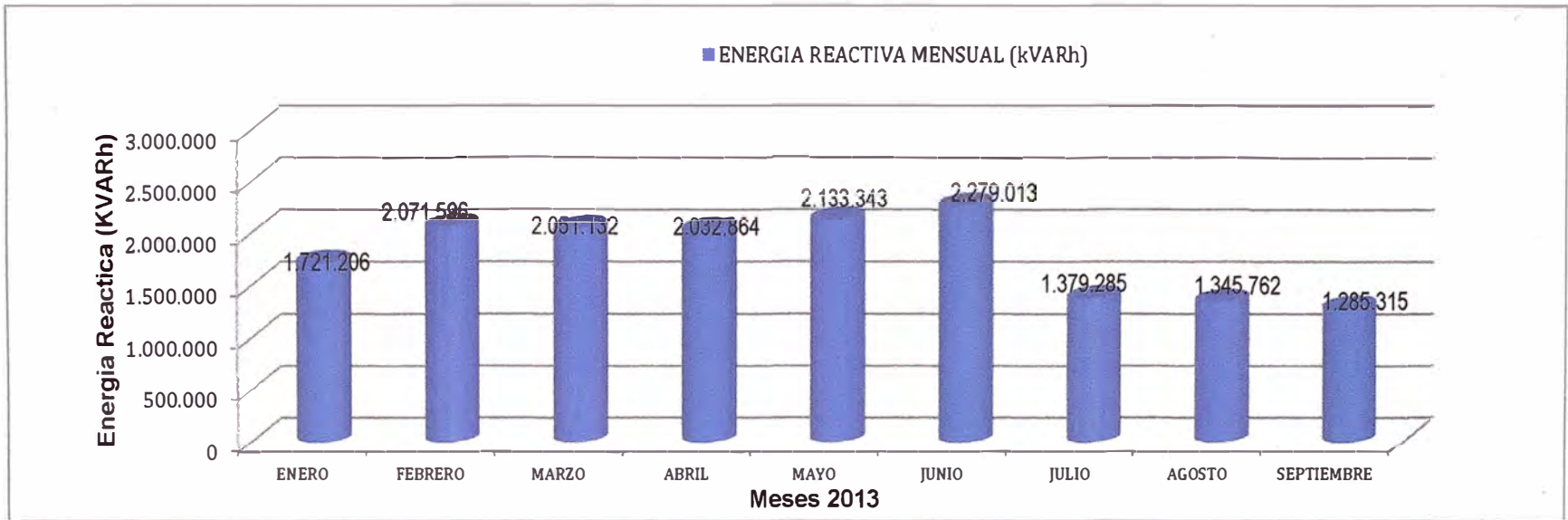
Ítem	CAPACIDAD (kVAR)	SUBESTACIÓN MINA	Descripción de cargas	Circuito
1	102 kVAR	SE 28 (630KVA)	Pique Jacob Timmers NV 121, para asegurar variación de tensión del sistema	Circuito Jacob Timmers
2	102 kVAR	SE 18	Operaciones Rp. Integración NV 150.	Circuito Esperanza
3	154 kVAR	SE 27	Operaciones Labores Xc600 NV 270, NV 225, NV 150 (Carmen)	Circuito Esperanza
4	154 kVAR	SE 26	Operaciones Labores Miro Vidal NV 150 María Rosa	Circuito Esperanza
5	154 kVAR	SE 23 (1000kVA)	Operaciones BP 150/BP 125 RME	Circuito Montenegro
6	205 kVAR	SE 15(1000kVA)	Bombeo estacionario cámara 19 (2 bombas de 150 HP c/u), operaciones Nv.175,145,Nv.80 profundización RME	Circuito Esperanza
7	205 kVAR	SE 22 (1000kVA)	Bombeo estacionario cámara 14 (6 bombas de 200 HP c/u)	Circuito Esperanza
8	205 kVAR	SE 9A (1000kVA)	Bombeo estacionario cámara NV 310 (tren de 3 bombas de 250 HP c/u)	Circuito Esperanza
9	256 kVAR	SE 21 (1000kVA)	Bombeo estacionario cámara 17 (tren de 3 bombas de 250 HP c/u)	Circuito Esperanza
10	307 kVAR	SE 30 (1000 KVA)	Bombeo estacionario cámara 23 (tren de 3 bombas de 250 HP c/u)	Circuito Esperanza
11	358 kVAR	SE 25 (100 KVA)	Operaciones BP 115/BP/BP 100 RME	Circuito Montenegro
12	358 kVAR	SE 28 (1000KVA)	Bombeo estacionario cámara 20 (tren de 4 bombas de 250 HP c/u)	Circuito Jacob Timmers
TOTAL	2560 kVAR			

## 6.3. Ubicación de los Bancos de Condensadores por Circuitos

Gráfico 6.1, variación energía año 2013, antes y después instalación.

---

<sup>106</sup> Fuente Propia



	Enero 2013	Febrero 2013	Marzo 2013	Abril 2013	Mayo 2013	Junio 2013	Julio 2013	Agosto 2013	Sept 2013
Real Animón	1,721,206.28	2,071,595.79	2,051,131.82	2,032,863.87	2,133,343.29	2,279,013.10	1,379,285.39	1,345,762.28	1,285,315.18
Línea Base	2,048,192.36	2,048,192.36	2,048,192.36	2,048,192.36	2,048,192.36	2,048,192.36	2,048,192.36	2,048,192.36	2,048,192.36
Ahorro energía							668,906.97	702,430.08	762,877.18
Beneficio US\$							2,374.62	2,493.63	2,708.21

Gráfico 6.1: Energía Reactiva Mensual \_ Año 2013<sup>107</sup>

<sup>107</sup> Fuente Propia

#### 6.4. Análisis Económico de la Instalación de los Bancos de Condensadores Distribuidos

##### Consideración de las Premisas

- 6.4.1. El período de análisis abarca desde el año 2013 hasta el año 2016, teniendo en cuenta que la instalación se dio a fines del año 2013.
- 6.4.2. La evaluación se realiza con precios del mercado.
- 6.4.3. La Inversión se divide en:
- 6.4.4. Adquisición de los Bancos Distribuidos por US \$ 200.886,00 por los primeros 2560 KVAR del total de 5732 KVAR
- 6.4.5. Accesorios para la instalación: US\$ 9.305,00
- 6.4.6. Obras Civiles: US\$ 35.000, para nueva infraestructura a necesitar en la instalación de los nuevos bancos restantes.
- 6.4.7. Mano de Obra: Para la instalación en forma escalable de los bancos, entre los años 2014 hasta el 2016.
- 6.4.8. En Operación cuando se instaló los 2.560 KVAR, se tienen los siguientes costos y beneficios:
- 6.4.9. Costo: Por el mantenimiento de los bancos de condensadores que incluye los pagos a técnicos electricistas por dos (02) veces al año, repuestos y otros servicios por un monto anual de US\$ 2.582,00.
- 6.4.10. Beneficio: Por no pago de energía reactiva US\$ 32,400.00 anuales, de acuerdo al gráfico 6.1 Energía Reactiva Mensual Año 2013
- 6.4.11. Beneficio: Por no pérdida de producción (70 Ton/mes) por caída de tensión en las zonas más alejadas de la mina.

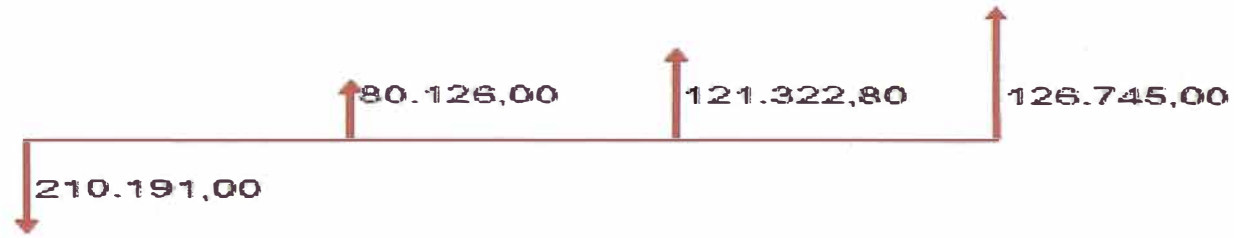
- 6.4.12. Resultados económicos: Actualizando al año 2013, con una tasa de interés anual del 12 %, se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de US\$ 48.282,00.
- 6.4.13. Tasa Interna de Retorno Económico (TIR), indica la máxima tasa que proporciona el proyecto considerando los beneficios iguales a los costos, se obtuvo un valor de 24 %.
- 6.4.14. La relación Beneficio / Costo en este proyecto es de 1.23, lo que indica que el Beneficio supera al Costo, lo que implica que el Proyecto es rentable, considerando que solo es la etapa inicial.
- 6.4.15. El tiempo de retorno a la inversión nos indica en el presente proyecto que será dentro de 03 años.

Cuadro N° 6.3: Análisis Económico para la Adquisición e Instalación de Banco de Condensadores Distribuidos<sup>108</sup>

	Moneda	2013	2014	2015	2016
<b>INVERSION (Adquisición de Bancos de 2,560 KVAR)</b>	US\$	(203.886,00)			
Costo instalación (Accesorios)	US\$	(3.305,00)			
Obras civiles	US\$		(35.000,00)		
Mano de obra	US\$		(15.492,00)	(9.295,20)	(3.873,00)
<b>Sub - Total: Instalación de Bancos Distribuidos</b>	US\$		<b>(50.492,00)</b>	<b>(9.295,20)</b>	<b>(3.873,00)</b>
<b>EN OPERACIÓN</b>					
Costos de operación y mantenimiento	US\$		(2.582,00)	(2.582,00)	(2.582,00)
No pago de energía reactiva	US\$		32.400,00	32.400,00	32.400,00
Margen de contribución	120	US\$/Ton			
Pérdida de Producción por caída de tensión	70	Ton/mes			
No paralización de producción por caída tensión		US\$	100.800,00	100.800,00	100.800,00
<b>Utilidad Operativa</b>	US\$		<b>130.618,00</b>	<b>130.618,00</b>	<b>130.618,00</b>
<b>FLUJO DE FONDOS</b>	US\$	<b>(210.191,00)</b>	<b>80.126,00</b>	<b>121.322,80</b>	<b>126.745,00</b>
	VAN @ 12 % (US\$)	48.292,45			
	TIR	24%		TEA	12%
	PAYBACK (Años)	3			
	B/C	1,23			
<b>PROYECTO: ADQUISICION DE BANCOS DE CONDENSADORES DISTRIBUIDOS PARA REDUCIR PERDIDAS</b>					

<sup>108</sup> Fuente Propia

**DIAGRAMA DE FLUJO DE FONDOS (US \$)**



<b>VAN @ 12 % (US\$)</b>	<b>48.282,45</b>
<b>TIR</b>	<b>23,94%</b>
<b>PAYBACK (Años)</b>	<b>3,0</b>
<b>B/C</b>	<b>1,23</b>

Gráfico 6.2: Diagrama de Flujo de Fondos<sup>109</sup>

---

<sup>109</sup> Fuente Propia

## CAPÍTULO 7 OPORTUNIDADES DE MEJORA, RECOMENDACIONES Y PLAN DE ACCIÓN

### 7.1 Matriz de Oportunidades de Mejora

Se presentan las recomendaciones asociadas para mejorar el performance del sistema eléctrico, las mismas están orientadas a permitir a la Compañía actuar sobre los riesgos identificados en el proceso y mejorar los controles ya existentes, se identificaron seis (06) observaciones u oportunidades de mejora. Para cada una se ha propuesto al menos una recomendación, así como lineamientos de acción generales para su implantación por parte de la Gerencia.

- El establecimiento de políticas y procedimientos formales para la adecuada gestión del Mantenimiento.
  
- Procurar los niveles de aprobación para la realización de estudios técnicos.
  
- Procurar la ejecución de controles orientados a mitigar los riesgos identificados.
  
- Se presenta la Matriz de Oportunidades de Mejora, en ella se ha incluido una columna con las posibles implicancias de no actuar sobre las identificadas. porque constituye un elemento de juicio adicional que ayudará a la Gerencia a tomar decisiones con respecto a las recomendaciones ofrecidas en este informe.

Cuadro 7.1: Matriz de Oportunidades de Mejora

MATRIZ DE OPORTUNIDADES DE MEJORA				
CÓDIGO	OPORTUNIDAD DE MEJORA / OBSERVACIÓN	RECOMENDACIÓN	CRITERIOS A CONSIDERAR PARA LA PUESTA EN PRÁCTICA DE LAS RECOMENDACIONES	POSIBLES IMPLICANCIAS DE NO ACTUAR SOBRE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA
OM-01	<p><b>Complementar estudios de Termografía con análisis de Tendencias</b></p> <p>No existe un informe de termografía (mantenimiento predictivo programado) realizado periódicamente a los equipos que conforman las instalaciones de 50kV.</p>	<p>Establecer procedimientos para la realización de estudios periódicos de Termografía en los equipos de alta tensión (22.9 y 50 KV).</p>	<p>El área de mantenimiento eléctrico debe programar los estudios de Termografía dentro de su plan de mantenimiento predictivo.</p>	<p>De No contar con un procedimiento para hacer seguimiento a los estudios de Termografía, se podría:</p> <p>Tener fallas en los equipos debido a puntos calientes.</p> <p>Sacar fuera de servicio los procesos que tengan equipos operando con temperaturas mayores a la temperatura nominal de operación.</p> <p>No tener un control de puntos calientes en las instalaciones.</p>
OM-02	<p><b>Complementar los Estudios de Protección</b></p> <p>Debido al crecimiento de las instalaciones se ha observado que no hay un estudio general de coordinación de protección.</p>	<p>Implementar un estudio de coordinación de la protección en el sistema eléctrico integral, el cual incluya las instalaciones en 50kV y en 22.9 kV.</p>	<p>Incluir el estudio dentro del presupuesto de inversión. Realizar un inventario de los tipos de equipos de protección existentes. Identificar los procesos que no tiene equipos de protección.</p>	<p>Se podría:</p> <p>Incurrir en mayor tiempo para la reposición del servicio eléctrico.</p> <p>Baja confiabilidad de planta.</p>



**MATRIZ DE OPORTUNIDADES DE MEJORA**

CÓDIGO	OPORTUNIDAD DE MEJORA / OBSERVACIÓN	RECOMENDACIÓN	CRITERIOS A CONSIDERAR PARA LA PUESTA EN PRÁCTICA DE LAS RECOMENDACIONES	POSIBLES IMPLICANCIAS DE NO ACTUAR SOBRE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA
OM-03	<p><b>Falta de componentes de reemplazo para los Bancos de Condensadores Existentes en 22.9kV</b></p> <p>No existen en stock componentes de reemplazo.</p>	<p>Tener en stock, en el almacén, un componente de 200KVAR como mínimo por sistema de compensación, en caso falle uno del sistema de compensación.</p>	<p>Comprar tres componentes de 200KVAR.</p>	<p>En caso de no contar con este componente, se podría:</p> <p>Absorber mayor consumo de energía reactiva de la red; por tal, mayores pérdidas.</p> <p>Riesgos de tener caídas de tensión en los nodos en donde operan dichos bancos.</p>
OM-04	<p><b>Falta de un procedimiento para controlar las características mínimas que deben tener los nuevos Proyectos.</b></p>	<p>Se recomienda tener un procedimiento que controle la incorporación de nuevos proyectos y orientado a establecer requisitos para:</p> <p>Nivel de Distorsión Armónica y Sistema de medición de Energía.</p>	<p>Se debe establecer el procedimiento a nivel de la gerencia corporativa de energía.</p>	<p>Tener proyectos que empeoren los niveles de distorsión, incremento en el consumo de energía reactiva a nivel integral y bajo factor de potencia. Implica que la instalación tenga pérdidas y variación de parámetros de trabajo.</p>

MATRIZ DE OPORTUNIDADES DE MEJORA				
CÓDIGO	OPORTUNIDAD DE MEJORA / OBSERVACIÓN	RECOMENDACIÓN	CRITERIOS A CONSIDERAR PARA LA PUESTA EN PRÁCTICA DE LAS RECOMENDACIONES	POSIBLES IMPLICANCIAS DE NO ACTUAR SOBRE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA
OM-05	<p><b>Falta de Sistemas de Medición y Medidores</b></p> <p>Se ha detectado que no se tienen sistemas de medición en las cargas de la mina y planta concentradora así como en algunos grupos de generación.</p>	Se deben instalar sistemas de medición y medidores en los circuitos de media y baja tensión.	<p>Realizar un mapeo de los puntos eléctricos y procesos que deberían tener medición de energía y potencia.</p> <p>Los medidores a adquirir deberían tener módulos que soporten la comunicación en sistemas Scada.</p>	<p>No se puede cuantificar los consumos por equipo o procesos y desconocer sus costos.</p> <p>No conocer la dirección del flujo de potencia reactiva de los grupos de generación.</p>
M-06	<p>Complementar con Estudios de Eficiencia Energética</p> <p>Los factores de carga son: Esperanza: 80% Montenegro:80% Planta: 90% Total Sistema: 87%</p> <p>Indica que existen posibilidades de obtener ahorros de energía por procesos más que por modulación de cargas.</p>	Realizar un estudio de eficiencia energética enfocado en los procesos de minería y en concentradora por tipo de mineral (campañas).	<p>Recolectar información histórica del proceso minero metalúrgico.</p> <p>Convocar a un estudio de eficiencia energética cuyo objetivo principal es la obtención de ahorros de los procesos metalúrgicos.</p>	<p>Tener pérdidas de energía con tendencias altas.</p> <p>Mayor costo por el uso de energía.</p>

## CONCLUSIONES

1. Como resultado de la aplicación del estudio se tuvo beneficios tales como el no pago de energía reactiva por un monto de US\$ 32.400,00/año y la no pérdida de producción por 70 Ton/mes que equivale a US\$ 100.800,00/año.
2. Con una tasa de interés del 12 %, con la adquisición inicial e instalación de Bancos de Condensadores (2,560 KVAR por US\$ 200,886.00) y las obras civiles (US\$ 9,305.00), el tiempo de retomo de la inversión es de tres años. La relación beneficio/ costo es de 1.23. El Valor Actual Neto (VAN) es de US\$ 48,282.45 y el TIR es de 24%.
3. Resultado del presente trabajo es la decisión de la Alta Dirección de la Empresa con la oportunidad de adquirir el sistema de compensación distribuida la cual benefició a la producción en los puntos más alejados en el interior de la mina y el no pago de una parte de la energía reactiva.
4. El sistema eléctrico presenta condiciones desfavorables de operación, por un lado se tienen bajos niveles de tensión y por otro, se está operando con transformadores y líneas de transmisión sobrecargados.
5. Se verificó que el porcentaje del consumo de energía reactiva, respecto a la energía activa, es de 142%, por lo que la operación actual del sistema Animón implica un sobre costo de US\$ 367,682.00 al año (Indicado en cuadro N° 5.6), por excesos de consumo de energía reactiva.
6. Ventajas encontradas de la compensación de energía reactiva:
  - a. Aumenta la capacidad de las líneas y transformadores instalados.
  - b. Mejora el nivel de tensión del sistema eléctrico.

## RECOMENDACIONES

1. Se deben realizar estudios del sistema eléctrico, con una periodicidad anual para identificar oportunidades de mejora, el mismo que debe considerarse en el Presupuesto.
2. Los estudios nos compromete a tener el Sistema Eléctrico actualizado por lo que es imperante estar en comunicación permanente con la parte operativa (Minas y Planta Concentradora) para verificar sus necesidades en el Corto y Mediano Plazo.
3. Los nuevos Proyectos deben considerar que los equipos solicitados incluyan compensación local con un factor de potencia mayor o igual a 0.96, para evitar variar valores de compensación, así como no pagar penalidades.
4. Los nuevos Proyectos deben considerar sistema de medición en sus Procesos, donde se debe incluir la posibilidad de trabajar en la red industrial, lo cual nos permitirá tener control sobre los mismos.
5. A fin de que el sistema de compensación seleccionado trabaje adecuadamente se debe tener un stock de repuestos, planes de mantenimiento predictivo y preventivo.
6. La Mina Polimetálica ha demostrado en varias etapas tomar las acciones para la mejora de la productividad, por lo que la parte eléctrica debe tener toda su información al día para las proyecciones del caso.

**ANEXOS**

ANEXO A<sup>110</sup>REGISTROS POR CENTRO DE CONSUMOS-MEDICIÓN EN MEDIA  
TENSIÓN (22.9 KV)

<sup>110</sup> Todos los cuadros del Anexo "A" fueron realizados a partir de fuente propia.

Cuadro A.1

## Mina Esperanza

Día	Potencia Activa (KW)			Potencia Reactiva (KVAR)			Factor de Carga
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	
1	8 052	7 031	5 477	4 458	3 728	2 978	0.9
2	8 117	7 053	5 183	4 391	3 686	2 642	0.9
3	8 159	6 955	4 850	4 610	3 655	2 460	0.9
4	8 303	7 115	5 296	4 582	3 721	2 617	0.9
5	8 190	6 948	1 898	4 352	3 561	1 140	0.8
6	8 157	6 921	2 833	4 532	3 562	1 417	0.8
7	7 867	6 033	3 481	4 175	3 117	1 348	0.8

Cuadro A.2

## Mina Montenegro

Día	Potencia Activa (KW)			Potencia Reactiva (KVAR)			Factor de Carga
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	
1	3 009	2 278	1 304	1 613	1 173	595	0.8
2	3 011	2 231	1 181	1 610	1 118	501	0.7
3	2 935	2 184	1 320	1 534	1 076	579	0.7
4	2 775	2 124	1 292	1 383	999	541	0.8
5	2 813	2 136	720	1 322	980	350	0.8
6	2 798	2 095	906	1 326	963	298	0.7
7	2 633	2 055	685	1 273	958	243	0.8

Cuadro A.3

## Planta Concentradora

Día	Potencia Activa (KW)			Potencia Reactiva (KVAR)			Factor de Carga
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	
1	4 589	4 148	3 537	2 439	2 141	1 803	0.9
2	4 621	4 157	3 283	2 410	2 161	1 730	0.9
3	4 502	4 165	3 787	2 368	2 130	1 769	0.9
4	4 662	4 083	2 956	2 410	2 044	1 656	0.9
5	4 664	3 985	1 359	2 296	1 992	591	0.9
6	4 426	4 051	1 621	2 351	2 059	615	0.9
7	4 588	3 933	2	2 546	2 046	0	0.9

Cuadro A.4

## Micro Centrales Hidráulicas

Día	Potencia Activa (KW)			Potencia Reactiva (KVAR)			Factor de Carga
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	
1	4 305	4 185	3 716	886	550	229	1.0
2	4 319	4 218	3 874	893	516	0	1.0
3	4 301	4 166	3 780	1 376	626	268	1.0
4	5 046	4 572	4 029	1 055	538	149	0.9
5	5 351	4 610	0	1 009	451	0	0.9
6	5 464	5 054	0	798	337	0	0.9
7	5 410	3 514	0	1 155	465	0	0.6

Cuadro A.5

## Shelby

Día	Potencia Activa (KW)			Potencia Reactiva (KVAR)			Factor de Carga
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	
1	7 262	5 672	3 552	5 553	5 090	4 419	0.8
2	7 208	5 575	3 594	5 541	5 065	4 508	0.8
3	7 292	5 525	3 390	5 362	4 753	3 832	0.8
4	7 774	6 054	2 909	5 501	4 683	3 709	0.8
5	9 143	6 212	3 555	5 391	4 543	1 075	0.7
6	9 163	5 769	3 300	5 564	4 768	1 419	0.6
7	9 873	6 263	2 875	5 275	4 187	1 413	0.6

Cuadro A.6

## Baños IV

Día	Potencia Activa (KW)			Potencia Reactiva (KVAR)			Factor de Carga
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	
1	4 569	4 496	4 188	1 527	1 288	618	1.0
2	4 573	4 539	4 378	1 689	1 287	643	1.0
3	4 608	4 463	3 567	1 686	1 349	717	1.0
4	4 561	3 539	2 883	1 528	1 265	431	0.8
5	3 120	3 064	258	1 483	1 208	310	1.0
6	3 127	3 049	0	1 431	1 201	300	1.0
7	4 599	3 030	0	1 435	1 209	235	0.7

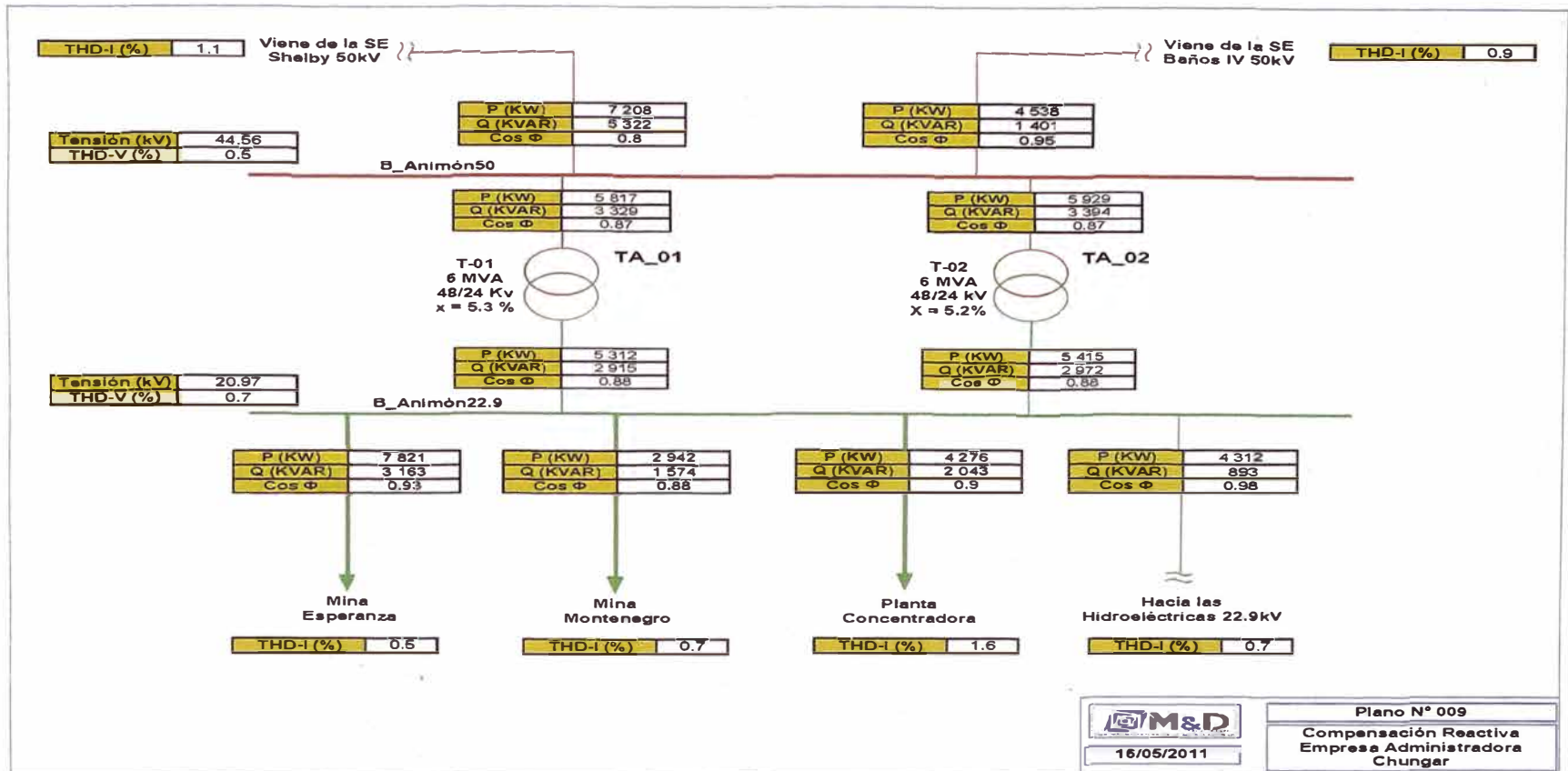


ANEXO B<sup>111</sup>

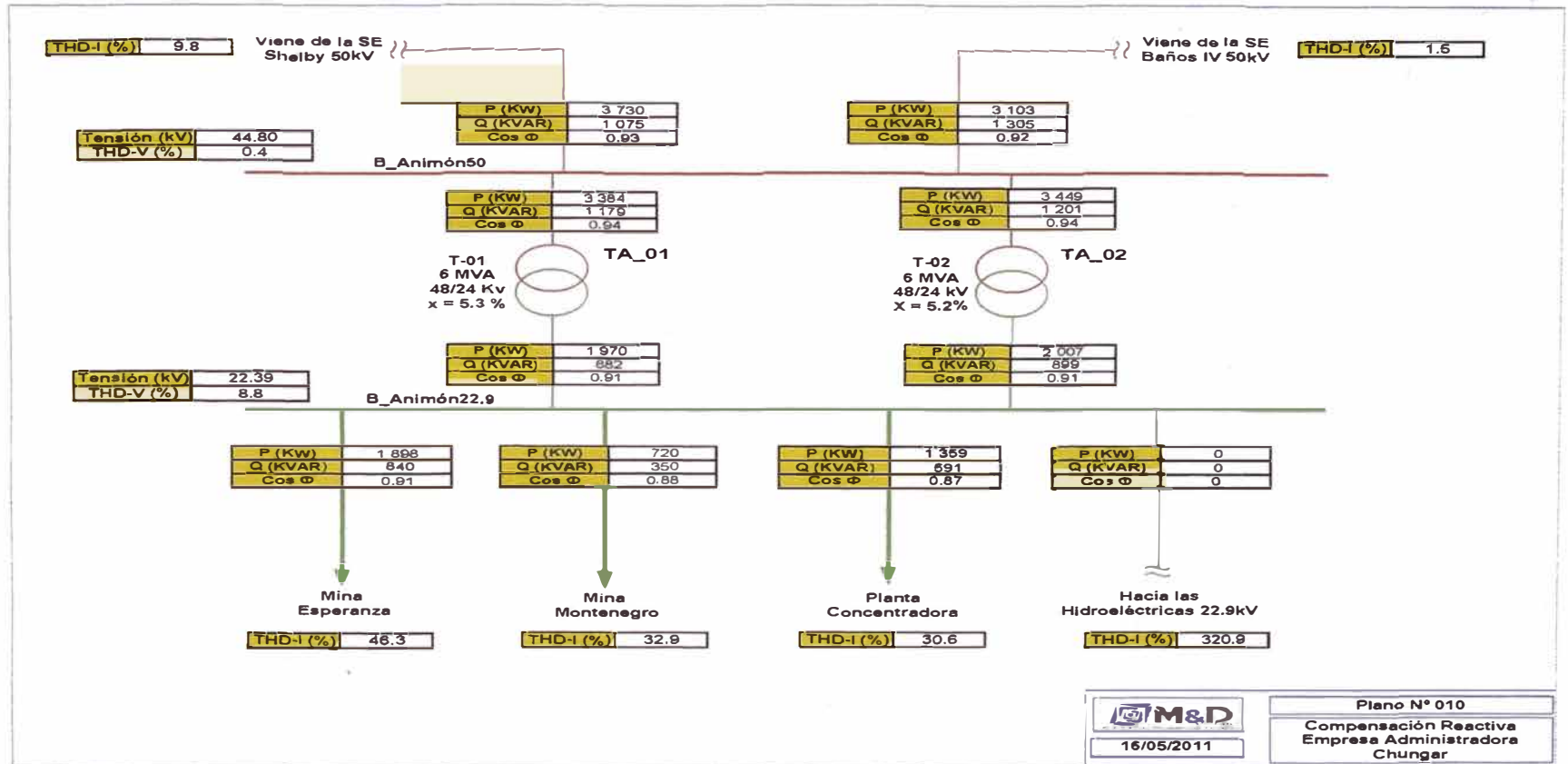
## BALANCES DE POTENCIA Y ARMÓNICOS

EN LOS SIGUIENTES ESQUEMAS SE MUESTRAN LOS RESULTADOS  
OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DE FACTOR DE POTENCIA Y  
ARMÓNICOS:

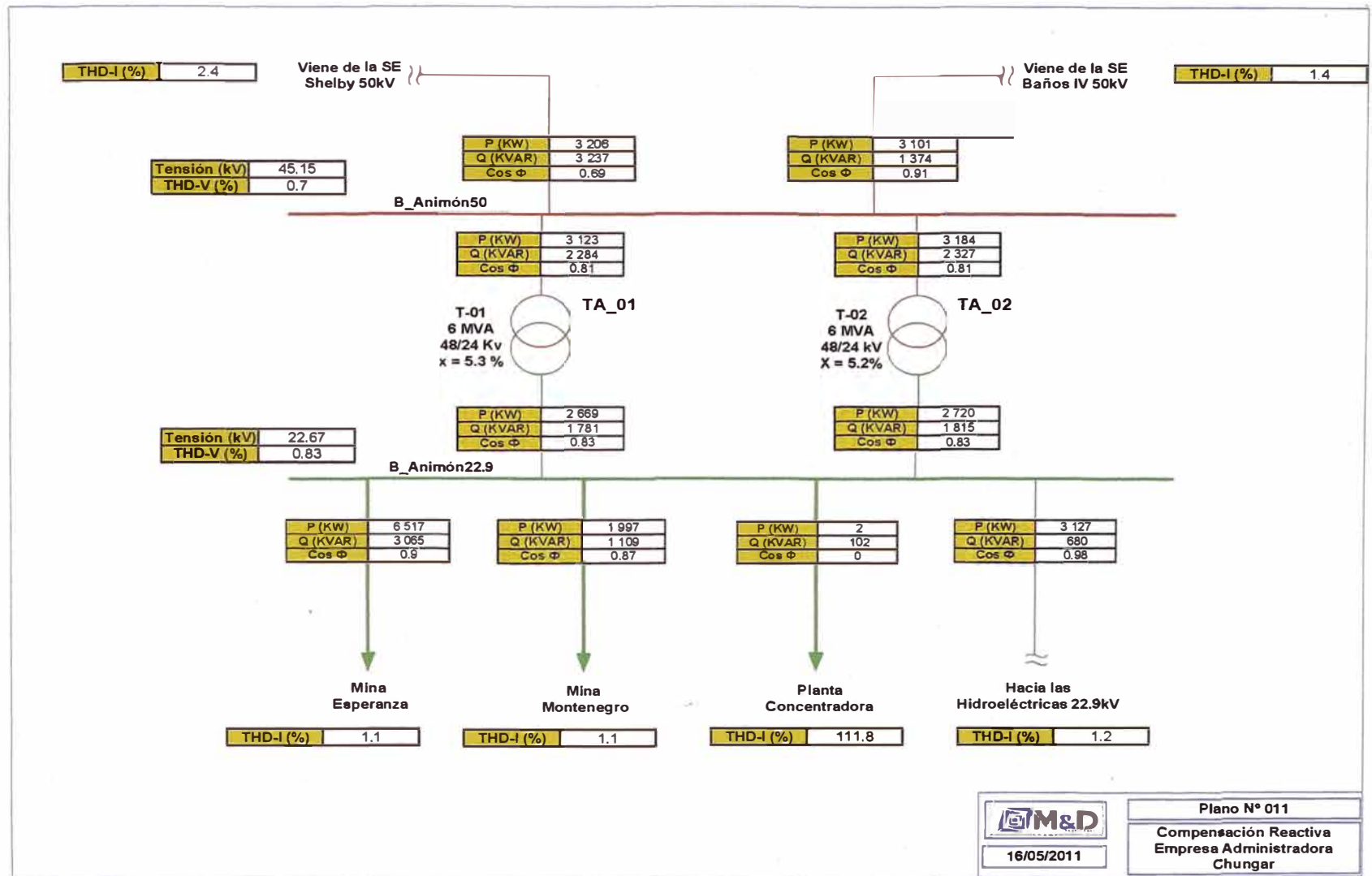
<sup>111</sup> Todos los esquemas del Anexo "B" fueron realizados a partir de fuente propia.



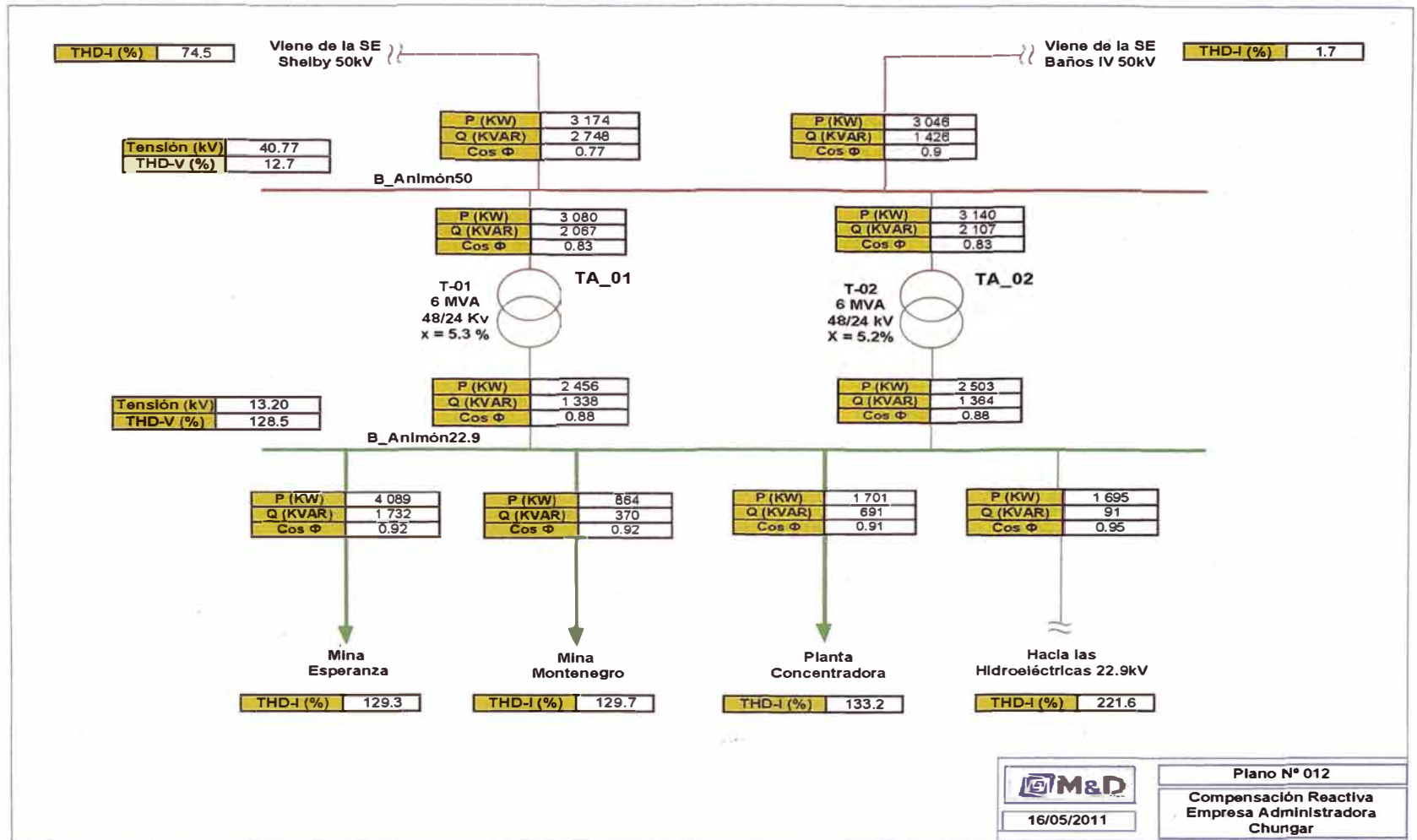
Esquema N° B.1 Balance de Potencia - Demanda Máxima



Esquema N° B.2 Balance de Potencia - Demanda Mínima



Esquema N° B.3 Balance de Potencia - Máxima tensión 22.9kV



Esquema N° B.4 Balance de Potencia - Mínima tensión 22.9kV Anexo C: Niveles de Cortocircuito, se muestran esquemas con los resultados obtenidos de la simulación en Power Factory.

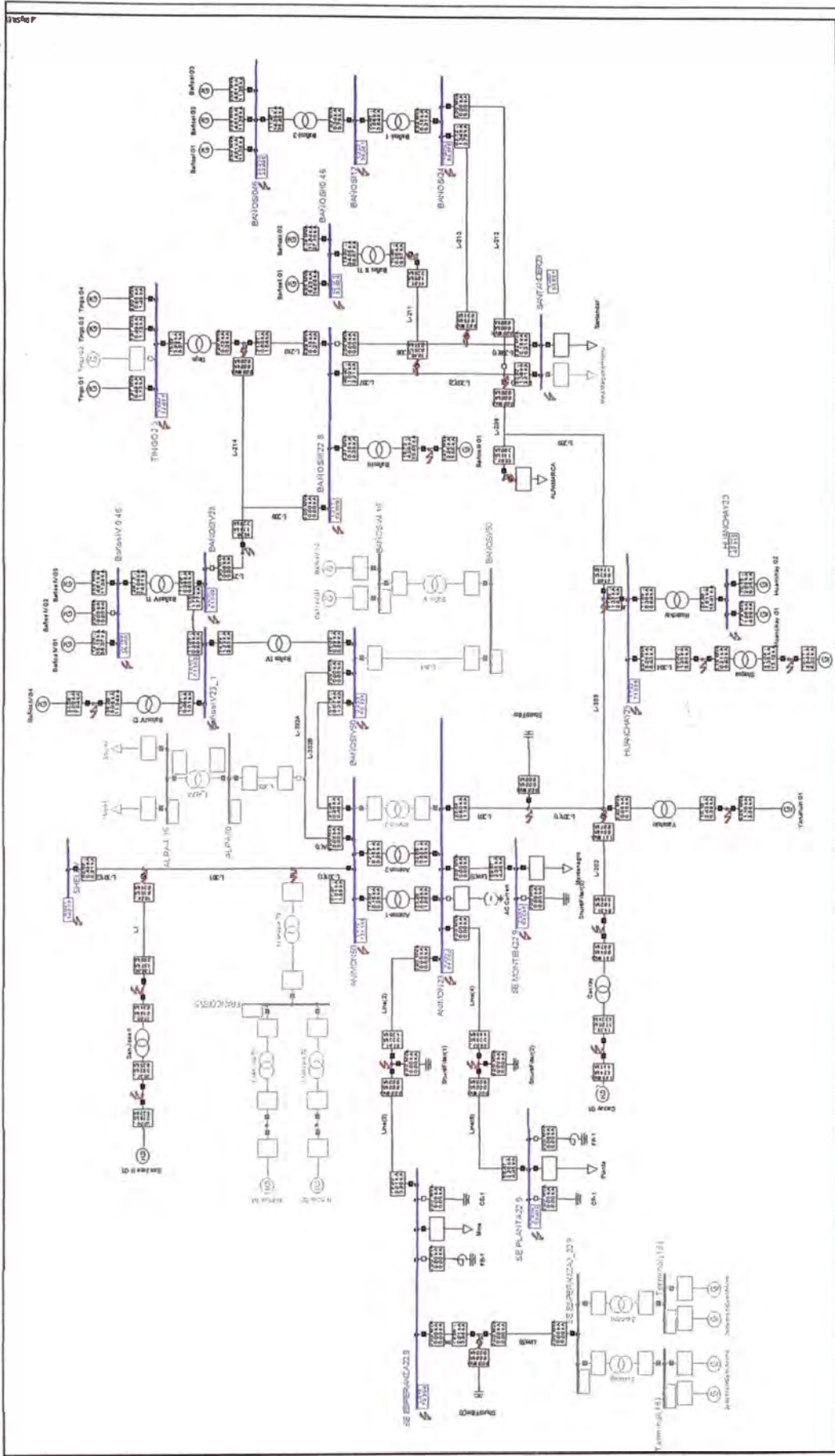
## ANEXO C

### PLANOS ELÉCTRICOS

EN LOS SIGUIENTES ESQUEMAS SE MUESTRAN LAS SIMULACIONES EN DIFERENTES ESCENARIOS<sup>112</sup>

<sup>112</sup> Fuente Propia





Esquema C.2 Cortocircuito Trifásico

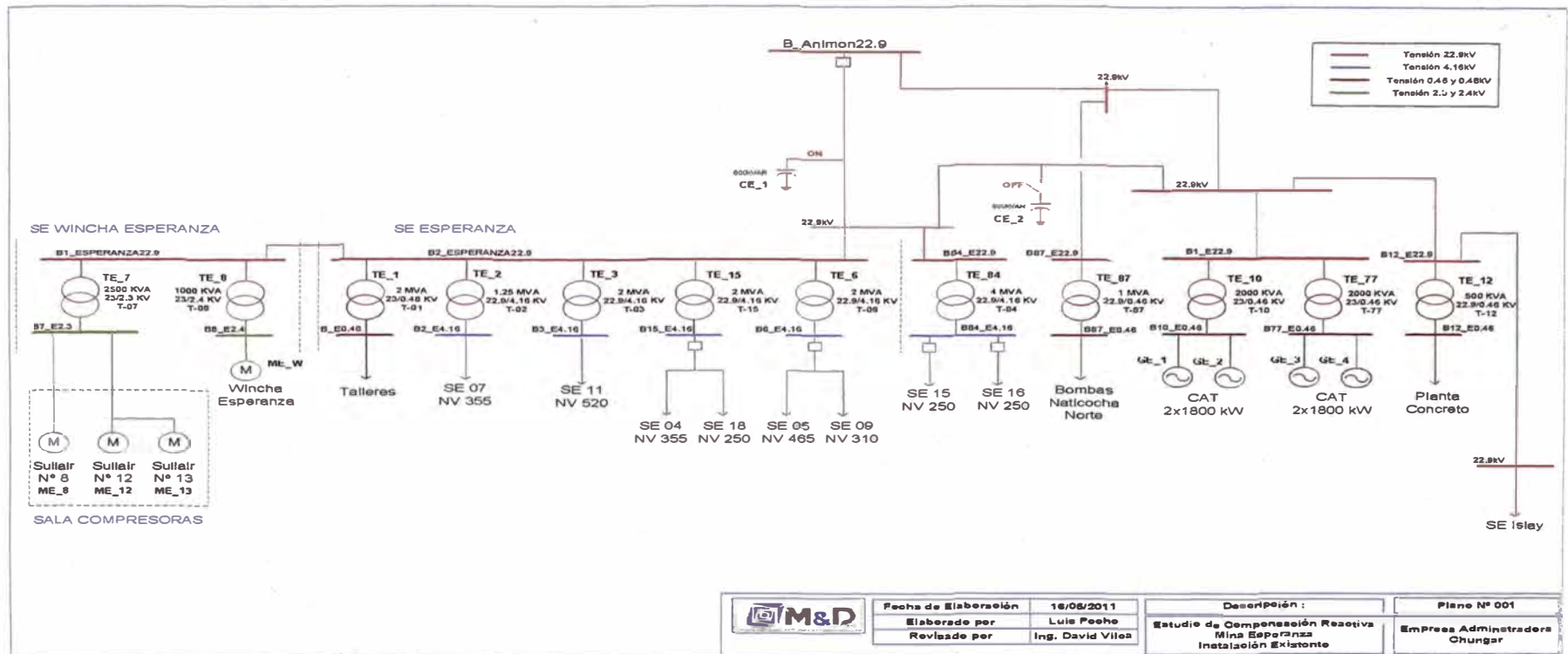


ANEXO D

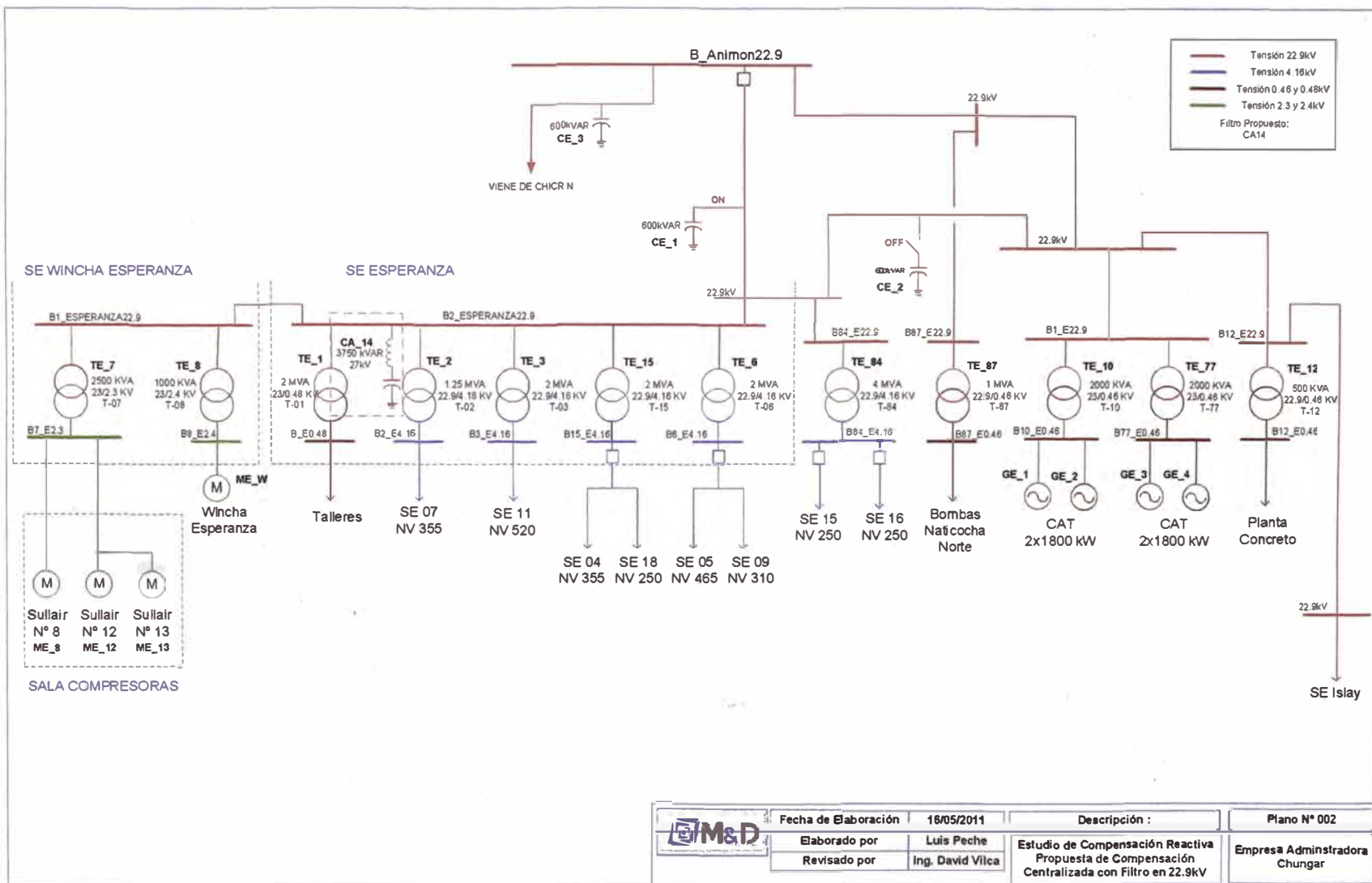
PLANOS ELÉCTRICOS POR CIRCUITOS OPERATIVOS<sup>113</sup>

---

<sup>113</sup> Fuente Propia

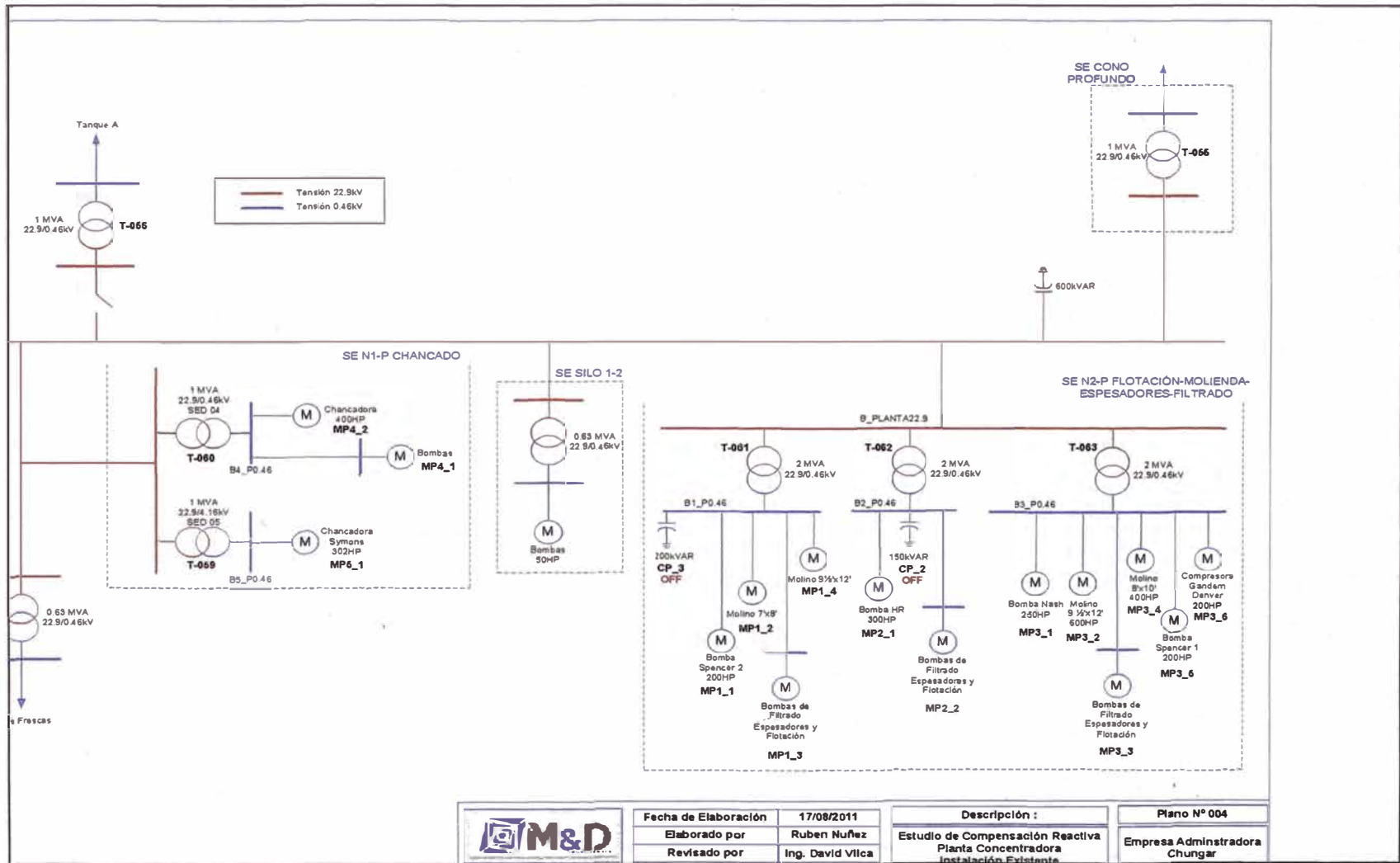


Plano D 1 SE Esperanza Condición Inicial

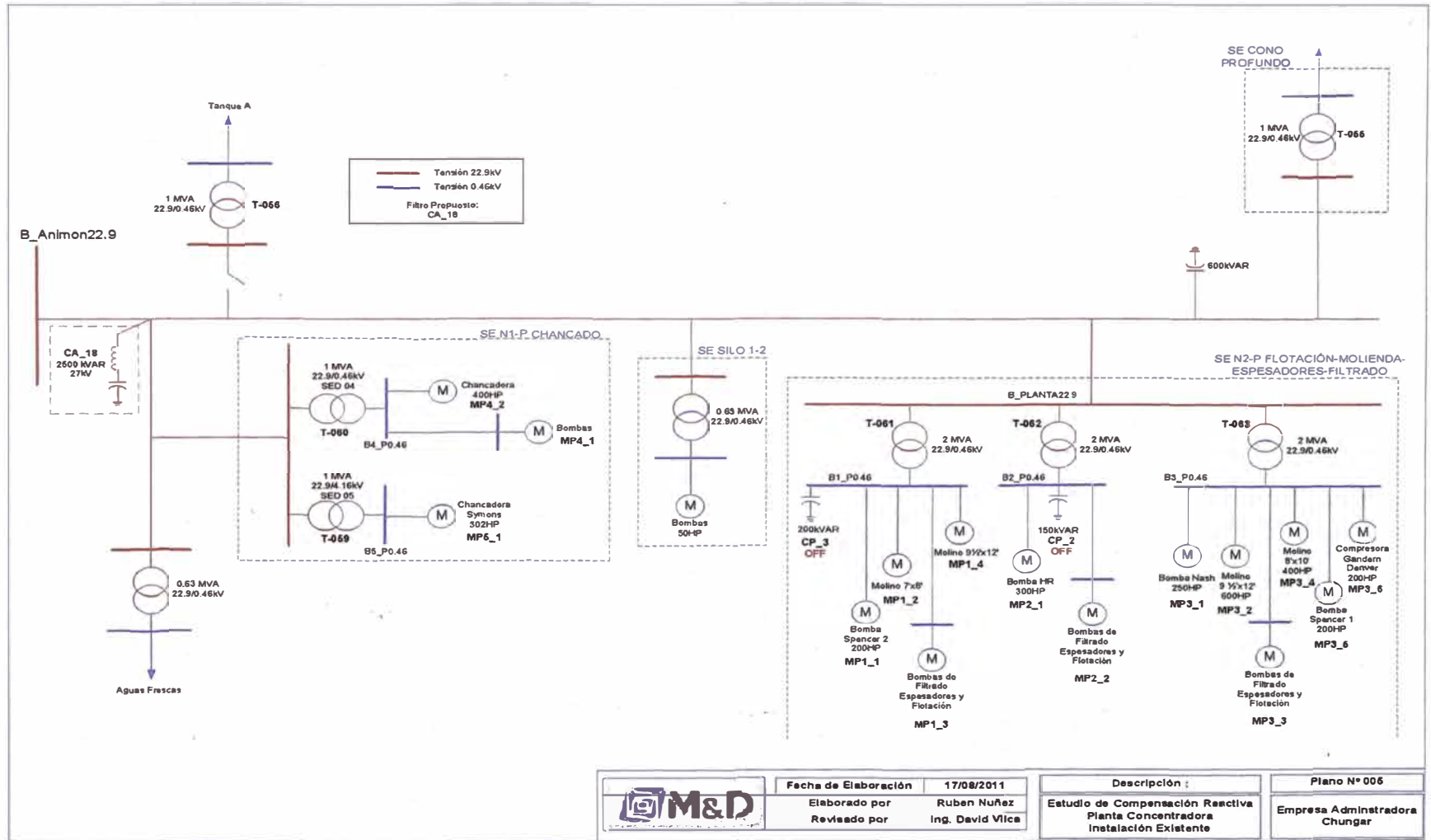


Plano D N° 2 SE Esperanza, Con Compensación en MT



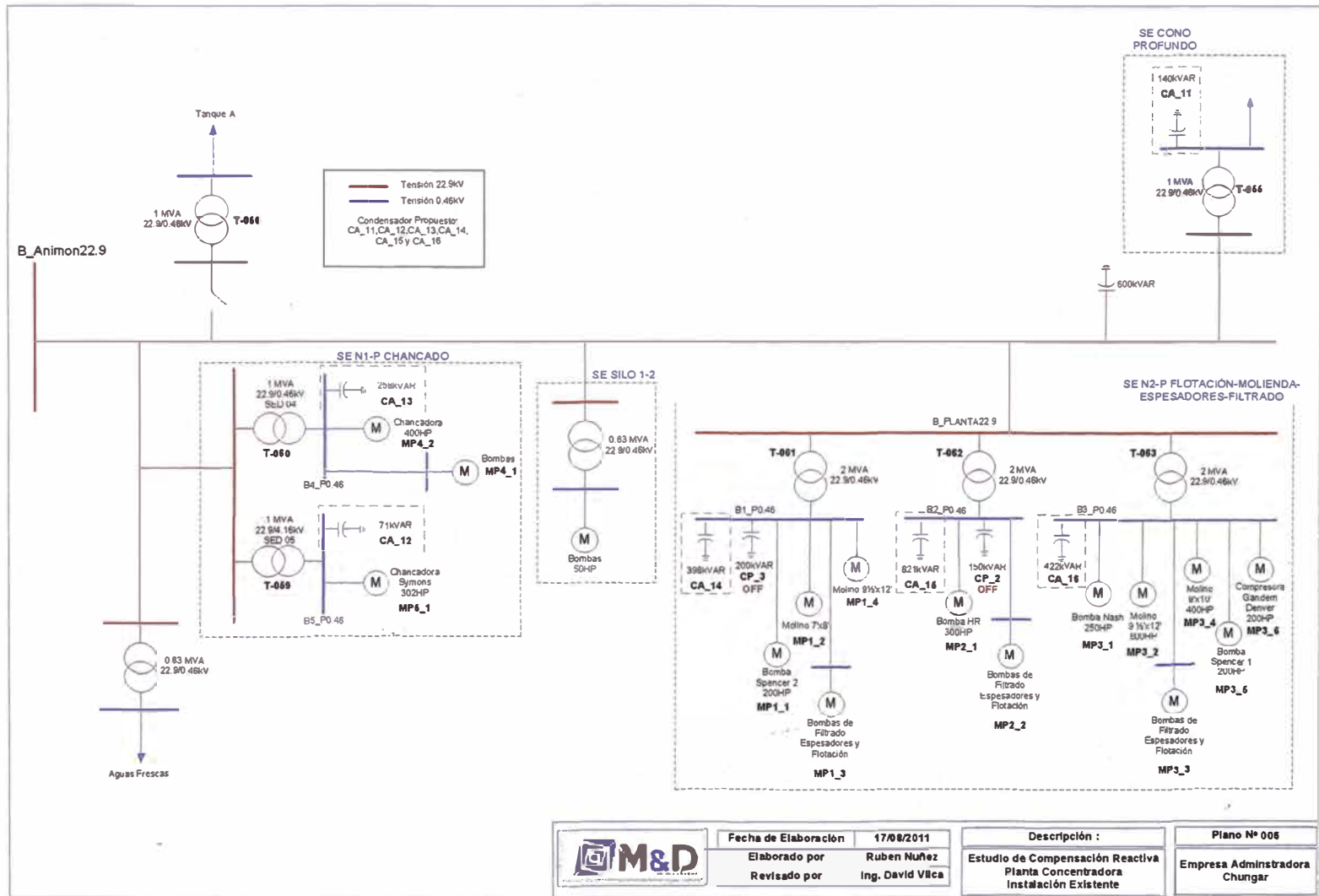


Plano D N° 4 SE Planta Condición Inicial

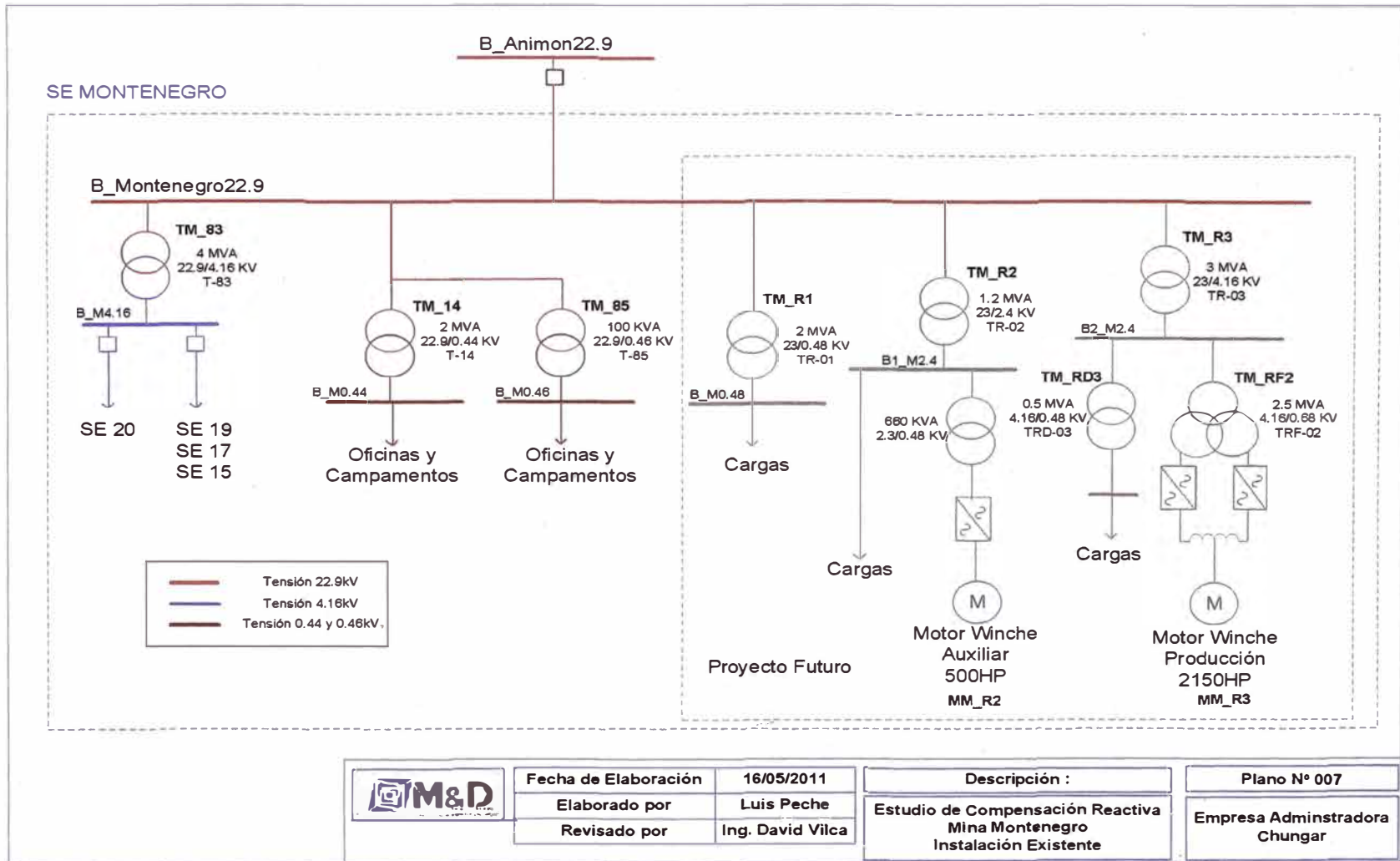


	Fecha de Elaboración	17/08/2011	Descripción :	Plano N° 006
	Elaborado por	Ruben Nuñez	Estudio de Compensación Reactiva Planta Concentradora Instalación Existente	Empresa Administradora Chunger
	Revisado por	Ing. David Vilca		

Plano D N° 5 SE Planta Con Compensación en MT

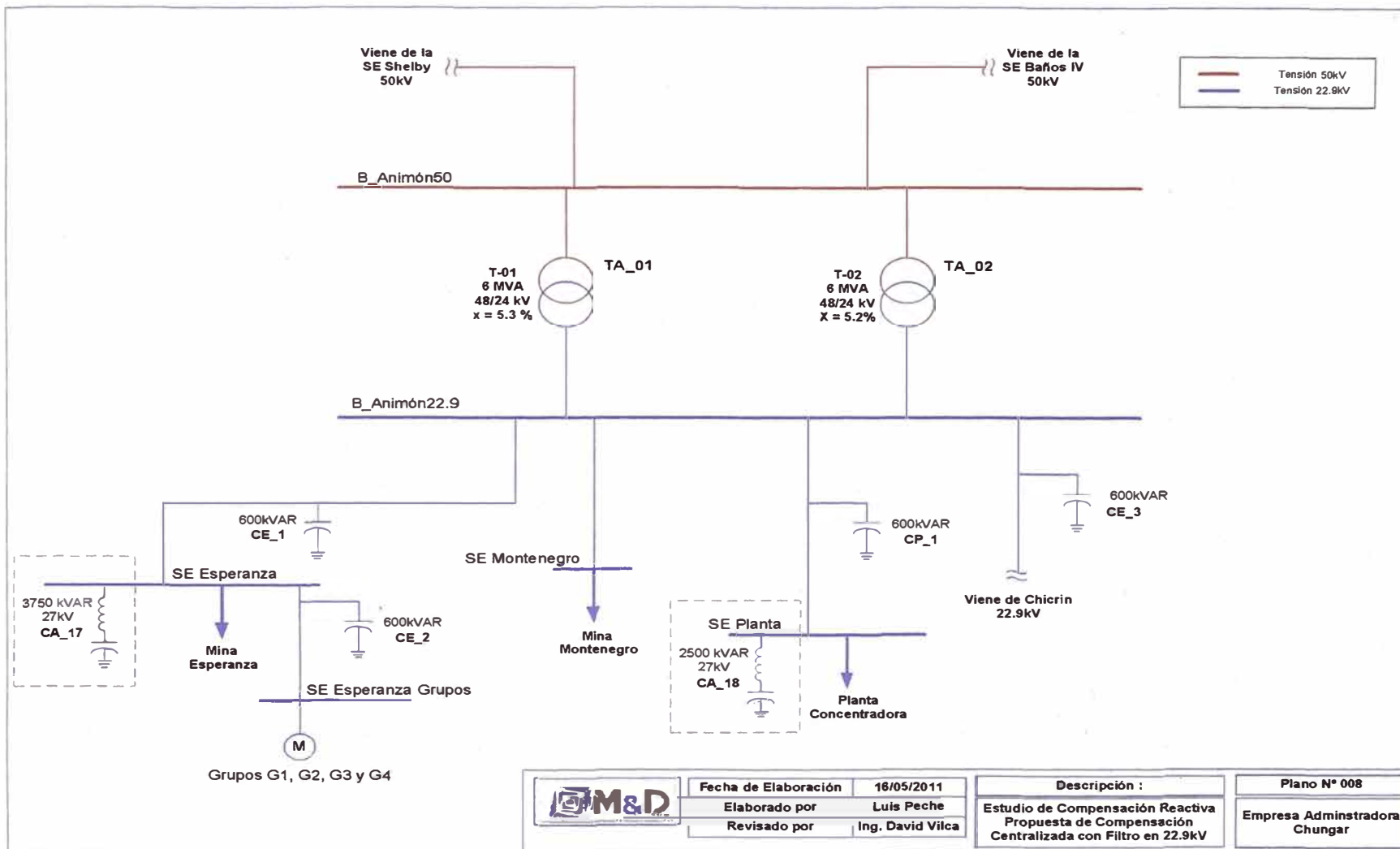


Plano D N° 6 SE Planta Con Compensación en BT

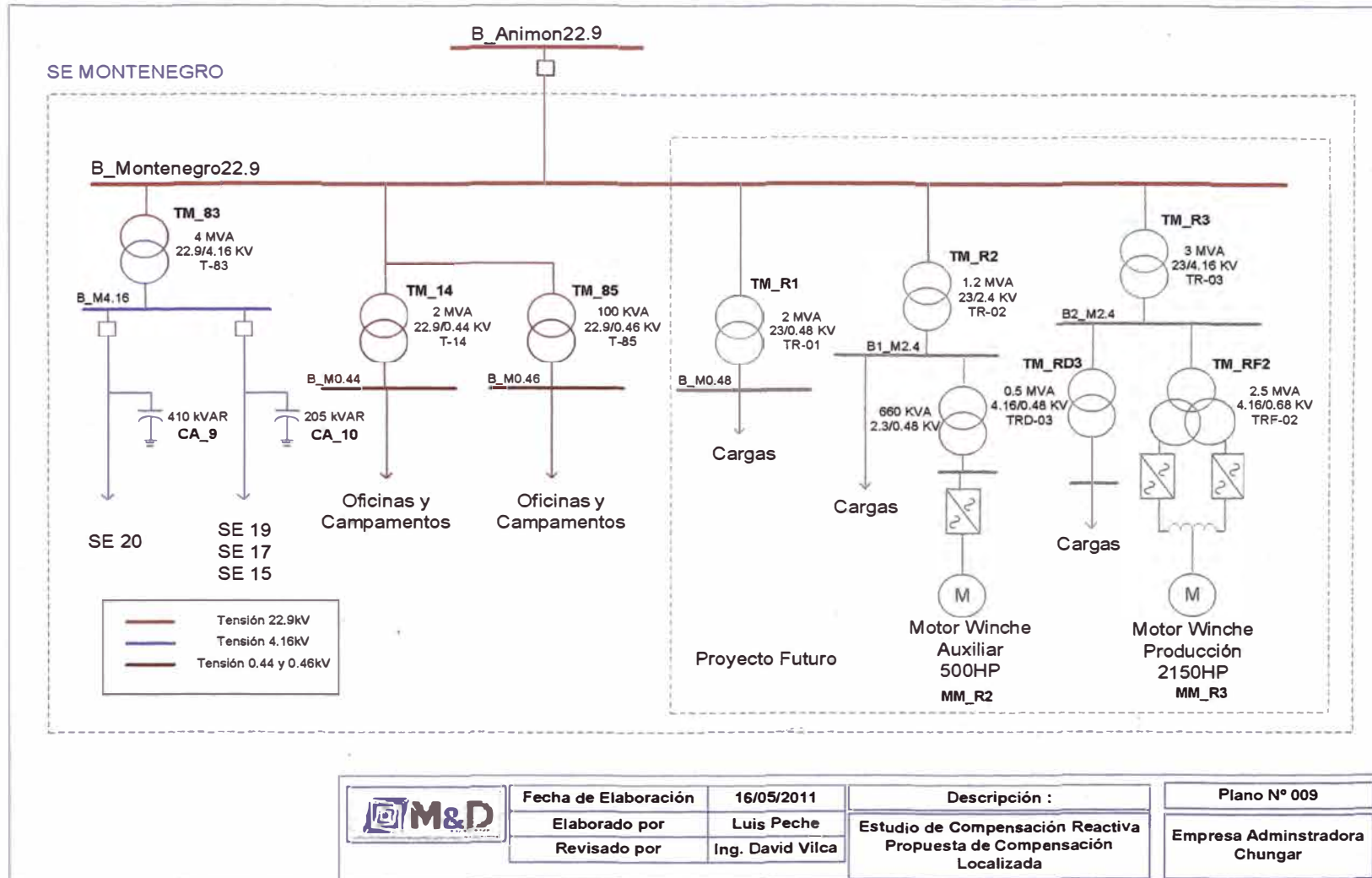


Plano D N° 7 SE Montenegro Condición Inicial





Plano D N° 8 Sistema Eléctrico Con Filtro



Plano D N° 9 Sistema Eléctrico, Compensación Localizada Montenegro

ANEXO E

SELECCION DE FILTROS<sup>114</sup>

<sup>114</sup> Fuente Propia.

Cuadro E.1 Determinación de la Inductancia L

Ítem	Nodo	Qefectivo (MVAR)	Qnominal (MVAR)	Qefectivo (%)	Tensión Operación (kV)	Tensión Nominal (kV)	Corriente Nominal (A)	Frecuencia sintonizada (hr)	Xc (ohm)	Xl (ohm)	Inductancia (mH)	Capacitancia (μF)
1	Esperanza	2.70	3.75	0.72	22.9	27	80	4.50	194	10	25.44	13.66
		2.70	3.75	0.72	22.9	27	80	5.50	194	6	17.03	13.66
2	Planta	1.70	2.36	0.72	22.9	27	51	4.50	308	15	40.41	8.60
		1.70	2.36	0.72	22.9	27	51	5.50	308	10	27.05	8.60

Cuadro E.2 Resultados del Caso 2

Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Promedio

Ítem	Nodo	Qefectivo (MVAR)	Qnominal (MVAR)	Qefectivo (%)	Tensión Operación (kV)	Tensión Nominal (kV)	Corriente Nominal (A)	Corriente RMS (A)	Corriente RMS (%)	THD-V (%)	THD-I Banco (%)	Frecuencia sintonizada (hr)	Xc (ohm)	Xl (ohm)	Inductancia (mH)	Capacitancia (μF)
1	Esperanza	2.70	3.75	72%	22.9	27	80	70	87%	0.66	4.05	4.50	194	10	25.44	13.66
		2.70	3.75	72%	22.9	27	80	70	87%	0.32	6.92	5.50	194	6	17.03	13.66
2	Planta	1.70	2.36	72%	22.9	27	51	40	79%	0.72	5.29	4.50	308	15	40.41	8.60
		1.70	2.36	72%	22.9	27	51	40	79%	0.28	4.05	5.50	308	10	27.05	8.60

Cuadro E.3 Resultados del Caso 2

Con 2 Transformadores de 6MVA - Máxima Demanda

Ítem	Nodo	Qefectivo (MVAR)	Qnominal (MVAR)	Qefectivo (%)	Tensión Operación (kV)	Tensión Nominal (kV)	Corriente Nominal (A)	Corriente RMS (A)	Corriente RMS (%)	THD-V (%)	THD-I Banco (%)	Frecuencia sintonizada (hr)	Xc (ohm)	Xl (ohm)	Inductancia (mH)	Capacitancia (μF)
1	Esperanza	2.70	3.75	72%	22.9	27	80	70	87%	0.53	3.95	4.50	194	10	25.44	13.66
		2.70	3.75	72%	22.9	27	80	70	87%	0.33	7.06	5.50	194	6	17.03	13.66
2	Planta	1.70	2.36	72%	22.9	27	51	40	79%	0.59	5.22	4.50	308	15	40.41	8.60
		1.70	2.36	72%	22.9	27	51	40	79%	0.29	4.17	5.50	308	10	27.05	8.60

### Resumen de Niveles de Distorsión

Los siguientes cuadros presentan la simulación de los niveles de distorsión de cada caso:

Cuadro E.4

**Caso 1: Con 2 Transformadores de 6MVA - Máxima Demanda**

Ítem	Nodo	Nivel de Tensión (kV)	THD-V (%)			
			Condición Inicial	Con Condensador sin Filtro	Con Filtro sintonizado (hr=4.5)	Con Filtro sintonizado (hr=5.5)
1	Esperanza	22.9	1.61	2.92	0.53	0.33
2	Montenegro	22.9	1.62	2.70	0.59	0.29
3	Planta	22.9	1.62	2.70	0.59	0.29
4	Animón	22.9	1.62	2.70	0.59	0.29
		50	1.28	1.63	0.57	0.30

Cuadro E.5

**Caso 2: Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Promedio**

Ítem	Nodo	Nivel de Tensión (kV)	THD-V (%)			
			Condición Inicial	Con Condensador sin Filtro	Con Filtro sintonizado (hr=4.5)	Con Filtro sintonizado (hr=5.5)
1	Esperanza	22.9	1.82	2.72	0.66	0.32
2	Montenegro	22.9	1.82	2.50	0.72	0.28
3	Planta	22.9	1.82	2.50	0.72	0.28
4	Animón	22.9	1.82	2.50	0.72	0.28
		50	1.38	1.45	0.62	0.29

Cuadro E.6

## Caso 3: Con 1 Transformador de 15MVA

Ítem	Nodo	Nivel de Tensión (kV)	THD-V (%)			
			Demanda Media		Demanda Máxima	
			Con Filtro sintonizado (hr=4.5)	Con Filtro sintonizado (hr=5.5)	Con Filtro sintonizado (hr=4.5)	Con Filtro sintonizado (hr=5.5)
1	Esperanza	22.9	0.90	0.31	0.66	0.32
2	Montenegro	22.9	0.96	0.28	0.72	0.28
3	Planta	22.9	0.97	0.28	0.73	0.28
4	Animón	22.9	0.97	0.28	0.73	0.28
		50	0.72	0.35	0.63	0.35

Cuadro E.7

## Caso 4: Con 2 Transformadores de 15MVA

Ítem	Nodo	Nivel de Tensión (kV)	THD-V (%)			
			Demanda Media		Demanda Máxima	
			Con Filtro sintonizado (hr=4.5)	Con Filtro sintonizado (hr=5.5)	Con Filtro sintonizado (hr=4.5)	Con Filtro sintonizado (hr=5.5)
1	Esperanza	22.9	0.48	0.36	0.42	0.39
2	Montenegro	22.9	0.54	0.31	0.48	0.34
3	Planta	22.9	0.54	0.31	0.49	0.35
4	Animón	22.9	0.54	0.31	0.49	0.35
		50	0.53	0.24	0.51	0.26

ANEXO F

RESUMEN DE SIMULACIONES<sup>115</sup>

<sup>115</sup> Fuente Propia

CUADRO F.1

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Promedio

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Media		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 040	3 695	0.89
	Montenegro	22.9	2 204	1 092	0.90
	Planta	22.9	4 139	2 142	0.89
	Hidros	22.9	4 515	667	0.00
	Shelby	50	5 147	4 922	0.72
	Baños IV	50	3 721	1 985	0.88

Subestación	Tensión Nominal (kV)	Tensión Operación (kV)	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	21.47	0.94
	50	44.45	0.89

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Máxima

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Máxima		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 957	3 177	0.93
	Montenegro	22.9	2 942	1 574	0.88
	Planta	22.9	4 277	2 067	0.90
	Hidros	22.9	4 499	1 298	0.00
	Shelby	50	6 958	4 363	0.85
	Baños IV	50	3 718	1 971	0.88

Subestación	Tensión Nominal	Tensión Operación	Tensión Operación
Animón	22.9	21.14	0.92
	50	43.67	0.87

Escenario sin Hidro

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Media			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	4 476	3 161	5 480	102
	T-2	6 000	4 392	3 101	5 376	100

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Máxima			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	5 389	2 786	6 067	115
	T-2	6 000	5 287	2 734	5 952	113

NOTA: Valores del resultado de la simulación en Digsilent



Cuadro F.2

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Promedio

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Media		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos( $\Phi$ )
Animón	Esperanza	22.9	7 059	3 849	0.88
	Montenegro	22.9	2 204	1 092	0.90
	Planta	22.9	4 139	2 265	0.88
	Hidros	22.9	0	0	0.00
	Shelby	50	9 703	6 969	0.81
	Baños IV	50	3 699	1 886	0.89

Subestación	Tensión Nominal (kV)	Tensión Operación (kV)	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	18.81	0.82
	50	39.70	0.79

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Máxima

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Máxima		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos( $\Phi$ )
Animón	Esperanza	22.9	7 990	3 392	0.92
	Montenegro	22.9	2 942	1 574	0.88
	Planta	22.9	4 277	2 227	0.89
	Hidros	22.9	0	0	0.00
	Shelby	50	11 524	7 689	0.83
	Baños IV	50	3 685	1 826	0.90

Subestación	Tensión Nominal	Tensión Operación	Tensión Operación
Animón	22.9	17.53	0.77
	50	37.38	0.75

Escenario sin Hidro

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Media			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	6 765	3 637	7 680	163
	T-2	6 000	6 637	3 568	7 536	160

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Máxima			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	7 677	3 631	8 492	194
	T-2	6 000	7 532	3 562	8 332	190

Cuadro F.3

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Promedio

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Media		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 022	998	0.99
	Montenegro	22.9	2 204	1 092	0.90
	Planta	22.9	4 138	318	1.00
	Hidros	22.9	4 506	-1 116	0.00
	Shelby	50	5 127	2 170	0.92
	Baños IV	50	3 732	1 798	0.90

Subestación	Tensión Nominal (kV)	Tensión Operación (kV)	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.68	0.99
	50	46.17	0.92

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Máxima

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Máxima		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 940	578	1.00
	Montenegro	22.9	2 942	1 574	0.88
	Planta	22.9	4 276	308	1.00
	Hidros	22.9	5 019	-1 102	0.00
	Shelby	50	6 415	2 147	0.95
	Baños IV	50	3 725	2 002	0.88

Subestación	Tensión Nominal	Tensión Operación	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.28	0.97
	50	45.42	0.91

Escenario sin Hidro

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Media			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	4 471	1 778	4 812	85
	T-2	6 000	4 387	1 745	4 721	83

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Máxima			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	5 118	1 798	5 425	97
	T-2	6 000	5 022	1 764	5 323	96

Cuadro F.4

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Promedio

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Media		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 030	999	0.99
	Montenegro	22.9	2 204	1 092	0.90
	Planta	22.9	4 144	318	1.00
	Hidros	22.9	4 506	-1 115	0.00
	Shelby	50	5 140	2 168	0.92
	Baños IV	50	3 732	1 803	0.90

Subestación	Tensión Nominal (kV)	Tensión Operación (kV)	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.67	0.99
	50	46.17	0.92

## Con 2 Transformadores de 6MVA - Demanda Máxima

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Máxima		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 948	580	1.00
	Montenegro	22.9	2 942	1 574	0.88
	Planta	22.9	4 281	309	1.00
	Hidros	22.9	5 019	-1 099	0.00
	Shelby	50	6 427	2 147	0.95
	Baños IV	50	3 725	2 002	0.88

Subestación	Tensión Nominal	Tensión Operación	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.28	0.97
	50	45.41	0.91

Escenario sin Hidro

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Media			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	4 478	1 779	4 818	85
	T-2	6 000	4 393	1 745	4 727	83

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Máxima			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	6 000	5 124	1 798	5 431	98
	T-2	6 000	5 028	1 764	5 328	96

Cuadro F.5

## Con 1 Transformador de 15MVA - Demanda Promedio

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Media		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 030	1 044	0.99
	Montenegro	22.9	2 204	1 092	0.90
	Planta	22.9	4 143	350	1.00
	Hidros	22.9	4 506	-1 010	0.00
	Shelby	50	5 141	2 245	0.92
	Baños IV	50	3 731	1 836	0.90

Subestación	Tensión Nominal (kV)	Tensión Operación (kV)	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.51	0.98
	50	46.12	0.92

## Con 1 Transformador de 15MVA - Demanda Máxima

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Máxima		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 948	629	1.00
	Montenegro	22.9	2 942	1 574	0.88
	Planta	22.9	4 281	344	1.00
	Hidros	22.9	4 513	555	0.00
	Shelby	50	6 934	1 926	0.96
	Baños IV	50	3 724	1 999	0.88

Subestación	Tensión Nominal	Tensión Operación	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.10	0.97
	50	45.23	0.90

Escenario sin Hidro

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Media			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	15 000	8 872	3 495	9 535	68

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Máxima			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)
Animón	T-1	15 000	10 658	3 102	11 101	80

Cuadro F.6

## Con 2 Transformadores de 15MVA - Demanda Promedio

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Media		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 029	947	0.99
	Montenegro	22.9	2 204	1 092	0.90
	Planta	22.9	4 144	282	1.00
	Hidros	22.9	4 505	-1 237	0.00
	Shelby	50	5 139	2 079	0.93
	Baños IV	50	3 733	1 765	0.90

Subestación	Tensión Nominal (kV)	Tensión Operación (kV)	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.85	1.00
	50	46.22	0.92

## Con 2 Transformadores de 15MVA - Demanda Máxima

Subestación	Alimentador	Nivel de Tensión (kV)	Demanda Máxima		
			P (KW)	Q (KVAR)	cos(Φ)
Animón	Esperanza	22.9	7 947	539	1.00
	Montenegro	22.9	2 942	1 574	0.88
	Planta	22.9	4 281	280	1.00
	Hidros	22.9	4 506	-940	0.00
	Shelby	50	6 940	1 737	0.97
	Baños IV	50	3 725	2 001	0.88

Subestación	Tensión Nominal	Tensión Operación	Tensión Operación (%)
Animón	22.9	22.42	0.98
	50	45.34	0.91

Escenario sin Hidro

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Media			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Carga bilidad (%)
Animón	T-1	15 000	4 436	1 779	4 779	34
	T-2	15 000	4 436	1 779	4 779	34

Subestación	Transformador	Potencia Nominal (kVA)	Demanda Máxima			
			P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Carga bilidad (%)
Animón	T-1	15 000	5 332	1 666	5 587	40
	T-2	15 000	5 332	1 666	5 587	40

NOTA: Valores del resultado de la simulación en Digsilent

## ANEXO G

EN LOS SIGUIENTES GRÁFICOS SE MUESTRAN EL SCAN DE FRECUENCIA PARA CADA CASO ANALIZADO.<sup>116</sup>

---

<sup>116</sup> Fuente Propia

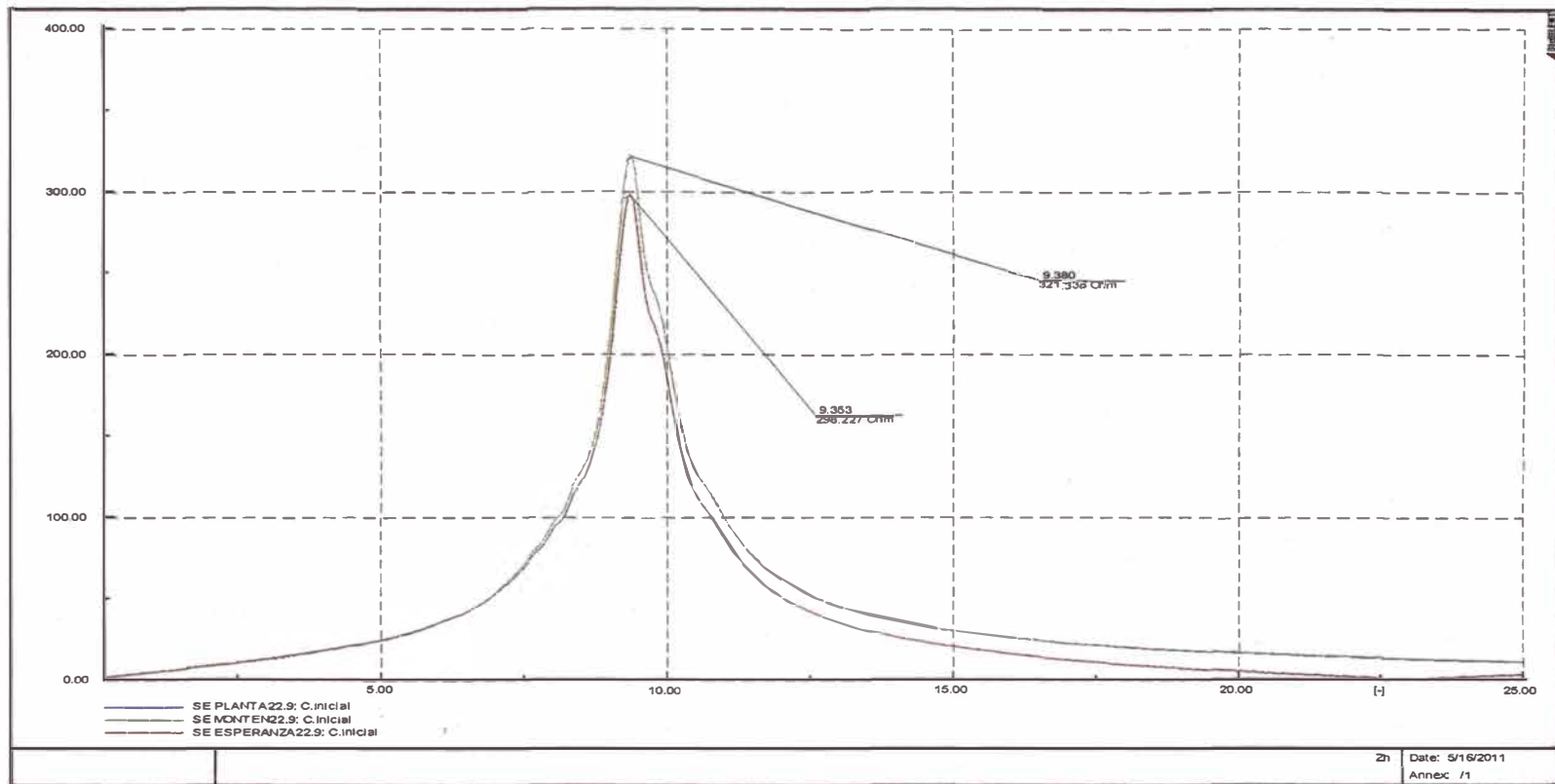


Gráfico N° G.1 Con 2 transformadores de 6MVA

Demanda Media – Condición Inicial

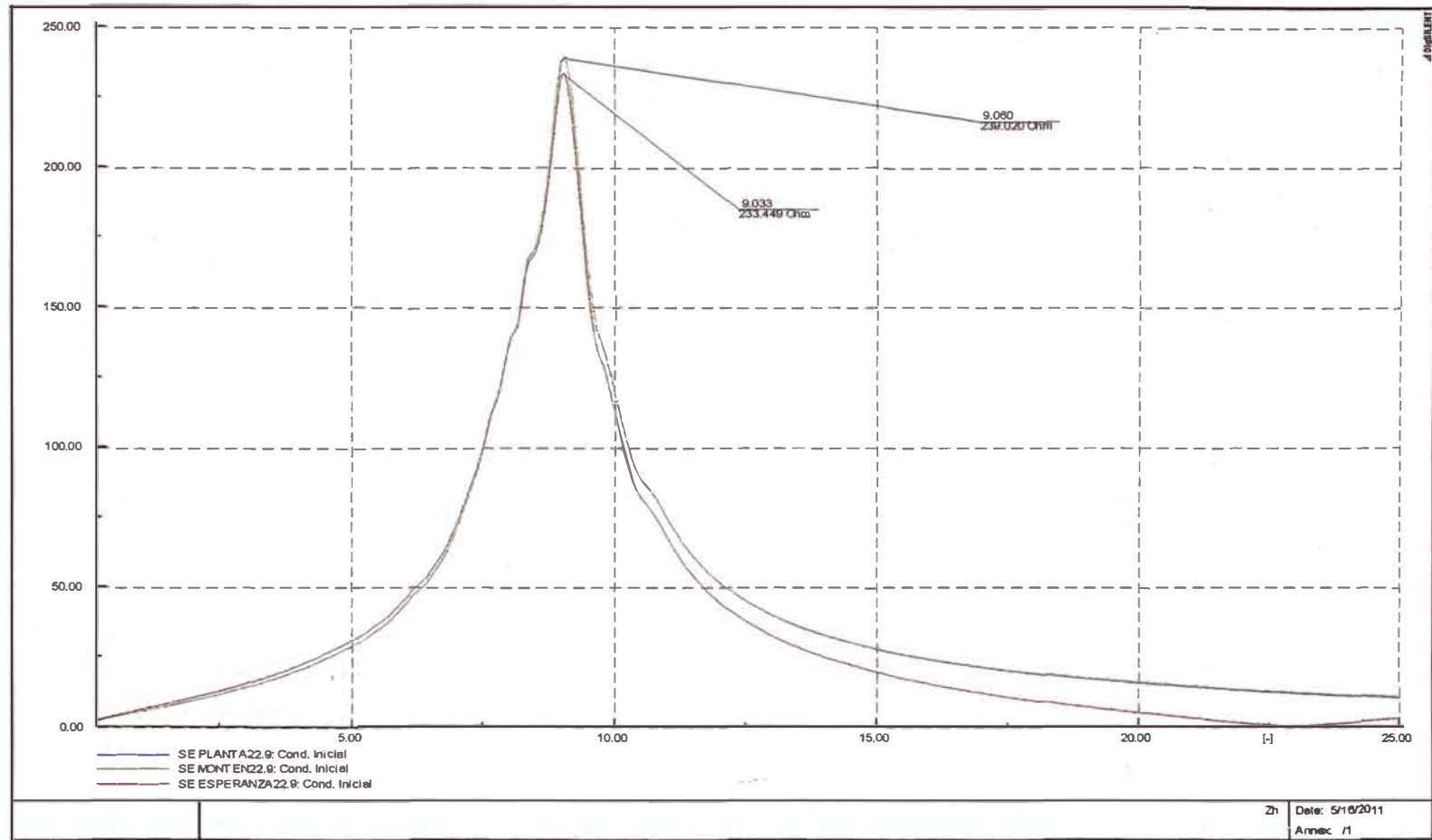


Gráfico N° G.2 Con 2 transformadores de 6MVA  
 Demanda Máxima – Condición Inicial



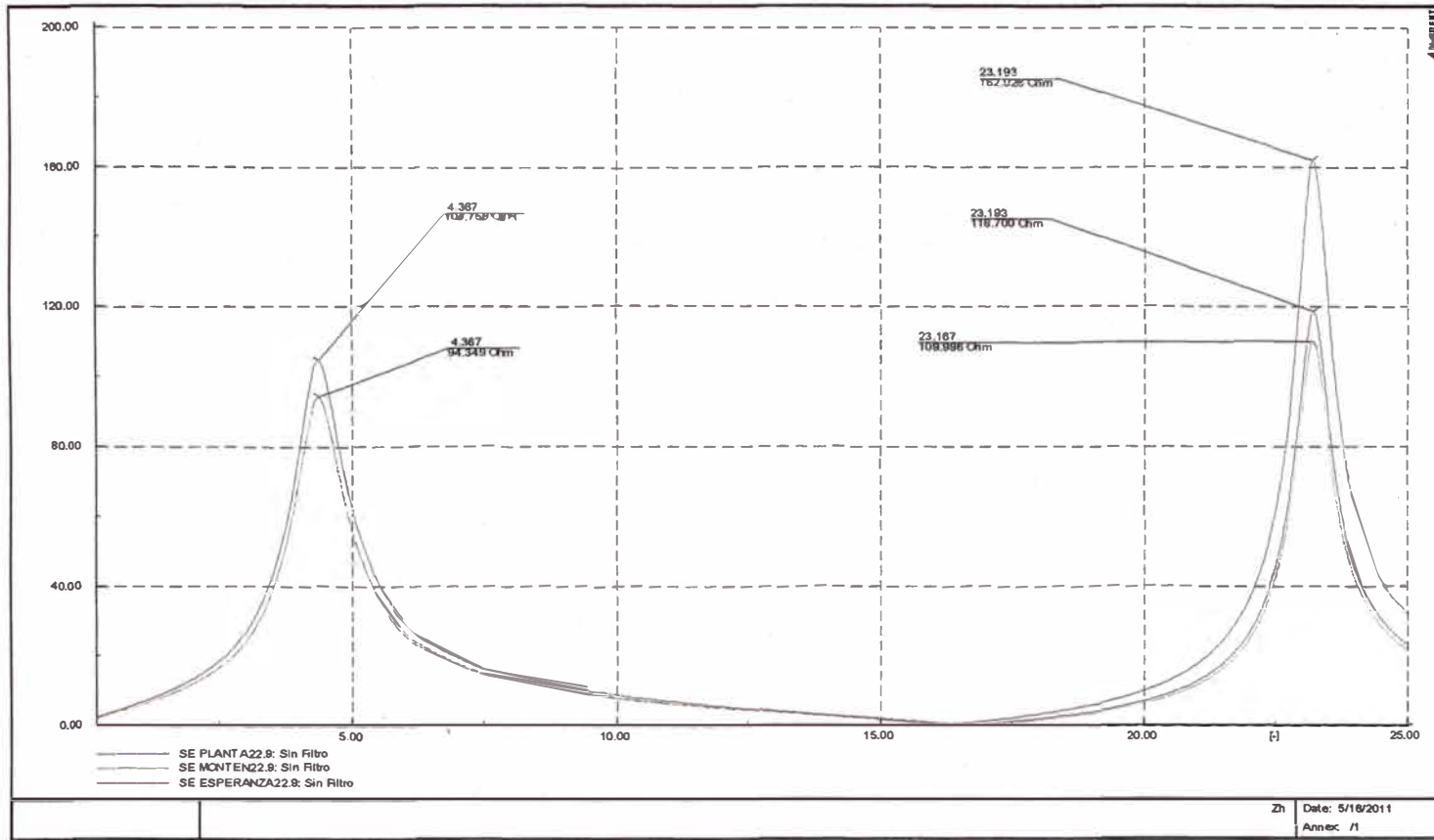


Gráfico N° G.3 Con 2 transformadores de 6MVA  
Demanda Media – Condensador Sin Filtro

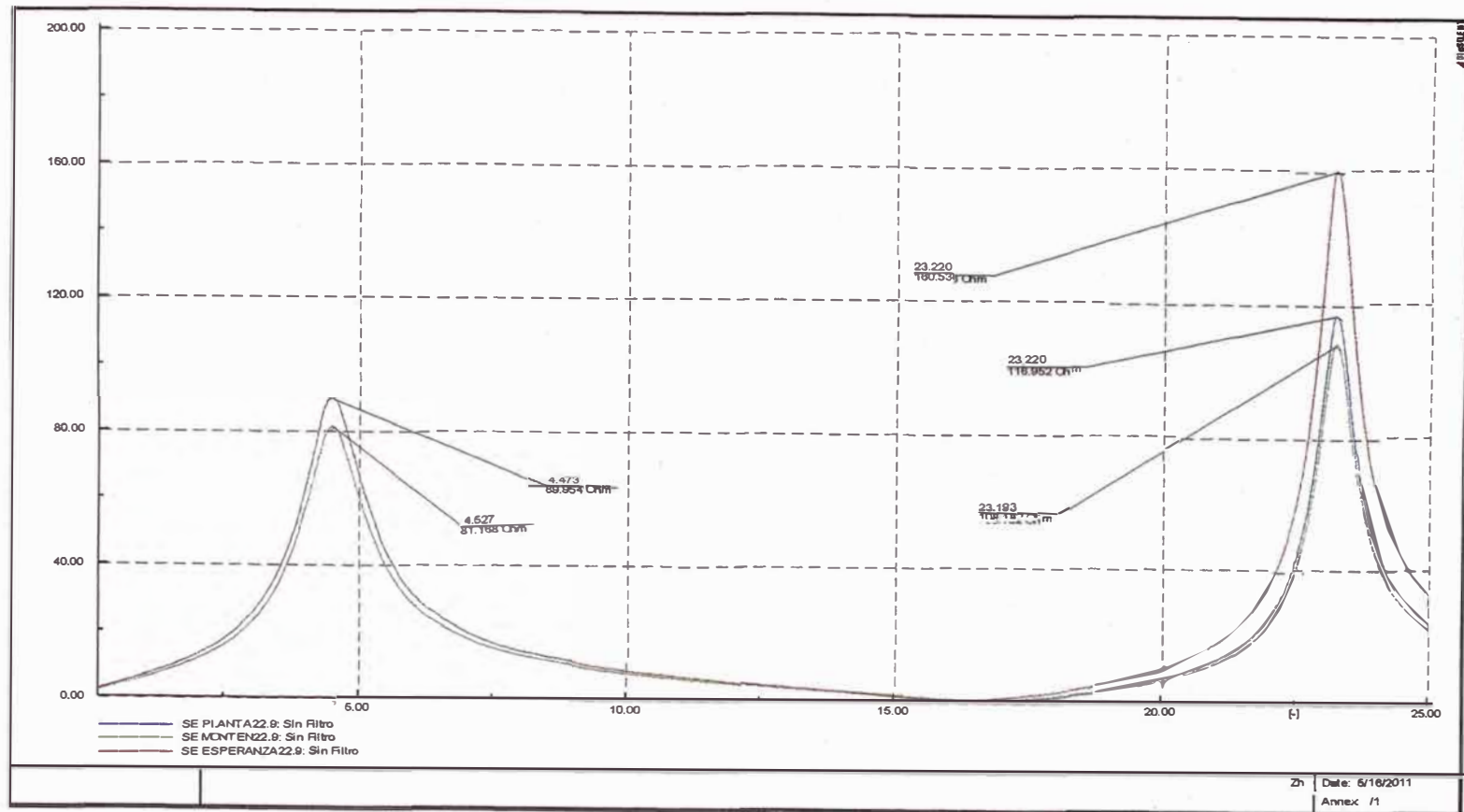


Gráfico N° G.4 Con 2 transformadores de 6MVA  
 Demanda Máxima – Condensador Sin Filtro

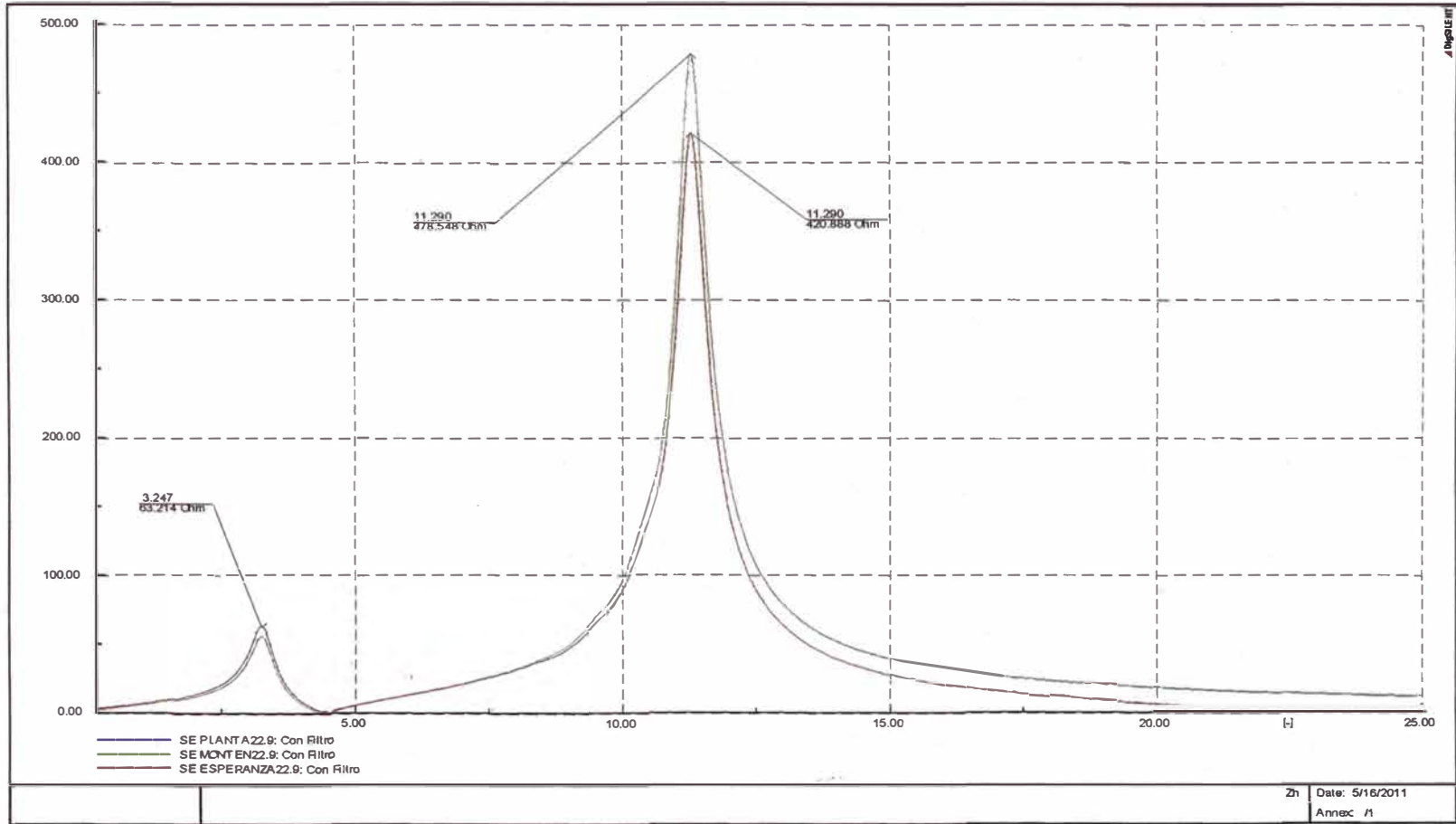


Gráfico N° G.5 Con 2 transformadores de 6MVA  
 Demanda Máxima – Condensador Sin Filtro

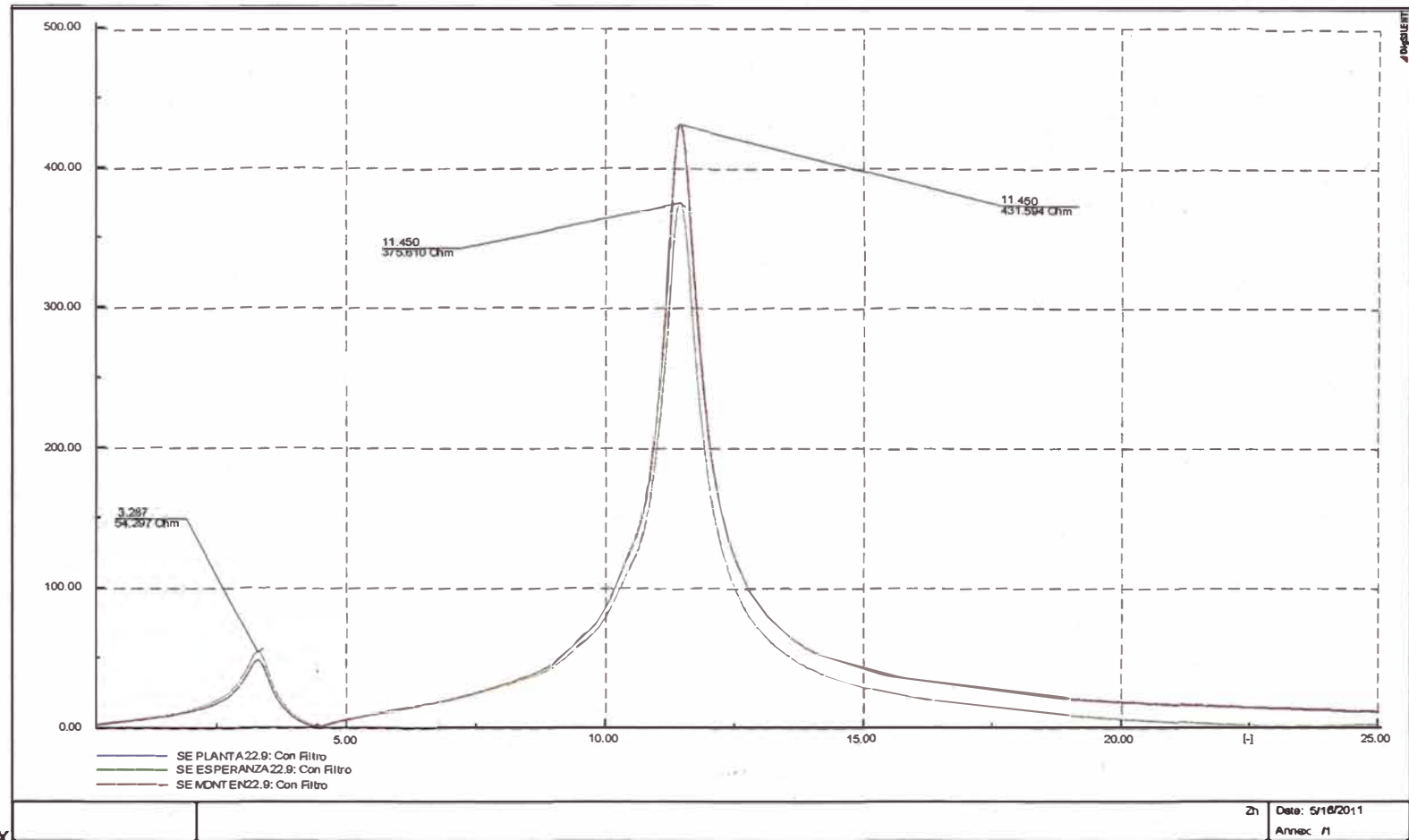


Gráfico N° G.6 Con 2 transformadores de 6MVA  
 Demanda Máxima – Con Condensador con Filtro

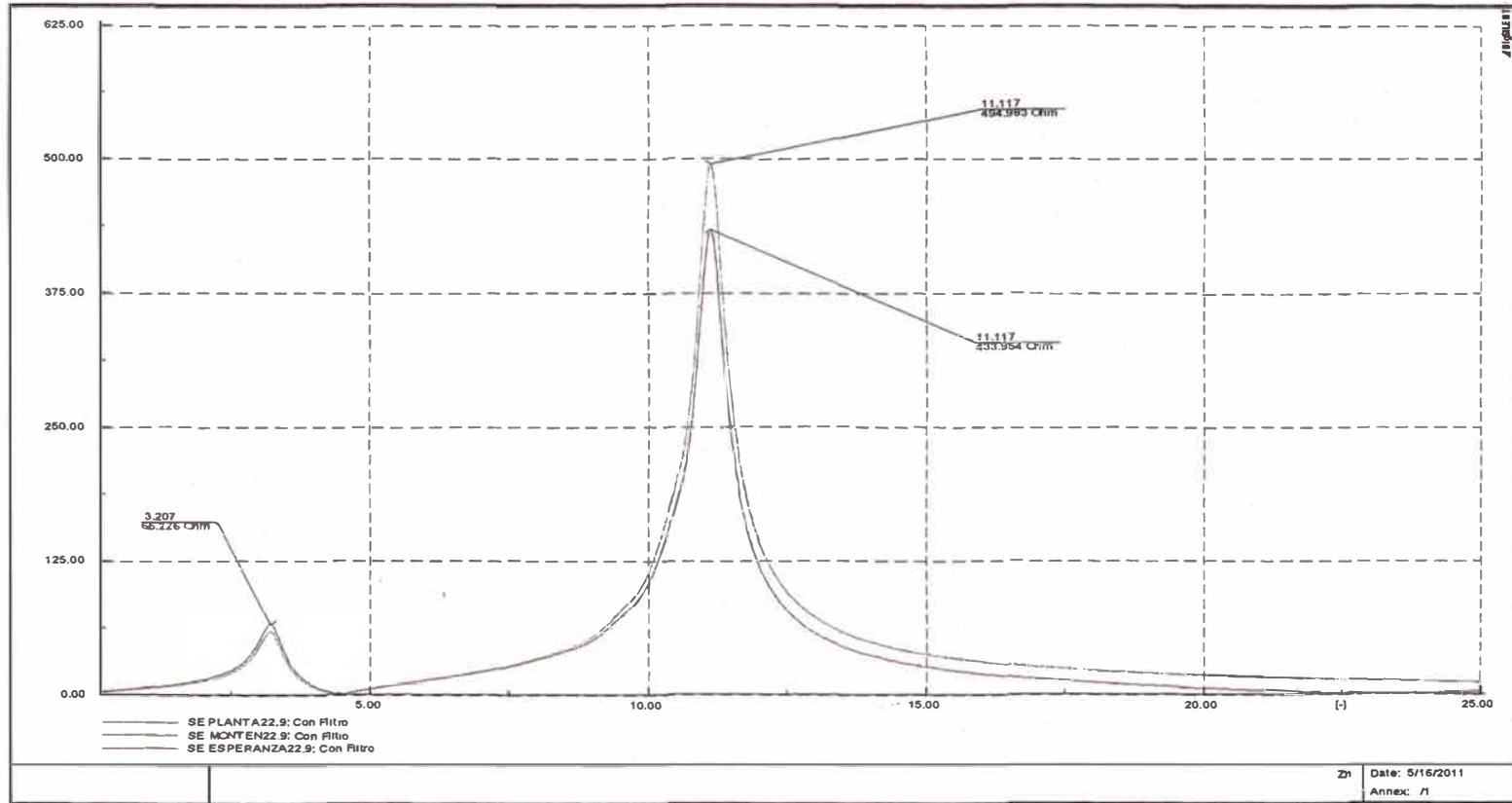


Gráfico N° G.7 Con 1 transformador de 15MVA  
Demanda Media – Con Condensador con Filtro

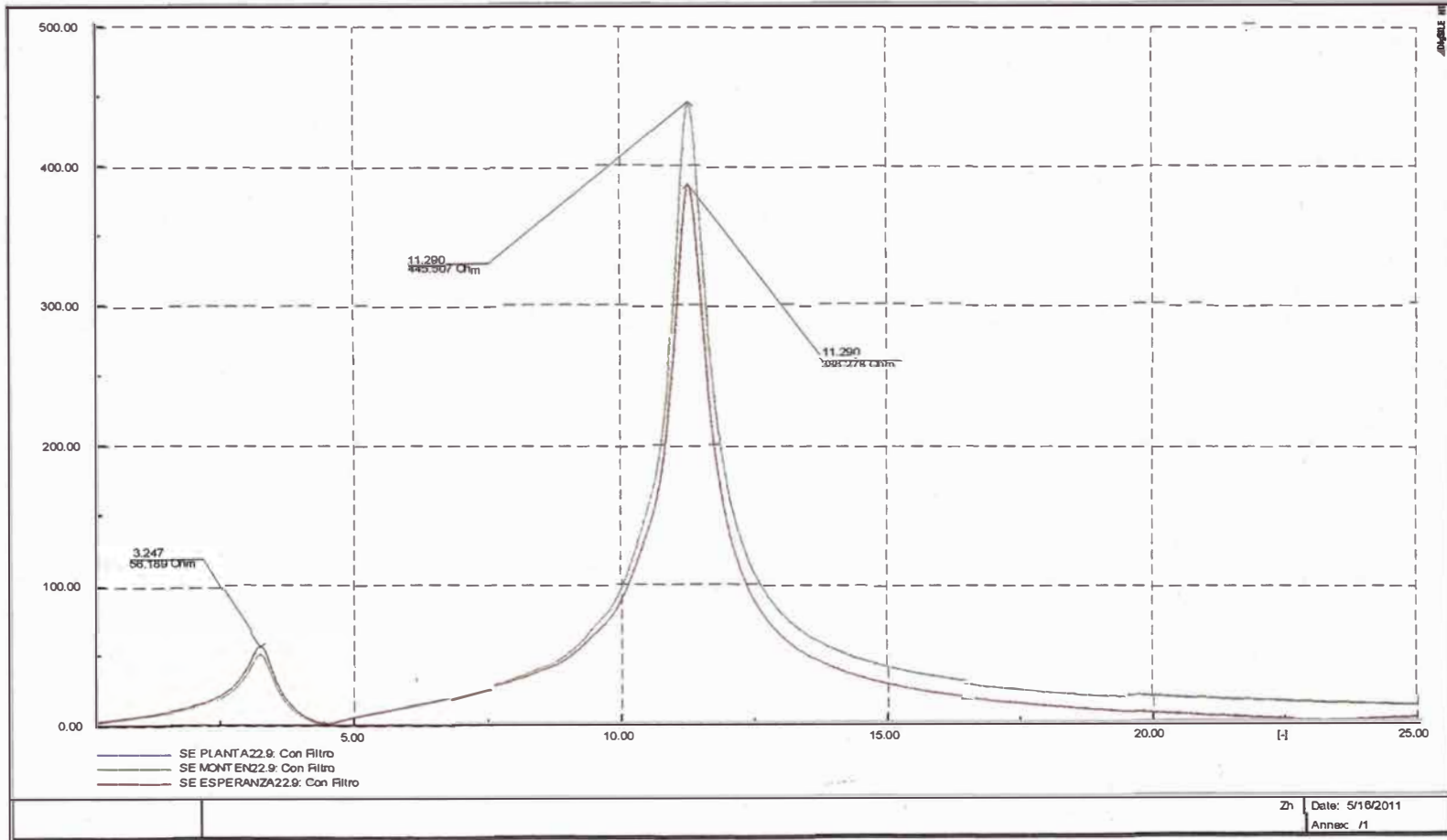


Gráfico N° G.8 Con 1 transformador de 15MVA  
 Demanda Máxima – Con Condensador con Filtro

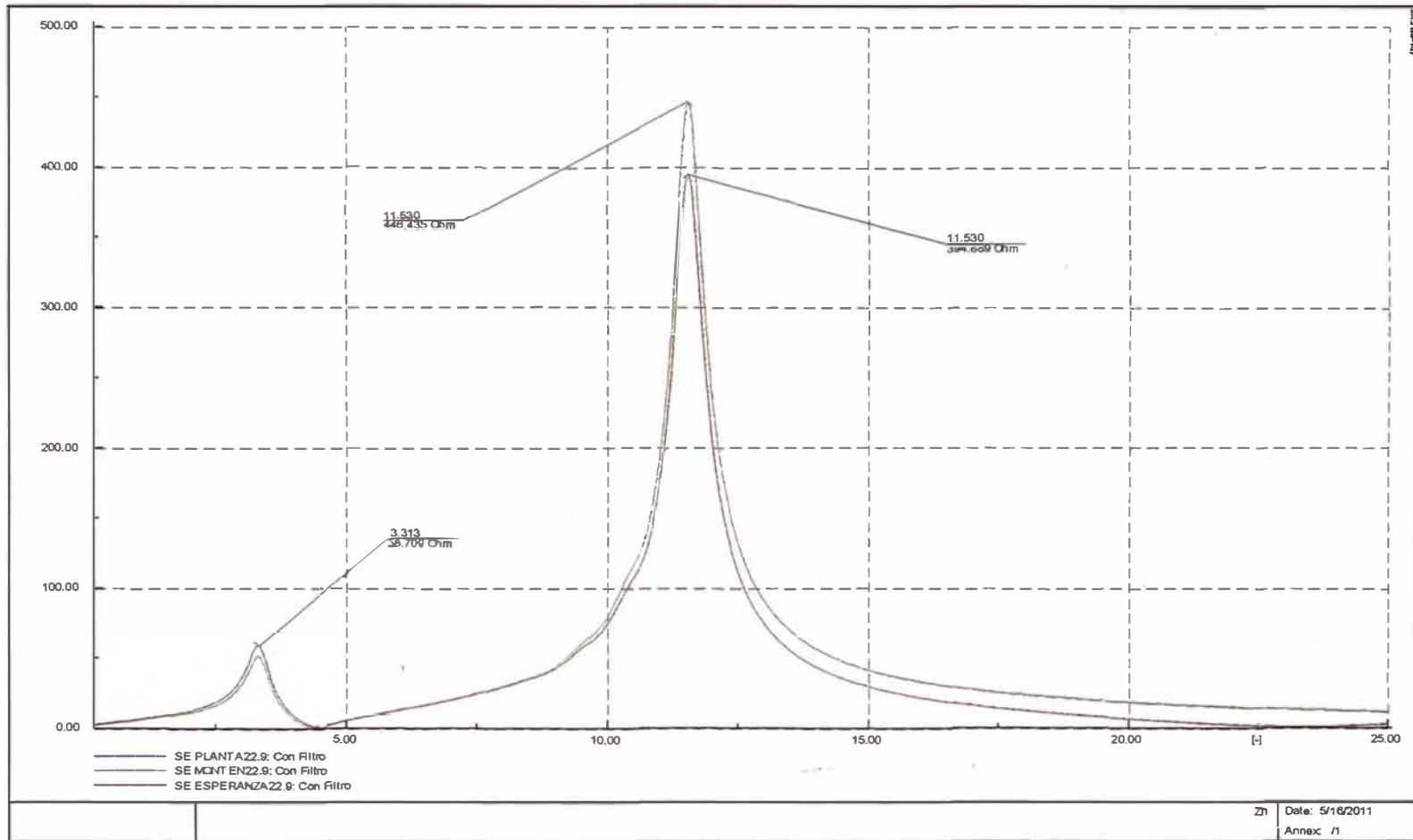


Gráfico N° G.9 Con 2 transformadores de 15MVA  
 Demanda Media – Con Condensador con Filtro

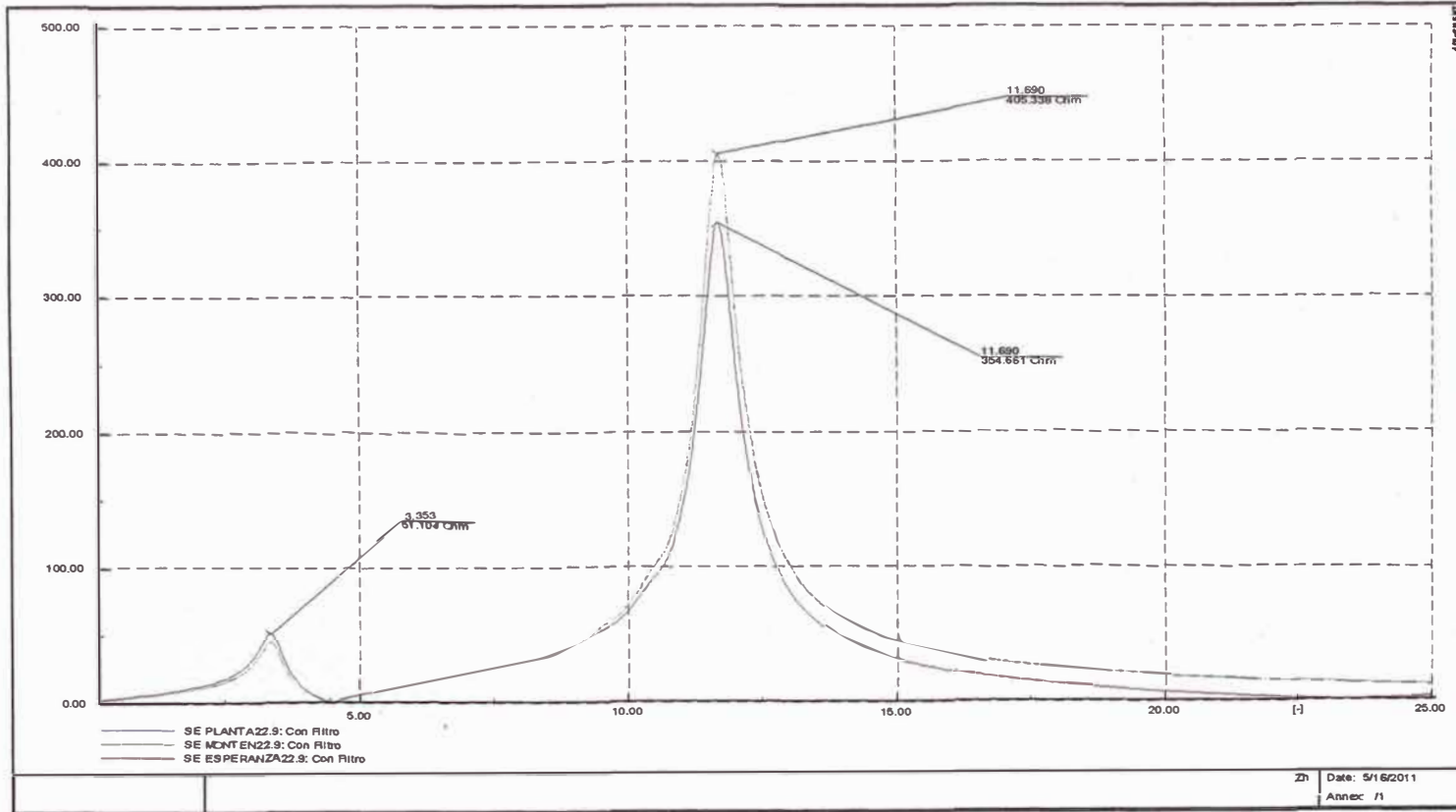


Gráfico Nº G.10 Con 2 transformadores de 15MVA  
Demanda Máxima – Con Condensador con Filtro



## ANEXO H

### ESPECTROS DE ARMÓNICOS<sup>117</sup>

<sup>117</sup> Fuente Propia

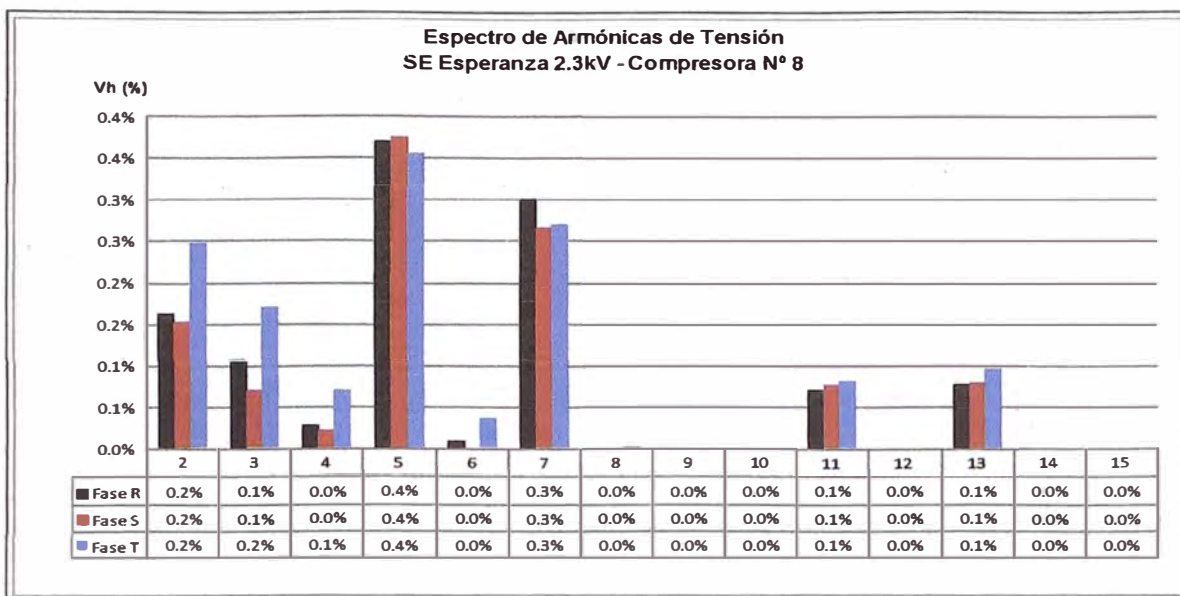


Gráfico N° H.1

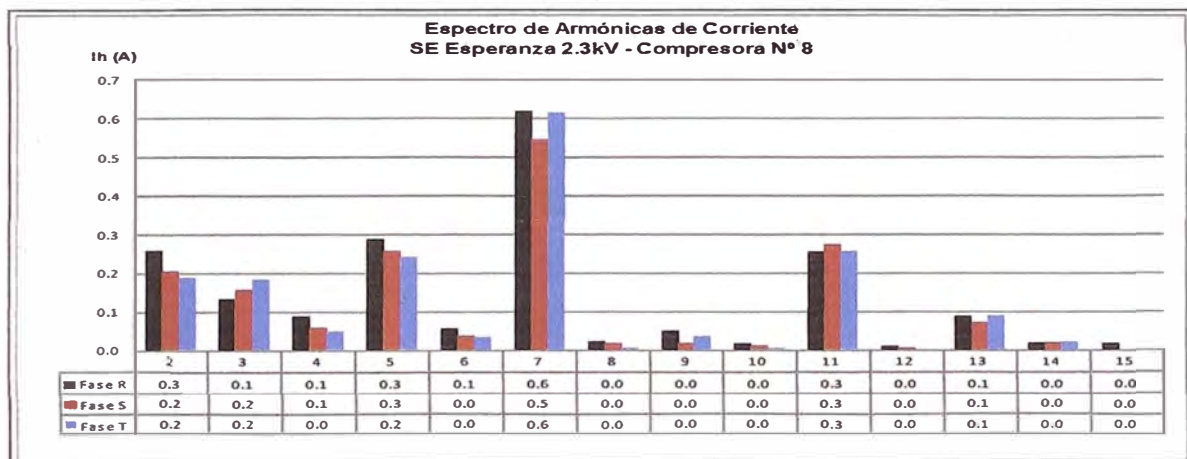


Gráfico N° H.2

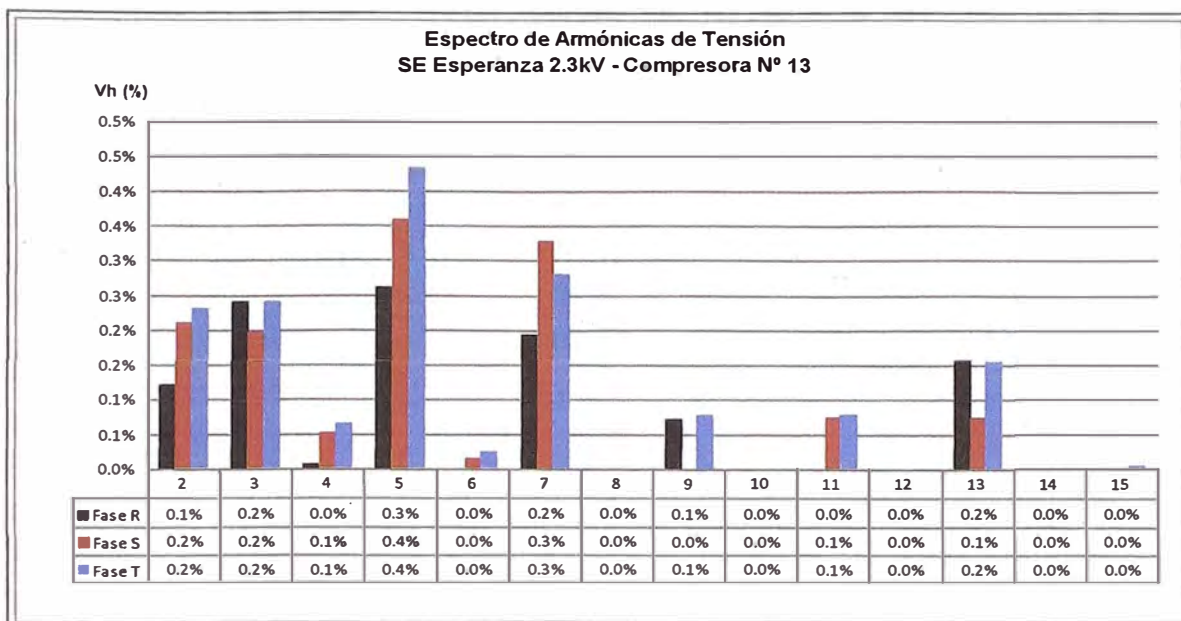


Gráfico N° H.3

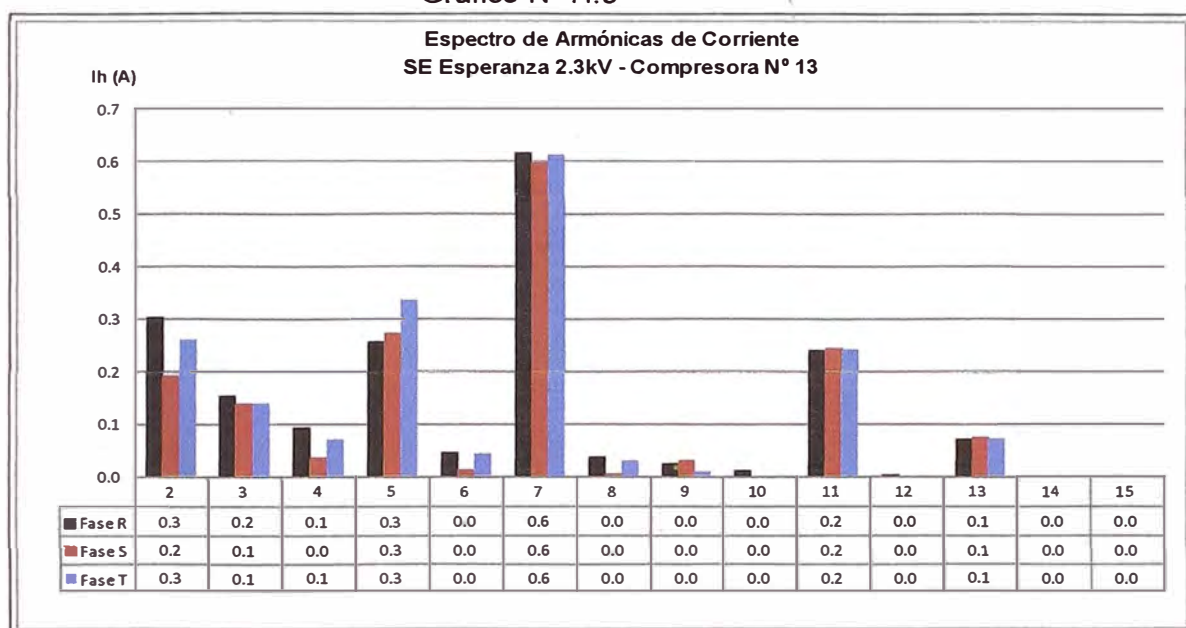


Gráfico N° H.4

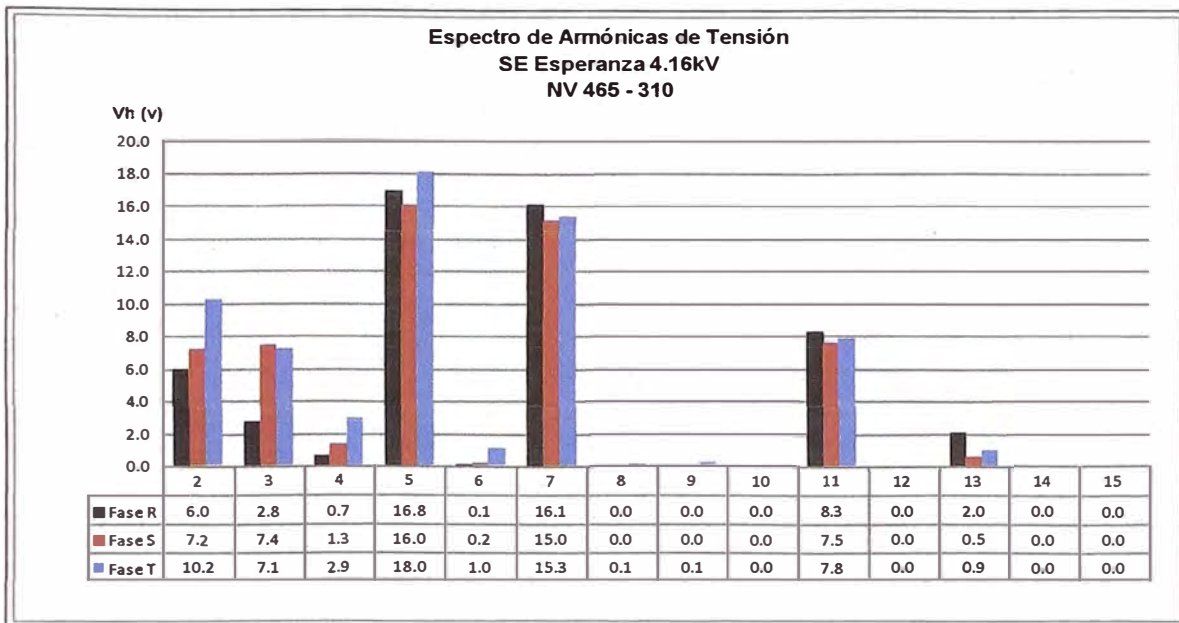


Gráfico N° H.5

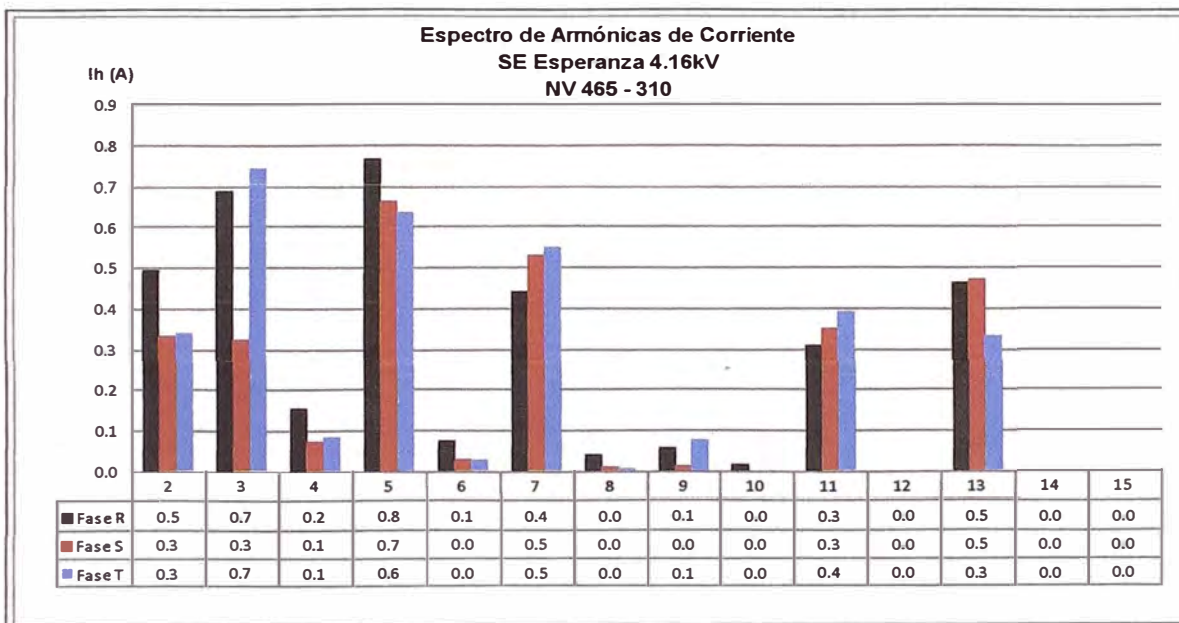


Gráfico N° H.6

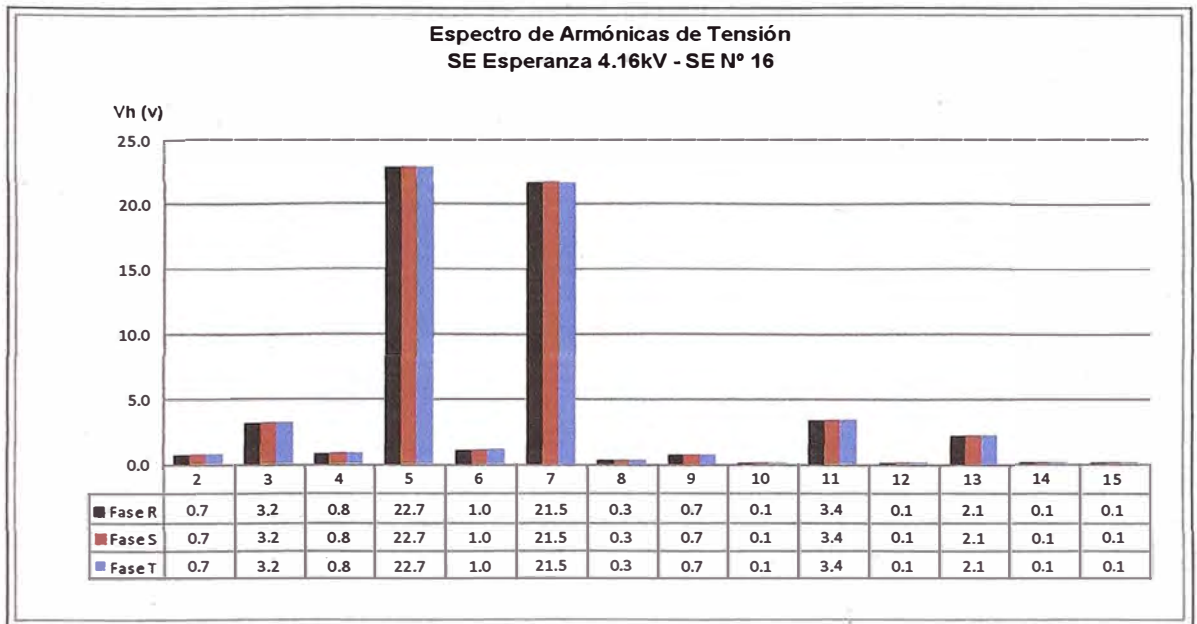


Gráfico N° H.7

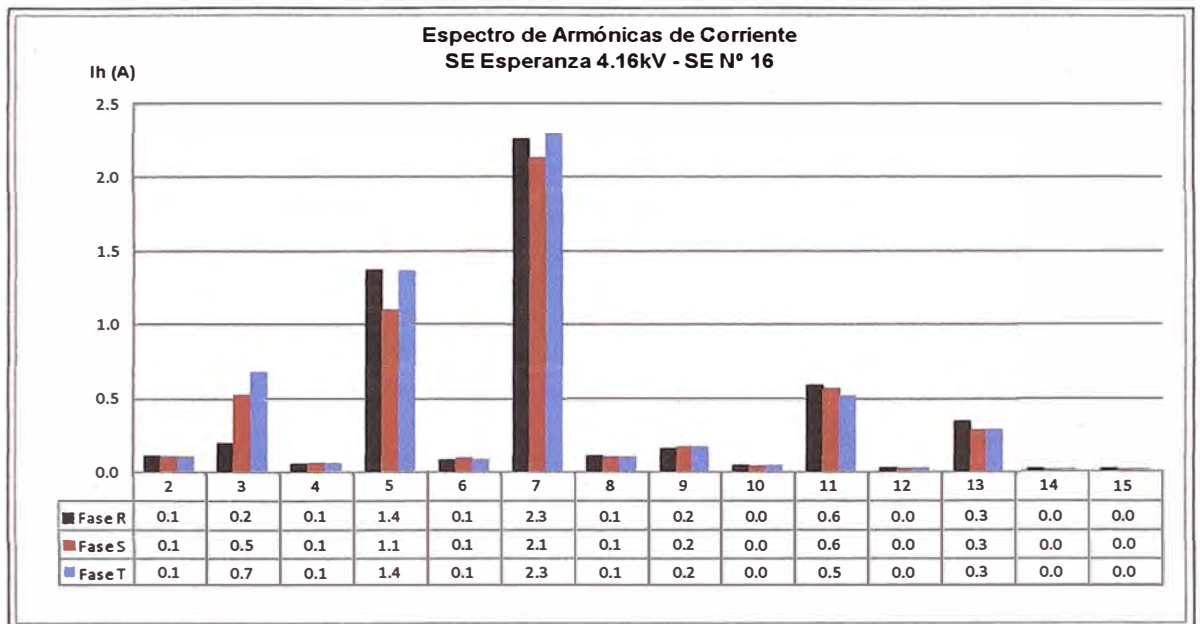


Gráfico N° H.8

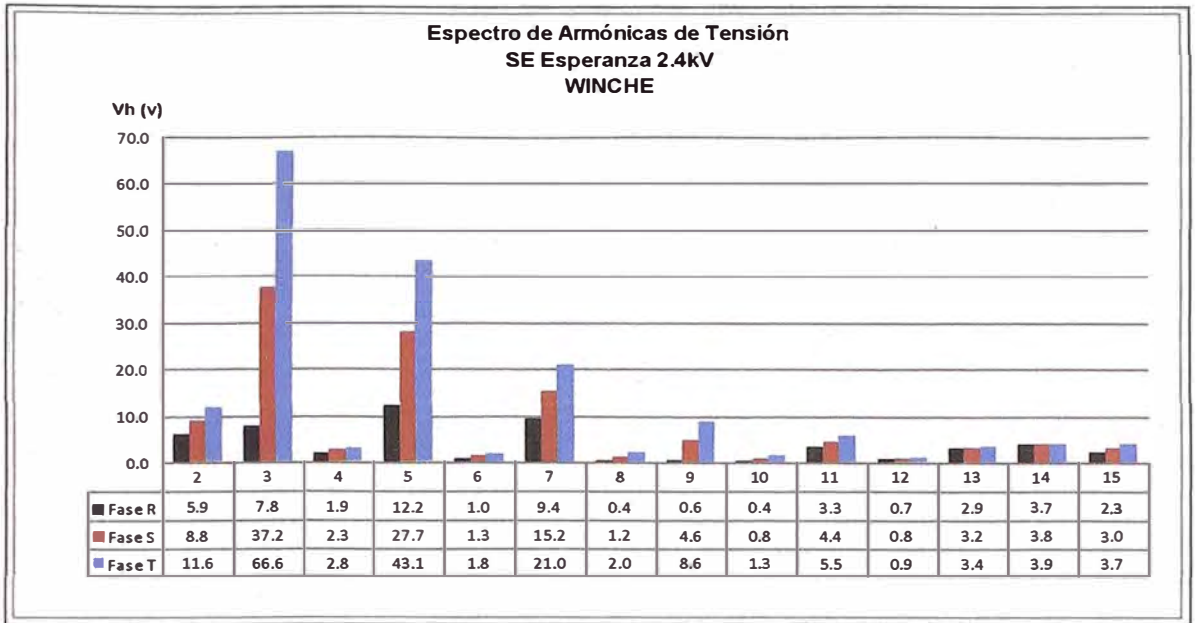


Gráfico N° H.9

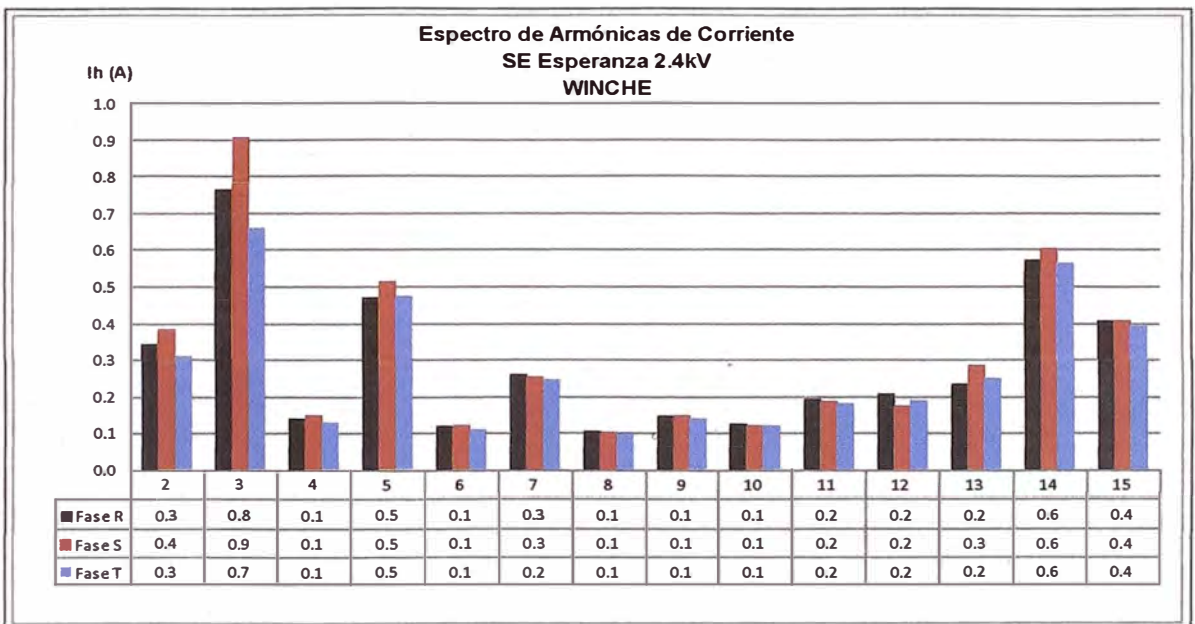


Gráfico N° H.10

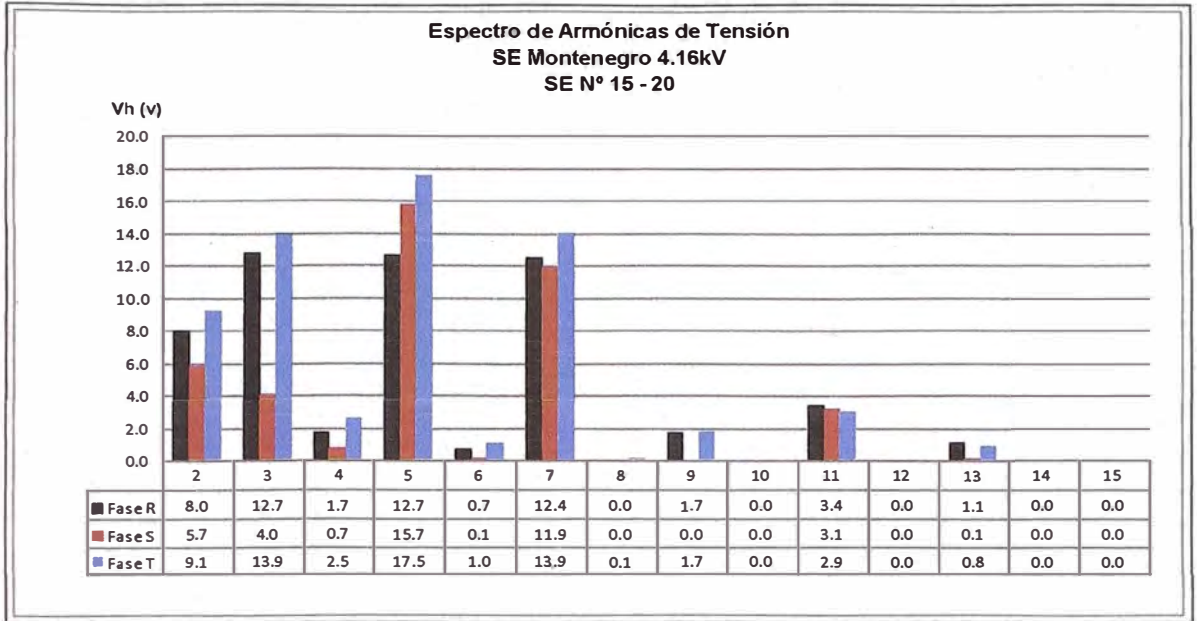


Gráfico N° H.11

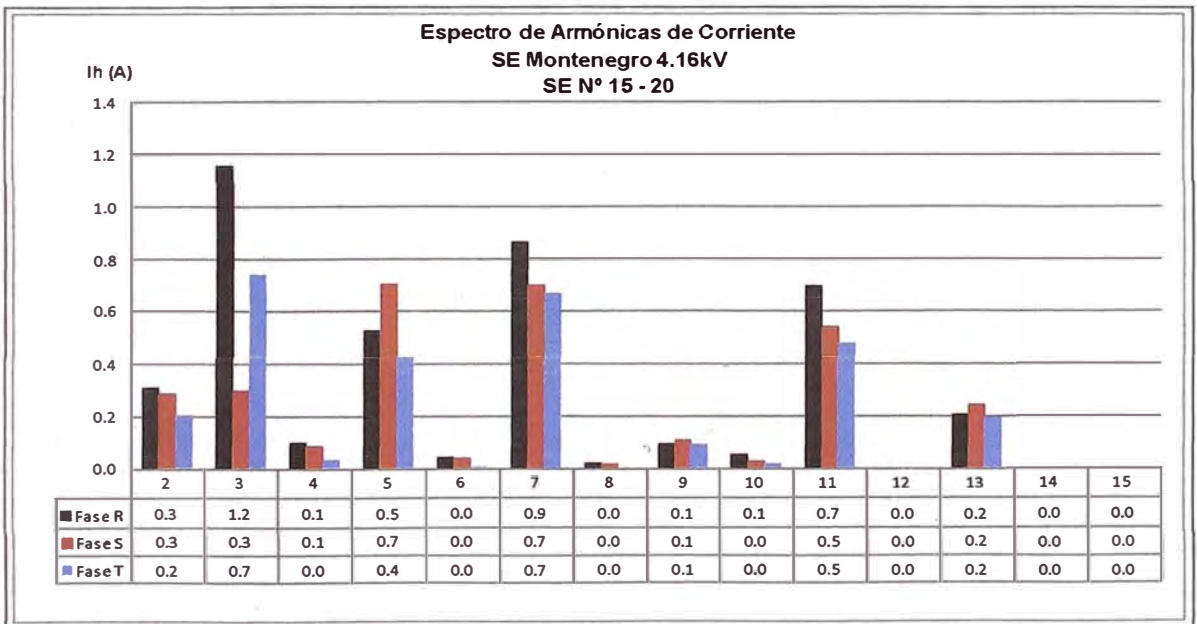


Gráfico N° H.12

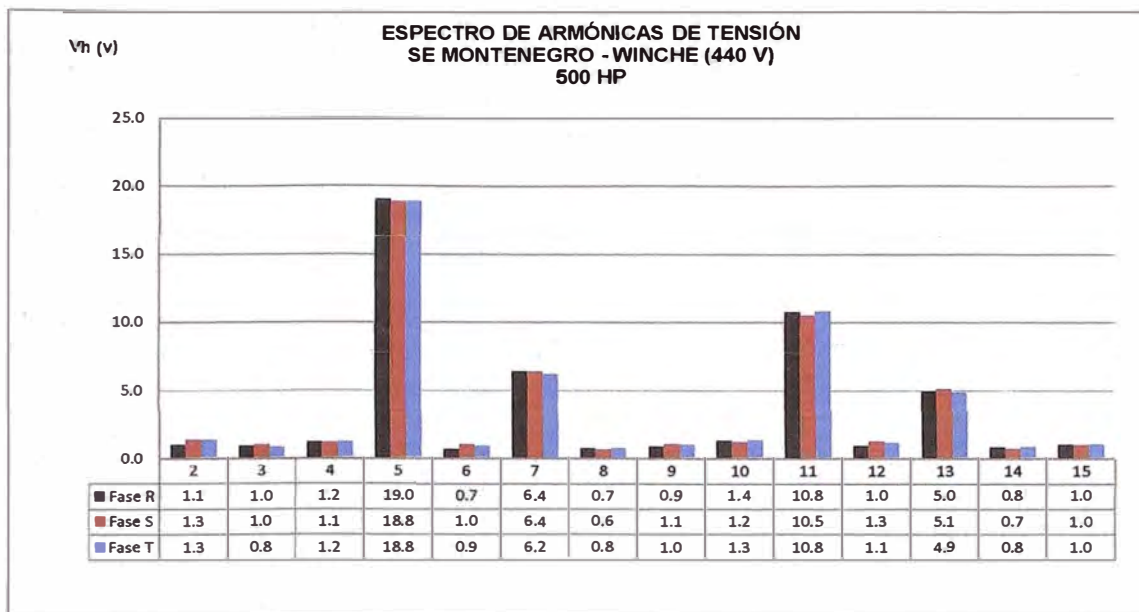


Gráfico N° H.13

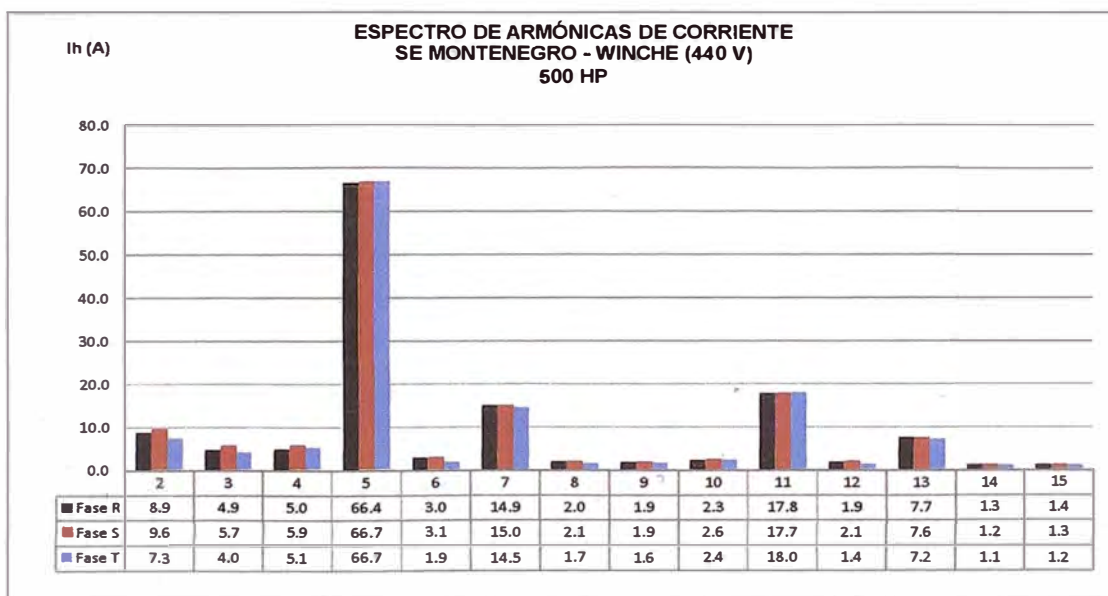


Gráfico N° H.14



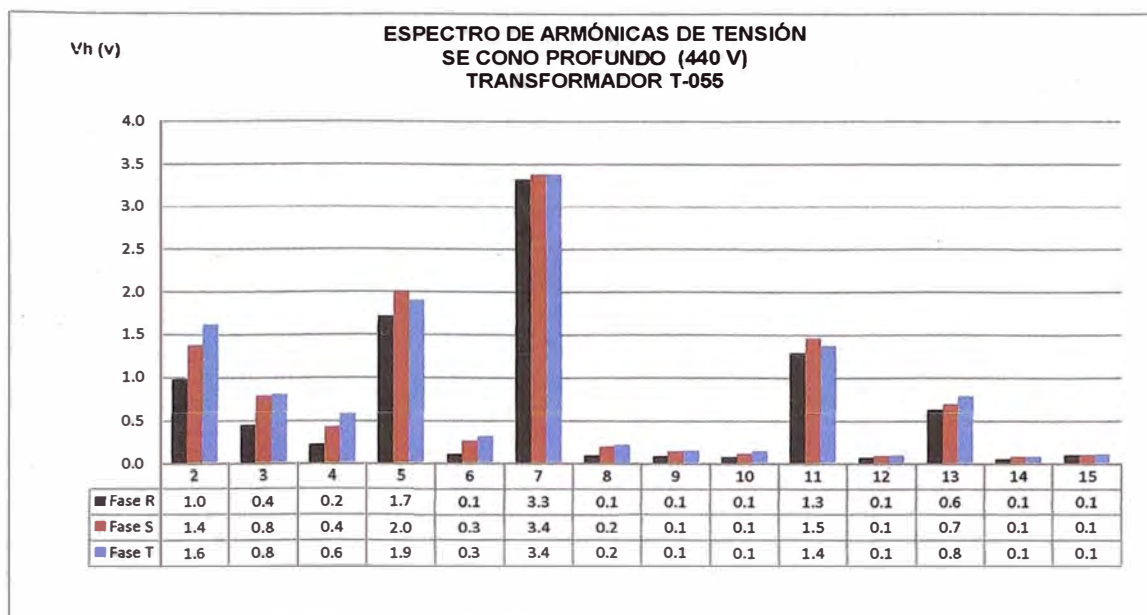


Gráfico N° H.15

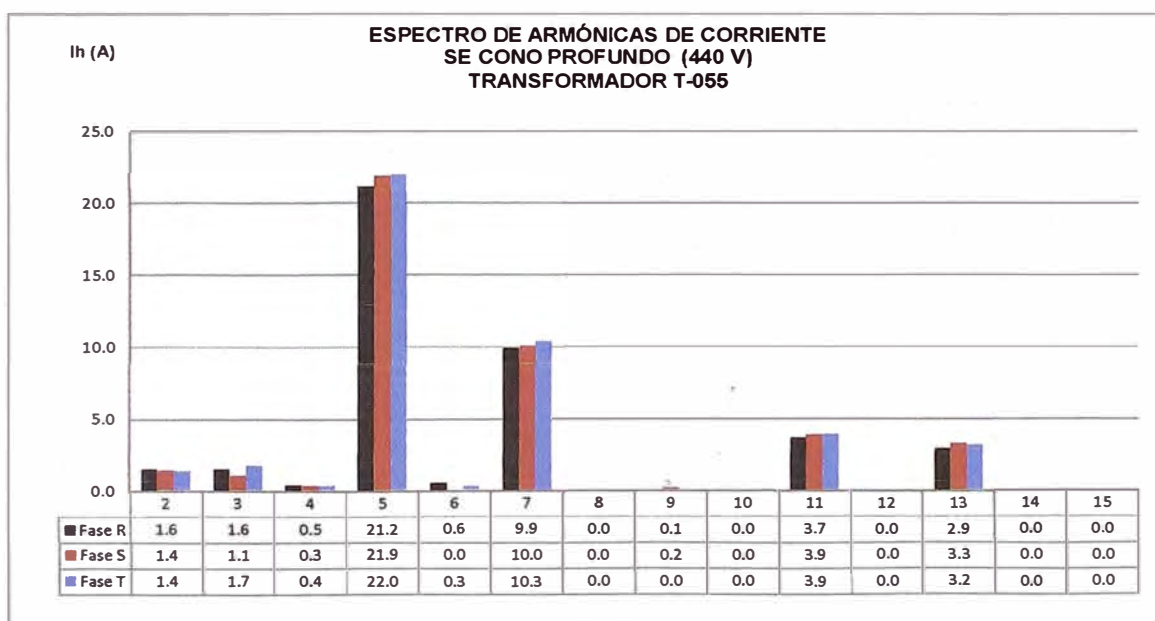


Gráfico N° H.16

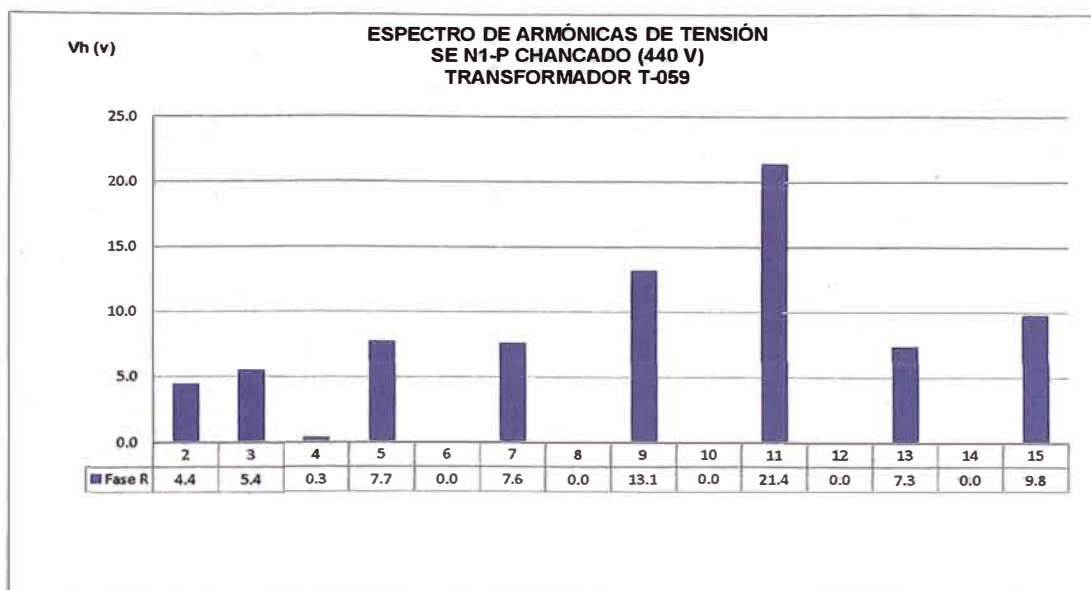


Gráfico N° H.17

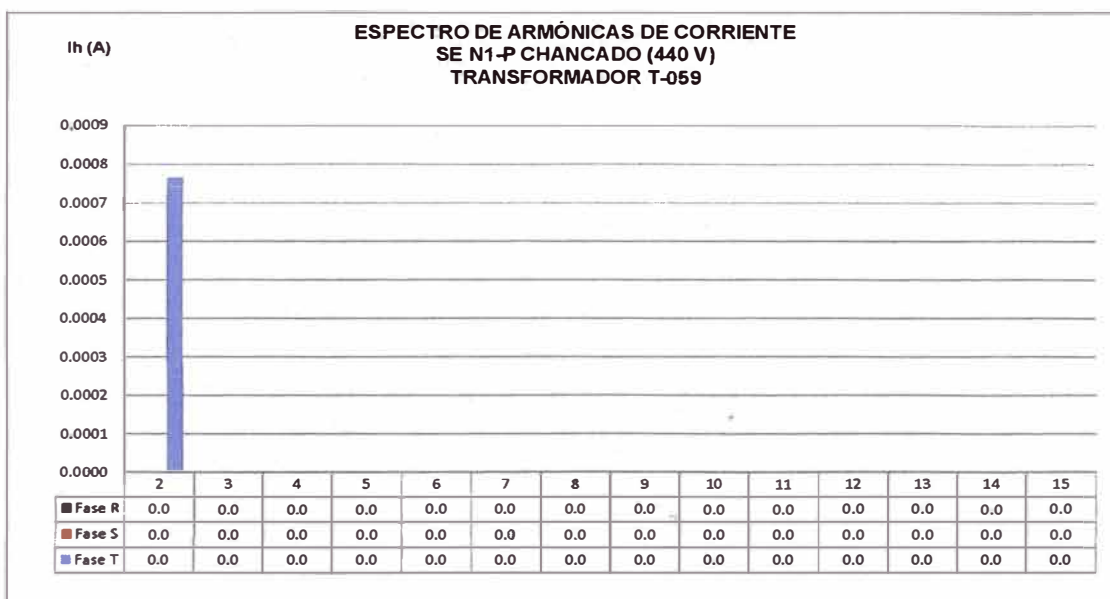


Gráfico N° H.18

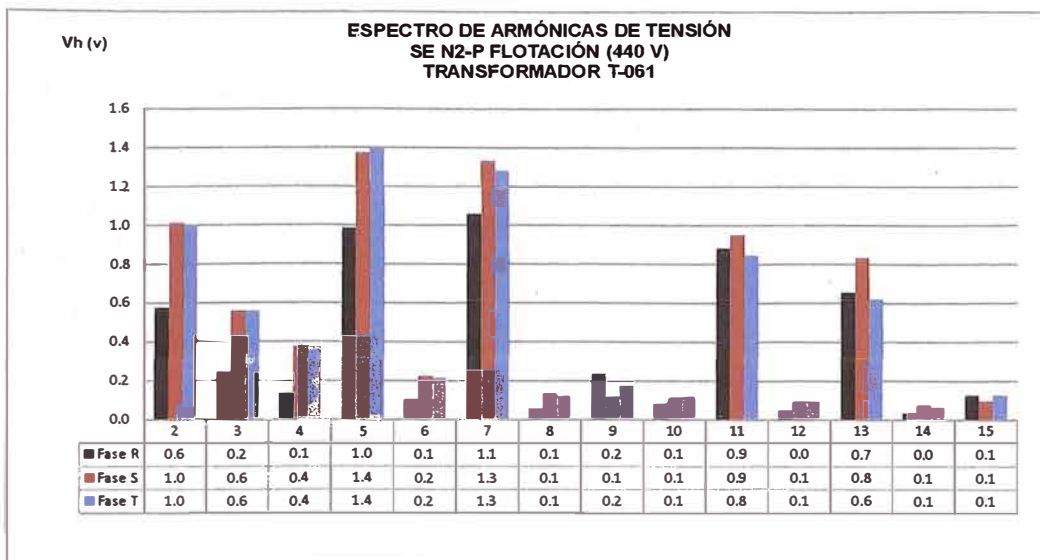


Gráfico N° H.19

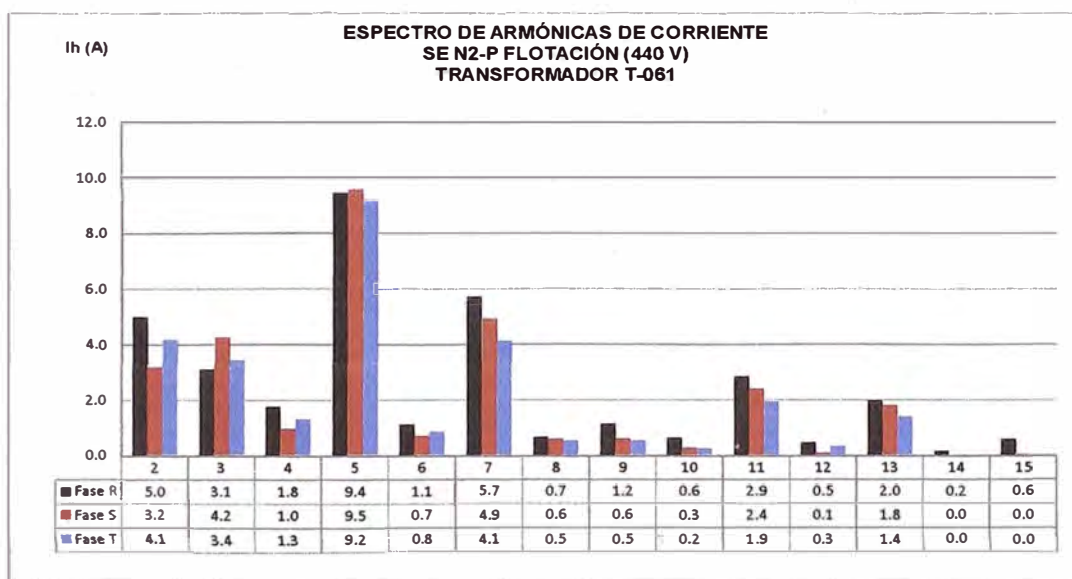
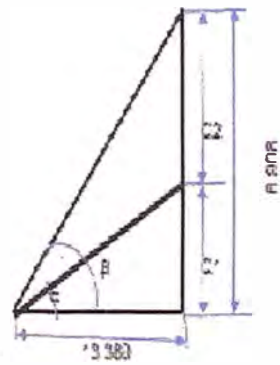


Gráfico N° H.20

## ANEXO I

### Cálculo de Compensación



$$\beta = \text{Arc cos } 0.689 = 27.25^\circ$$

$$c = \text{Arc cos } 0.965 = 15.20^\circ$$

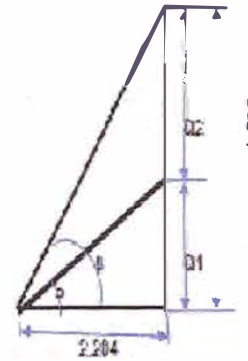
$$\text{tg } \alpha = 21.19380$$

$$Q1 = 15380 \text{tg } \alpha = 3636.7$$

$$Q2 = 6908 - 3636.17 = 3.272$$

Pot. Reactiva a Compensar:

**Q2 = 3.272**



$$\beta = \text{Arc tg } 11382 = 26.36^\circ$$

$$\alpha = \text{Arc cos } 0.94 = 15.20^\circ$$

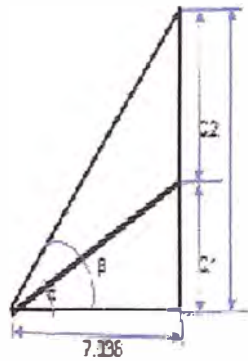
$$\text{tg } \alpha = 0.12204$$

$$Q1 = 2204 \text{tg } \alpha = 538.81$$

$$Q2 = 1092 - 538.8 = 492$$

Pot. Reactiva a Compensar:

**Q2 = 492.9**



$$\beta = \text{Arc tg } 13638/7038 = 27.71^\circ$$

$$c = \text{Arc cos } 0.965 = 15.20^\circ$$

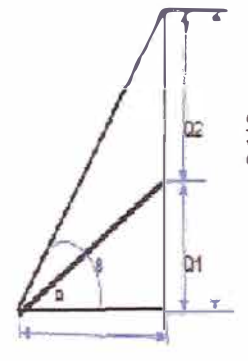
$$\text{tg } \alpha = 21.7038$$

$$Q1 = 7038 \text{tg } \alpha = 19218$$

$$Q2 = 3698 - 1912.18 = 1.735$$

Pot. Reactiva a Compensar:

**Q2 = 1.735.82**



$$\beta = \text{Arc tg } 2119 = 27.12^\circ$$

$$\alpha = \text{Arc cos } 0.94 = 15.20^\circ$$

$$\text{tg } \alpha = 0.14136$$

$$Q1 = 4138 \text{tg } \alpha = 124$$

$$Q2 = 2119 - 1124 = 995$$

Pot. Reactiva a Compensar:

**Q2 = 995.00**

Figura I – 1. Cálculos de Compensación Inicial

## BIBLIOGRAFÍA

- Alegria, M. M. (2006). *Sistema y método para determinar las contribuciones armónicas de cargas no lineales en sistemas de potencia*. Georgia: Instituto de Tecnología de Georgia.
- Antonio, H. J. (2010). *Energy Law in Peru (NTCSE)*. Kluwer Law International.
- Arce, U. J. (2010). *Diseño, Selección y Mantenimiento de Transformadores mediante Análisis de Cargabilidad*.
- Boggio, I. M. (2002). *Compendio de la minería peruana*. Lima: Instituto Mario Samamé Boggio.
- C, A. &. (2000). *Distorsion Armónica*. Puebla, Mexico.
- Donate, A. H. (2010). *Principios de Electricidad y Electrónica III 2aEd., Volumen 3*. Marcombo.
- Estrella Esperanza, P. L. (2004). *Análisis de armónicos en sistemas de distribución*. Bogota: Univ. Nacional de Colombia.
- Jesùs Arguillada Garmendia, L. I. (1994). *Armónicos en sistemas de potencia*. Cantabria: Ed. Universidad de Cantabria.
- Loyo, J. M. (2013). *Contratacion de Suministro Eléctrico*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Muhammad, R. (2011). *POWER ELECTRONICS HANDBOOK*. Elsevier.
- Osvaldo M. Micheloud, R. A. (2012). *Smart Grids: Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones*. Smart Grids: Fundamentos, Tecnologías y Aplicaciones.
- Ramon Maria, M. R. (2010). *Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas*. Catalunya: Univ. Politèc. de Catalunya.
- Santiago, R. (2008). *La inversión en el Perú, 2002-2003: entorno, industrias, regiones, financiamiento y estrategias empresariales*. Lima: ESAN Ediciones.
- Senner, A. (1994). *Principios de electrotecnia*. Reverte.