



A.F. 132340

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN  
ELECTRICIDAD Y COMPUTACION**

**CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA:**

**"ANALISIS DE LA GENERACION Y PROPAGACION DE SEÑALES  
ARMONICAS EN SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA"**

**Caso de estudio:**

**"PLANTA INDUSTRIAL DE LA COMPAÑIA DE CERVEZAS  
NACIONALES C.A "**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del Título de  
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**Especialización POTENCIA**

**REALIZADO POR:**

***Marlon Fabricio Trujillo Macas  
Fernando Patricio Reyes Romero***

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**2002**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN  
ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

**CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA:**

**“ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DE  
SEÑALES ARMÓNICAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE  
POTENCIA”**

**Caso de estudio:**

**PLANTA INDUSTRIAL DE LA COMPAÑÍA DE CERVEZAS  
NACIONALES C.A”**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

**Especialización POTENCIA**

**Realizada por:**

**Marlon Fabricio Trujillo Macas  
Fernando Patricio Reyes Romero**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2002**

## DEDICATORIA

- A DIOS:** Por darme la vida y ser mi guía y maestro.
- A mis padres:** Sucre e Isabel por darme su ayuda y apoyo incondicional en todo momento.
- A mi esposa:** Olga, por estar a mi lado dándome el valor y la fuerza necesaria para salir adelante.
- A mi hija:** Patricia, que con su dulzura y cariño me ha dado la inspiración para obtener este triunfo.
- A mis amigos:** Que de una u otra forma me han dado su apoyo para lograr la realización de este trabajo y de manera especial a:

José Caicedo Mejía  
Marlon Trujillo Macas  
Farley Zapata Posada

### **Y de manera muy especial a:**

A mis suegros, Héctor y Violeta  
A mis abuelos, Manuel y Holanda  
A mi abuela política, Olga, y  
A todas aquellas personas que de una u otra manera me dieron su  
Apoyo incondicional

Marlon Fabricio Trujillo Macas

## DEDICATORIA

**A la Virgen del Cisne:** Por estar siempre a mi lado.

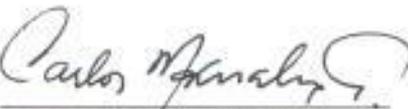
**A mis padres:** LUIS Y DEYSE, por ser los guías de mi vida.

**A mis hermanas:** YOHANA Y LUISA, lo mejor de mi vida.

**A mis primos:** GONZALO Y BOLIVAR por creer en mí.

**A mis amigos:** Por ser testigos y coparticipes de mi vida estudiantil:

(Patricio Reyes, Miguel Castillo, Diego Jaramillo, Augusto Escudero, Lenin Román, Rómulo Abrigo, José Imaicela, Robert Vega).



---

**Ing. Carlos Monsalve**  
Sub Decano



---

**Ing. Julio Naranjo**  
Director de tesis



---

**Ing. Alberto Hanze**  
Miembro principal



---

**Ing. Alberto Manzur**  
Miembro principal

## AGRADECIMIENTO

A la área de Mantenimiento y Servicios de la Compañía de Cervezas Nacionales, por las facilidades que nos prestaron, para poder realizar nuestro trabajo, en especial al Ing. Julio Naranjo que como Jefe de Mantenimiento Eléctrico y Director de nuestra tesis, no escatimo esfuerzo alguno por brindarnos todo el apoyo que estaba a su alcance.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la E.S.P.O.L)



Fernando P. Reyes



Marlon F. Trujillo

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad determinar la incidencia de las corrientes y voltajes armónicos en los sistemas eléctricos de potencia.

La proliferación de los dispositivos de electrónica de potencia (semiconductores como diodos, transistores), han influido notablemente en el aumento del nivel de armónicas en los sistemas eléctricos, lo que trae como consecuencia distorsión en las formas de onda tanto de corriente como de voltaje. El perfeccionamiento de los semiconductores a desarrollado la utilización de accionamientos eléctricos para motores de corriente alterna, los cuales se los conoce como convertidores estáticos (variadores de frecuencia), así también de equipos eléctricos que funcionan con fuentes conmutadas, tal es el caso de los computadores personales, monitores de video, fax, impresoras, etc; todos estos equipos se los considera fuentes generadoras de armónicas.

Se realizará una descripción de cada una de estas fuentes generadoras de armónicos para conocer el grado de incidencia en los sistemas eléctricos de potencia.

Se enunciarán las normas que rigen a nivel nacional e internacional en lo referente al control de armónicos en los sistemas eléctricos de potencia; así también se definirán los límites de voltaje y/o corriente armónica que son permisibles.

Al existir estas cargas no lineales en el sistema eléctrico de potencia, estudiaremos las consecuencias, efectos y problemas que ocasiona tanto a las empresas distribuidoras como a los usuarios del servicio de energía eléctrica.

Las empresas distribuidoras como los usuarios deben tener un constante monitoreo donde se describirá las condiciones que se deben tomar en cuenta, como es la correcta selección del punto de acople común, el cual es un paso muy importante dentro de un estudio de distorsión armónica.

Describiremos los equipos más idóneos para la medición y el monitoreo, dando sus características y especificaciones técnicas las cuales hacen valioso a estos equipos, para los estudios de distorsión armónica.

Analizaremos las formas de control de las señales armónicas, utilizando técnicas tales como la modificación de la topología de red, hasta la utilización de filtros, los cuales se han desarrollado para proporcionar resultados eficientes gracias al avance tecnológico de las compañías fabricantes de los mismos.

Como aplicación de nuestro estudio analizaremos las condiciones de la "Planta industrial de la Compañía de Cervezas Nacionales" desde el punto de vista de las distorsiones armónicas, ya que ellos son considerados uno de los grandes consumidores de energía eléctrica en el Ecuador y además cuenta con un gran número de fuentes generadoras de armónicos.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	1

## CAPITULO I

Pág.

### 1. Armónicos en los sistemas eléctricos de potencia.

1.1	Introducción	3
1.2	Definiciones asociadas a los armónicos	4
1.3	Análisis de armónicos	8
1.4	Armónicos de Voltaje y de Corriente	11
1.4.1	Armónicos de corriente	11
1.4.2	Armónicos de tensión	12
1.5	Fuentes generadoras de armónicos	13
1.5.1	Generalidades	13
1.5.1.1	Transformadores	15
1.5.1.2	Maquinas rotativas	20
1.5.1.3	Convertidores Estáticos de potencia	22
1.5.1.4	Banco de Capacitores	24
1.5.1.5	Lámparas Fluorescentes	26
1.5.1.6	Fuentes ininterrumpidas de voltaje (UPS)	26
1.5.1.7	Computadoras, Impresoras, Fax	28

## CAPITULO II

### 2. Mediciones y niveles admisibles de las señales armónicas.

2.1	Introducción	30
2.2	Distorsiones Armónicas	31
2.2.1	Distorsión armónica total (DAT)	31
2.2.2	Distorsión armónica individual(DAI)	32

2.3	Normas que rigen a nivel nacional e internacional las perturbaciones armónicas.....	33
2.3.1	Definición y conceptos.....	35
2.3.2	Limites distorsión de Voltaje.....	39
2.3.3	Limites distorsión de Corriente.....	42
2.3.4	Tolerancias y /o flexibilidad.....	42

### CAPÍTULO III

#### 3. Consecuencias de las señales armónicas en sistemas eléctricos de potencia

3.1	Introducción.....	44
3.2	Problemas que traen los armónicos para las Compañías Distribuidoras del servicio Eléctrico...	45
3.2.1	Causas.....	45
3.2.2	Efectos.....	46
3.3	Problemas que traen los armónicos para los grandes Consumidores (Industrias) del servicio Eléctrico....	47
3.3.1	Causas.....	47
3.3.2	Efectos.....	48

### CAPITULO IV

#### 4. Monitoreo de las señales armónicas en los sistemas eléctricos de potencia

4.1	Introducción.....	50
4.2	Descripción de los sistemas eléctricos de potencia.....	51
4.3	Clasificación de las cargas generadoras de armónicos.....	52
4.4	Selección de Punto de acoplamiento común ( PCC ).....	53
4.5	Monitoreo.....	55
4.5.1	Características de equipos para el monitoreo de las señales Armónicas.....	55

## CAPÍTULO V

### 5. CONTROL DE SEÑALES ARMÓNICAS

5.1	Introducción .....	63
5.2	Análisis de los Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia.....	64
5.3	Formas de Reducción de los armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia.....	65
5.3.1	Sobredimensionar los sistemas.....	66
5.3.2	Modificar Topología de la Red.....	68
5.3.3	Cambio del tipo de rectificador.....	69
5.3.4	Filtros.....	73
5.3.4.1	Filtros Pasivos.....	74
5.3.4.2	Filtros Activos.....	77

## ANEXO

### CASO DE ESTUDIO

#### “PLANTA INDUSTRIAL DE LA COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES”

##### ANEXO 1.

- ❖ Descripción del Sistema Eléctrico de Potencia de la C.C.N..... 80
- ❖ Codificación y descripción funcional de la maquinaria eléctrica y equipos electro – electrónicos de la C.C.N..... 98

##### ANEXO 2.

- ❖ Clasificación de la maquinaria y equipos que generan armónicos en la C.C.N..... 108
- ❖ Características del equipo de medición..... 110
- ❖ Descripción de las técnicas de medición y de obtención de datos..... 113
  
- ❖ Descripción del sistema funcional y parámetros de monitoreo en la red de A.T de la ..... 116
- ❖ Descripción del sistema funcional y parámetros de monitoreo de la red de B.T en la C.C.N..... 119
- ❖ Tabulación de datos..... 125

### ANEXO 3.

- ❖ Interpretación gráfica de los armónicos mediante métodos estadísticos..... 143
- ❖ Interpretación de resultados..... 186

### ANEXO 4.

- ❖ Generación y propagación de señales Armónicas..... 197
- ❖ Análisis de las causas de los armónicos en las máquinas y equipos clasificados..... 199
- ❖ Efectos de los Armónicos en la Red interna de la C.C.N..... 205
- ❖ Influencia de los armónicos de la Red externa hacia la interna de la C.C.N..... 208
- ❖ Resonancia..... 210
- ❖ Análisis de la característica impedancia-frecuencia..... 214

### ANEXO 5.

- ❖ Solución técnico – económica en el **área de cocimiento**..... 217
  - Implementación
  - Respuesta del sistema
- ❖ Solución técnico – económica en el **área de Bodega de frío**..... 231
  - Respuesta del Sistema
- ❖ Solución técnico – económica en el **área de Servicios**..... 235
  - Respuesta del Sistema
- ❖ Solución técnico – económica en el **área de Envase**..... 237
  - Respuesta del Sistema
- ❖ Solución técnico – económica en el **área de Piscina Industrial**... 241
  - Respuesta del Sistema

### ANEXO 6.

#### Respuesta del Sistema General de la C.C.N

- Conclusiones..... 243
- Recomendaciones..... 245

## ÍNDICE DE TABLAS CAPITULOS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
2.1	Límites de voltaje	40
2.2	Distorsión armónica de voltaje para suministradoras	40
2.3	Distorsión armónica de voltaje para consumidores	40
2.4	Distorsión armónica de voltaje para transformadores de distribución	41
2.5	Límites de distorsión de corriente	42
3.1	Clasificación de equipos generadores de armónicos por sector.	45
5.1	Corriente de fase y corriente del Neutro.	66

## ÍNDICE DE TABLAS ANEXOS

Características Protección del Trafo Principal (secundario)	80
Características celda de Alta Tensión (Maltería)	82
Características celda de Alta Tensión (Tostación)	83
Características Transformador 3Ø (envases)	84
Características del Banco de Transformación (envases)	84
Características Transformador 3Ø (envases)	84
Características celda de Alta Tensión (envases)	84
Características celda de Alta Tensión (servicios)	85
Características celda de Alta Tensión (Piscina Industrial)	86
Características celda de Alta Tensión (cocina)	87
Características celda de Alta Tensión (Bodega de frío)	88
Características del generador (Bodega de Frío y Edif. admit)	89
Codificación de Maquinaria Eléctrica	98
Codificación de Maquinaria por ubicación (área)	99
Registro de Máquinas	100
Características de placa de maquinas	100
Componentes de las máquinas (motores)	101
Clasificación de máquinas y equipos que generan armónicos	108
Equipos Electrónicos que generan armónicos	109
Capacidad de cargas no lineales en la Planta	110
Características del power logic	112
Tipos de Conexión de acuerdo al sistema	114
Características del Transformador de Corriente (power logic)	119
Características del Transformador de Potencial (power logic)	119
Parámetros del variador de cocina	126
Armónicos individuales de corriente variad. Frec. (cocina)	128
Características variador de frecuencia (secadores)	129
Armónicos individuales de corriente variad. Frec. (secadores)	130
Característica del transformador #3 (Bod. Frío)	131

Armónicos Individuales transformador #3 (Bod Frio)	133
Características del transformador #2 (Bod. Frio)	134
Armónicos Individuales transformador #2 (Bod Frio)	136
Características del banco de capacitores (servicios)	137
Armónicos Individuales banco de capacitores (servicios)	139
Características del variador de frecuencia Línea 3 (envases)	140
Armónicos Individuales varid. de frecuencia Línea 3 (envases)	142
Parámetros de intensidad Varid. Frecuencia. (cocina)	143
Parámetros de Tensión Varid. Frecuencia. (cocina)	144
Parámetros de intensidad Varid. Frecuencia. (secadores)	146
Parámetros de intensidad Banco de transformación (cocina)	148
Parámetros de tensión Banco de transformación (cocina)	149
Parámetros de Intensidad Trafo #1 (Bod.Frio y Edif.Admt)	151
Parámetros de Intensidad Trafo #2 (Bod.Frio y Edif.Admt)	153
Parámetros de Intensidad Trafo #3 (Bod.Frio y Edif.Admt)	155
Parámetros de Intensidad del banco de transformación (Bod.Frio)	157
Parámetros de Tensión del banco de transformación (Bod.Frio)	158
Parámetros de Intensidad del banco de capacitores (servicios)	160
Parámetros de Intensidad Arranc.Estado Sólido (servicios)	162
Parámetros de Intensidad Transformador Principal (servicios)	164
Parámetros de Tensión Transformador Principal (servicios)	165
Parámetros de Intensidad Varid de frecuencia Línea 3 (envases)	167
Parámetros de Tensión Varid de frecuencia Línea 3 (servicios)	168
Parámetros de corriente del Varid de frecuencia Super línea	170
Parámetros de Tensión del Varid de frecuencia Super línea	171
Parámetros de corriente del Banco de capacitores (envases)	173
Parámetros de corriente de las celdas de alta tensión (envases)	175
Parámetros de Tensión de las celdas de alta tensión (envases)	176
Parámetros de corriente del Transf. Seco (piscina industrial)	178
Parámetros de corriente del Transf.Principal (piscina industrial)	180
Parámetros de Tensión del Transf.Principal (piscina industrial)	181
Parámetros de corriente del Transf.Principal (S/E 69/13.2KV)	183

Parámetros de Tensión del Transf.Principal (S/E 69/13.2KV)	184
Niveles de Corriente de Cortocircuito S/E Principal CCN	194
Nivel de armónicos en CCN	195
Corrientes armónicas en el trafo.principal (69/13.2KV)	208
Voltajes armónicos en el trafo.principal (69/13.2KV)	208
Corrientes armónicas en el trafo.principal (69/13.2KV)	209
Voltajes armónicos en el trafo.principal (69KV) conelec	209
Voltajes armónicos en el trafo.principal (69KV)IEEE	210
Característica Imped vs Frecuencia faradios teóricos (envases)	215
Característica Imped vs Frecuencia faradios medidos (envases)	215
Característica Imped vs Frecuencia faradios medidos (servicios)	216
Característica Imped vs Frecuencia faradios teóricos (servicios)	216
Variación de temperatura (referencia de tierra S/E (69/13.2KV)	218
Variación de Resistencia con Distancia	220
Materiales para la referencia de tierra del tablero MCC	222
Costo económico de la referencia de tierra del tablero MCC	222
Variación de temperatura (referencia de tierra tablero MCC)	225
Variación de temperatura (refer.tierra tablero mcc y react.prueb)	229
Niveles de armónicos corriente Banco trafos cocina	230
Niveles de armónicos tensión Banco trafos cocina	230
Niveles de armónicos corriente transformador seco #1 Bod Frio	231
Niveles de armónicos corriente transformador seco #2 Bod Frio	231
Niveles de armónicos corriente transformador seco #3 Bod Frio	232
Medición de Corriente UPS sistemas	233
Niveles de armónicos corriente Banco de Tranfos Bod Frio	234
Niveles de armónicos tensión Banco de Tranfos Bod Frio	234
Niveles de armónicos corriente Arrancad. Estado sólido	235

Niveles de armónicos corriente Transf. Principal servicios	236
Niveles de armónicos tensión Transf. Principal servicios	236
Niveles de armónicos corriente Súper Línea	237
Niveles de armónicos tensión Súper Línea	237
Niveles de armónicos corriente Línea 3	238
Niveles de armónicos tensión Línea 3	238
Niveles de armónicos corriente Celdas de Alta tensión	240
Niveles de armónicos tensión Celdas de Alta tensión	240
Niveles de armónicos corriente Transf. Seco piscina Indst	241
Niveles de armónicos corriente Transf. Principal piscina Indst	242
Niveles de armónicos tensión Transf. Principal piscina Indst	242

## ÍNDICE DE FIGURAS CAPITULOS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Superposición de corrientes armónicas	6
1.2	Carga máxima de un transformador	8
1.3	Tipos de carga	14
1.4	Corriente total de excitación de un transformador	16
1.5	Esquema de un devanado terciario	17
1.6	Accionamiento para motor de a.c	23
1.7	a) Resonancia Paralela b) Resonancia Serie	24
1.8	Circuito Equivalente para análisis sistemas a frecuencias armónicas.	24
1.9	Diagrama UPS	26
1.10	Forma de onda(Rectificador UPS)	27
1.11	a) Fuente de poder PC b) Forma de onda (rectificador monofásico)	28 29
2.1	Transitorio Impulsivo	36
2.2	Depresión de Tensión	37
2.3	Salto de tensión (SWELL)	37
2.4	Disturbio armónico	38
2.5	Notch	39
2.6	Curva CBEMA	43
3.1	Diagrama carga no lineal	46
4.1	Power logic	56
4.2	System manager	56
4.3	Topas 1000	59
4.4	Power meter	61
5.1	Corrientes armónicas en sistemas trifásicos	67
5.2	Modificación topología	68
5.3	Accionamiento carga no lineal	69
5.4	Rectificador de 6 pulsos	70
5.5	Forma de onda rectificador de 6 pulsos	70

5.6	a) Formación de rectificador de 12 pulsos con alimt. Trafo de doble bobinado.	71
	b) Formación de rectificador de 12 pulsos con alimt. Trafo de triple bobinado.	
	c)	
5.7	Forma de onda Rectificador de 12 pulsos	71
5.8	Formación de Rectificador de 24 pulsos	72
5.9	Forma de onda Rectificador de 24 pulsos	72
5.10	Incidencia de los armónicos Vs tipo de rectificador	72
5.11	Filtro serie	75
5.12	Filtro sintonizado simple	76
5.13	Filtro pasa alto	77
5.14	Filtro activo serie	78
5.15	Filtro activo paralelo	78

## ÍNDICE DE FIGURAS ANEXOS

### Nomenclatura

Características del Transformador Principal 3Ø	80
Características del Transformador Auxiliar 3Ø	81
Características del Banco de Transformadores (Maltería)	82
Características del Banco de Transformadores (Tostación)	83
Características del Transformador Principal 3Ø (Servicios)	85
Características Transformador Principal 3Ø (Piscina Industrial)	86
Características del Banco de Transformadores (Cocimiento)	87
Banco de Transformadores (Bodega de Frio y Edif.Admt)	88
Vista aérea y lateral S/E principal CCN	90
Diagrama Unifilar S/E 69KV/13.2KV	92
Diagrama Unifilar del área Cocimiento	93
Diagrama Unifilar del área de Envases	94
Diagrama Unifilar del área de Servicios	95
Diagrama Unifilar del área de Bod. Frio y Edif.Admt	96
Diagrama Unifilar del área de Piscina Industrial	97
Funcionabilidad de la maquinaria (servicios)	102
Funcionabilidad de la maquinaria (cocina)	104
Variador de frecuencia (cocina)	104
Funcionabilidad de la maquinaria (Bod. Frio)	105
Variador de frecuencia (Bod. Frio)	106
Funcionabilidad de la maquinaria (Envases)	107
Medidor de Energía (power logic)	111
Conexión power logic sistema 4 hilos	114
Conexión power logic sistema 3 hilos	115
Celdas de Alta tensión (S/E principal)	117
Proceso de Medición	118
Medición Transformador principal	120
Puntos de medición Cocimiento	121
Puntos de medición servicios	122

Puntos de medición Bod. Frio y Edif. Admt	123
Puntos de medición Envases	124
Forma de Onda del Variador Frecuencia (cocina)	127
Forma de Onda del Variador Frecuencia (secadores)	129
Forma de Onda del Transformador #3 Bod. Frio	132
Forma de Onda del Transformador #2 Bod. Frio	135
Forma de Onda del Banco de capacitores (servicios)	138
Forma de Onda del Variador de Frecuencia Linea 3 (envases)	141
Forma de Onda y Diagrama de Barras Variad.Frec (cocina)	145
Forma de Onda y Diagrama de Barras Variad.Frec (secadores)	147
Forma de Onda y Diagrama de Barras Banc.Trafos (cocina)	150
Forma de Onda y Diagrama de Barras trafo #1 (bod.frio)	152
Forma de Onda y Diagrama de Barras trafo #2 (bod.frio)	154
Forma de Onda y Diagrama de Barras trafo #3 (bod.frio)	156
Forma de Onda y Diagrama de Barras Banc.Trafos (bod.frio)	159
Forma de Onda y Diagrama de Barras banco capac. servicios	161
Forma de Onda y Diagrama de Barras Arranc Estado Sólido	163
Forma de Onda y Diagrama de Barras Trafo Principal servicios	166
Forma de Onda y Diagrama de Barras Vari.frec. Linea 3 envase	169
Forma de Onda y Diagrama de Barras Vari.frec Sup.Linea enva	172
Forma de Onda y Diagrama de Barras Banco.Capacitor envases	174
Forma de Onda y Diagrama de Barras Celdas Alta Tensión enva	177
Forma de Onda y Diagrama de Barras Trafo Seco Pisc.Industria	179
Forma de Onda y Diagrama de Barras Trafo Princ.Pisc.Industria	182
Forma de Onda y Diagrama de Barras Trafo Prin S/E69KV/13.2	185
Diagrama de reactancias S/E Principal CCN	188
Diagrama de reactancias Cocina	189
Diagrama de reactancias Servicios	190
Diagrama de reactancias Bodega Frio y Edif. Admt	191
Diagrama de reactancias Envases	192
Diagrama de reactancias Piscina Industrial	193

Señales armónicas	198
Propagación de señales armónicas	198
Esquema del conjunto Red-Variador-Motor	200
Rectificador $\emptyset$ con condensador filtrador	202
Forma de la ondas de voltaje y corriente en rectificador $\emptyset$	202
Armónicas de secuencia cero con Amplitud I	203
Análisis de Resonancia Banco Capacitores Servicios	211
Análisis de Resonancia Banco Capacitores Envases	213
Esquema de estudio Puesta a Tierra S/E 69/13.2KV	220
Prueba de resistencia a tierra del variador frecuencia	221
Implementación de puesta a tierra del tablero MCC	223
Esquema de puesta a tierra del tablero MCC	224
Esquema de instalación de reactancia de prueba var.frec	227
Diagrama de barras con reactancia de prueba var.frec	227
Forma de onda del variador de frecuencia (react.prueba)	228

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la calidad de energía eléctrica tiene como finalidad, interiorizar tanto a las distribuidoras como a los usuarios en general, (servicio de energía eléctrica) sobre las ventajas que se obtienen cuando se maneja una energía de excelente calidad, dando así a los equipos y dispositivos de control o medición una mayor eficiencia en su funcionalidad.

El crecimiento continuo de los sistemas eléctricos de distribución y la inclusión dentro de ellos de un mayor número de elementos no lineales, específicamente los equipos electrónicos (electrónica de potencia) traen como consecuencia efectos que perjudican la confiabilidad de los sistemas eléctricos.

En la actualidad, las fluctuaciones de voltaje, desbalances en los sistemas trifásicos, oscilaciones del neutro, interferencias tales como radiofrecuencias (RFI), inducción electromagnética y señales armónicas constituyen un tema de interés para los profesionales del área de ingeniería eléctrica.

La preocupación por la calidad del servicio eléctrico, en nuestros tiempos, no es necesariamente el resultado de un desmejoramiento de la calidad de dicho servicio por parte de las distribuidoras eléctricas, más bien es el resultado del gran uso de equipos electrónicos altamente sensibles a estas perturbaciones y el creciente uso de cargas no lineales las cuales introducen armónicas de voltaje y/o corriente en el sistema.

Los disturbios de la calidad de energía se los define como cualquier fenómeno eléctrico que interrumpe el correcto funcionamiento de los procesos y equipos eléctricos.

Al obtener una excelente calidad en la energía eléctrica la confiabilidad y eficiencia del servicio eléctrico aumenta significativamente.

El sector industrial debido al avance tecnológico es una de las áreas que se ha visto más afectada debido a los disturbios de la calidad de energía, siendo uno de sus problemas los armónicos.

Estos problemas se van incrementando debido al uso de equipos tales como:

- Convertidores Estáticos
- Fuentes Ininterrumpidas de Tensión (UPS)
- Rectificadores e inversores
- Computadoras, impresoras, fax
- Lámparas fluorescentes

Todos estos equipos inyectan corrientes armónicas a sus respectivos sistemas de potencia y debido a la impedancia que ellos poseen se producen los armónicas de voltaje.

Estos disturbios producen en los equipos efectos tales como:

- Destrucción de condensadores por sobre tensión
- Incendio de reactores por sobre corriente
- Fallas de interruptores por efecto Gradiente
- Destrucción de cables por sobre corriente.
- Operación incorrecta de relés de protección
- Oscilaciones mecánicas en motores y generadores
- Errores de medición de energía activa y reactiva
- Interferencia con sistemas de comunicación, y aumento de pérdidas.

# CAPITULO I

## 1. ARMÓNICOS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los dispositivos de electrónica de potencia han influido notablemente en el aumento de disturbios en los sistemas eléctricos de potencia.

Uno de los mayores disturbios debido al aumento de la contaminación eléctrica es la distorsión de la forma de onda de tensión y/o de corriente. Esta distorsión conocida como perturbación armónica es producto de los equipos electrónicos, donde su estructura se basa en electrónica de potencia.

Los niveles de perturbación armónica se clasifican en dos categorías:

- Disturbios en Rangos de frecuencia menores a 60 Hz
- Disturbios en Rangos de frecuencia mayores a 60 Hz

#### **Disturbios en Rangos de frecuencia menores a 60 Hz**

Los disturbios en un sistema de potencia con frecuencias comprendidas entre 0.1 Hz y 25 Hz se los conoce como flickers.

#### **Disturbios en Rangos de frecuencia mayores a 60 Hz**

Entre los disturbios que se dan en un sistema de potencia, donde se dan rangos de frecuencias mayores a 60 Hz se tiene:

- Armónicos de corriente
- Armónicos de voltaje

Los armónicos de corriente son generados por equipos tales como:

- Conversores estáticos (Variadores de frecuencia)
- Fuentes Ininterrumpidas de Tensión (UPS)
- Equipos de oficina (Computador Personal, Fax, impresora, etc)
- Lámparas fluorescentes

Los armónicos de voltaje son producto de la combinación de la impedancia del sistema y las corrientes armónicas.

En los sistemas de potencia se tiene una responsabilidad compartida entre las empresas distribuidoras de energía eléctrica y los consumidores de la misma, esto es, controlar los armónicos de corriente como los armónicos de voltaje.

En busca de soluciones para mejorar la calidad de la energía eléctrica, con el fin de poder controlar estos disturbios, las distribuidoras y los grandes consumidores de energía eléctrica deben realizar los estudios necesarios, este es el caso específico de la **COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A**, la cual conciente del grave problema que significa la presencia de armónicos está destinando recursos para analizar este tipo de inconvenientes.

## 1.2 DEFINICIONES ASOCIADAS A LAS ARMÓNICAS

En la literatura correspondiente a armónicas en sistemas de potencia es frecuente encontrar los siguientes términos: factor de cresta, valor rms verdadero, distorsión armónica y espectro normalizado.

A continuación se presentan las definiciones asociadas a tales términos.

**Factor de cresta**, es la relación del valor pico (cresta) al valor rms de una forma de onda periódica. La ecuación representa tal definición

$$f.c = \frac{\text{valor pico}}{\text{valor rms}} \quad y$$

$$\text{valor rms} = \frac{\text{valor pico}}{\sqrt{2}} \quad \text{entonces}$$

$$f.c = \sqrt{2}$$

Cuando el factor cresta es mayor a  $\sqrt{2}$  los disturbios presentes en el sistema eléctrico de potencia son debido a fuentes de interrupción, cuando es menor a  $\sqrt{2}$  los disturbios provienen de transformadores saturados.

El **valor promedio** de una forma de onda periódica es el área bajo la curva de la onda en un periodo T.

$$F_{\text{prom}} = \frac{\text{área bajo la curva}}{\text{periodo en segundos}} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

siendo **F<sub>prom</sub>** el valor promedio de la forma de onda. El valor promedio de una senoidal es cero, el valor promedio de una senoidal rectificadas es  $\frac{2}{\pi} V_p$  siendo  $V_p$  el valor pico de la senoidal.

El **valor efectivo** o valor rms de una función periódica es la raíz cuadrada del valor promedio de la función al cuadrado, matemáticamente esto es:

$$F_{\text{rms}} = \sqrt{\text{promedio de } f^2(t)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

siendo **F<sub>rms</sub>** el valor rms de la forma de onda.

El valor rms de una función formada por componentes senoidales de frecuencia distinta está dado por la raíz cuadrada de los cuadrados de los valores rms de dichas componentes, esto es, el valor rms de:

$$i(t) = \sqrt{2} \dot{i}_1 \text{sen}(\omega_1 t) + \sqrt{2} \dot{i}_2 \text{sen}(\omega_2 t) + \sqrt{2} \dot{i}_3 \text{sen}(\omega_3 t)$$

está dado por:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\dot{i}_1^2 + \dot{i}_2^2 + \dot{i}_3^2}$$

si las frecuencias angulares  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ , son distintas.

#### **Corriente con distorsión armónica.**

Es el resultado de superposición de las formas de onda de corriente producto de las cargas no lineales con frecuencias mayores a los 60 Hz con respecto a la onda de corriente fundamental.

## Superposición de corrientes armónicas

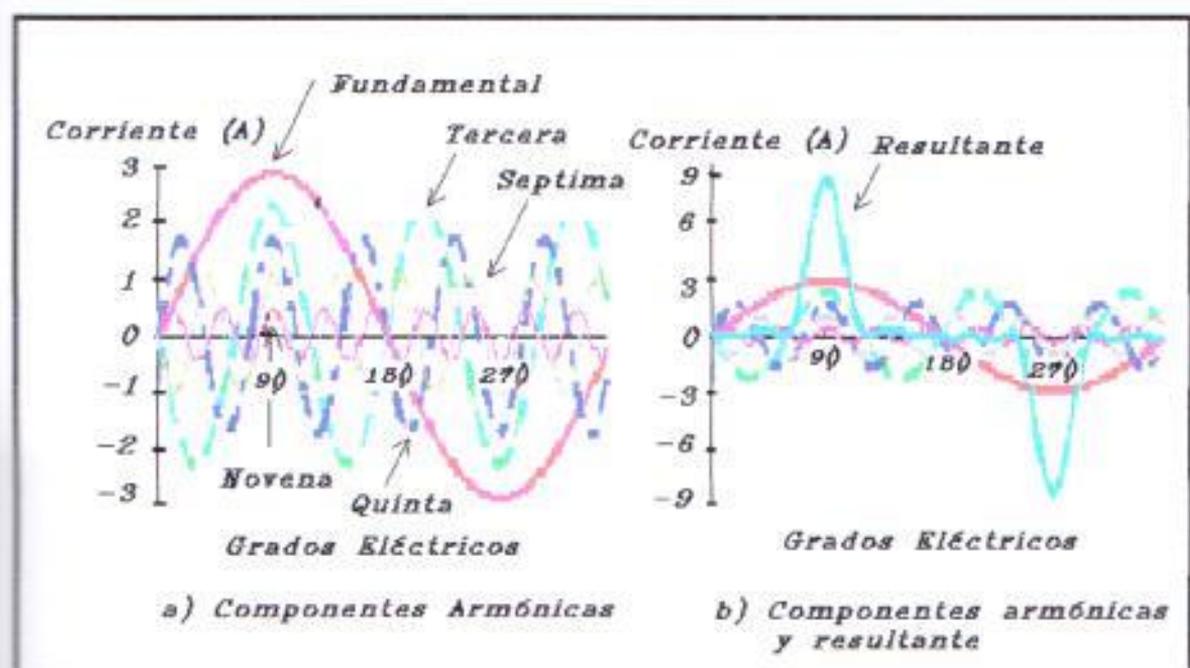


Fig. 1.1

En la Figura 1.1 a) se muestran la fundamental y las armónicas, en la Figura 1.1 b) aparece además la resultante.

**Valor rms en base al promedio de la senoidal rectificada.** Algunos instrumentos rectifican una señal proporcional a la cantidad a medir y miden directamente el valor promedio de dicha señal. La escala no indica el valor promedio sino el valor rms que corresponde a una senoidal. Se ha visto que el valor rms de una función senoidal es el valor pico para  $\sqrt{2}$ , matemáticamente

$$I_{rms} = \frac{I_{pico}}{\sqrt{2}}$$

y que el valor promedio de una senoidal con rectificación de onda completa está dada por:

$$I_{prom} = \frac{2}{\pi} I_{pico}$$

sustituyendo **I<sub>pico</sub>**, tenemos que el valor rms en función del valor promedio está dado por

$$I_{rms} = \frac{\pi}{2} I_{prom}$$

Si la corriente es senoidal algunos instrumentos miden apropiadamente el valor rms de la misma, en caso contrario la indicación puede ser errónea

**Factor K.** El factor K indica la capacidad de un transformador para alimentar cargas no senoidales sin sobrecalentarse. El factor K está dado por la siguiente expresión

$$K = \sum_{h=1}^{h_{max}} I_h^2 / I^2 \quad (p.u)$$

$I_h$ : Valor efectivo de la corriente armónica h

h: Orden armónico

A continuación se define  $I_h$

$$I_h(p.u) = \frac{I_h(\Lambda)}{I_{rms}(\Lambda)}$$

$I_{rms}$ : Valor efectivo de la corriente nominal

Además la corriente máxima (en p.u) que soporta un transformador en función del factor K viene dada por

$$I_{max}(p.u) = \frac{1.15}{1 + 0.15K}$$

En la figura 1.2 se muestra el valor de esta corriente en función del factor K. Se observa que si el valor de K es 10 entonces la máxima corriente que soporta un transformador es 0.6 veces la nominal

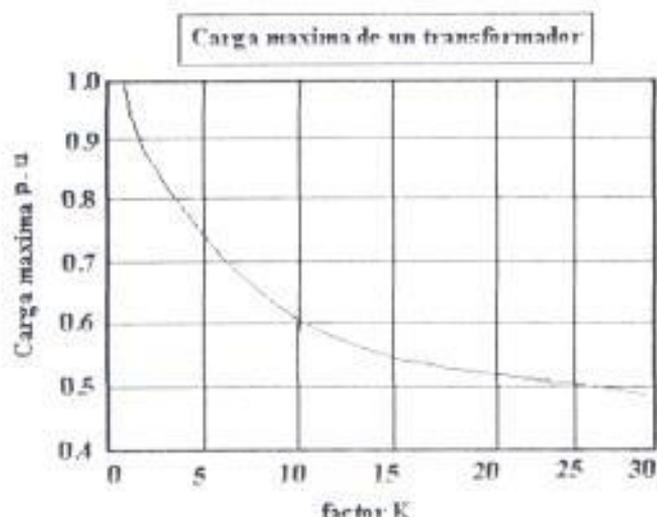


Fig 1.2 Carga Máxima en un Transformador en función del Factor K

Una corriente nominal con factor  $K = 1$ , disminuye la vida útil del transformador, debido al aumento de las pérdidas tanto de Cobre como de Núcleo.

En transformadores secos las pérdidas por corrientes circulantes en el devanado de baja tensión, pueden ocasionar calentamiento excesivo en ese devanado. Si se emplea un transformador seco con factor  $K = 1$  para alimentar cargas no lineales, la temperatura se puede elevar en forma peligrosa.

### 1.3 ANÁLISIS DE ARMÓNICOS

El análisis de armónicos es el proceso de calcular la magnitud y fase de la onda fundamental, además de la forma de onda de los armónicos de alto orden.

En 1822, el matemático francés Jean Bapstise Joseph Fourier postuló que algunas funciones continuas repetitivas en un intervalo  $T$  pueden ser representadas por la sumatoria de la componente fundamental senoidal, con una serie de componentes de frecuencia de alto orden armónico que son múltiplos de la frecuencia fundamental.

Con la serie de Fourier se establece que una forma de onda periódica no senoidal con periodo T (frecuencia fundamental  $f = 1 / T$ ) puede reemplazarse por un número infinito de términos senoiales de frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental.

Así la forma de onda será igual a la suma de: una componente senoidal de frecuencia f (llamada fundamental), una segunda componente senoidal de frecuencia 2f (llamada segunda armónica), una tercera componente senoidal de frecuencia 3f (llamada tercera armónica).....hasta una h-ésima componente senoidal de frecuencia hf (llamada h-ésima armónica). De esta manera cualquier forma de onda periódica no senoidal (que se encuentre distorsionada con respecto a una senoidal) es igual a la suma de la fundamental y las armónicas.

El teorema de Fourier dice que: " Toda oscilación periódica compleja  $X = F(t)$  se puede representar en forma de una suma de oscilaciones armónicas simples con frecuencias cíclicas múltiplos de la frecuencia cíclica fundamental  $\omega = 2\pi / T$ , donde T es el periodo de oscilaciones."

$$X = F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + b_n \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right) \quad (1.3.1)$$

Esto constituye una representación en el dominio de la frecuencia de la función periódica.

En esta expresión  $a_0$  es el valor promedio de la función  $X = F(t)$ , mientras  $a_n$  y  $b_n$  los coeficientes de las series, son componentes rectangulares de la n-ésima armónica.

$$\text{El vector de la n-ésima armónica es: } A_n \angle \Phi_n = a_n + j b_n \quad (1.3.2)$$

con una magnitud:  $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$

y ángulo de fase:  $\Phi_n = \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_n}{a_n}$

Para una función dada  $X = F(t)$ , el coeficiente constante  $a_0$ , puede ser derivado para integrar ambos lados de la ecuación (1.3.1) desde  $-T/2$  a  $T/2$  (sobre un periodo T), por ejemplo:

$$\int_{-T/2}^{T/2} F(t) dt = \int_{-T/2}^{T/2} \left[ a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + b_n \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right) \right] dt \quad (1.3.3)$$

La serie de Fourier de lado derecho puede ser integrada término a término como sigue:

$$\int_{-T/2}^{T/2} F(t) dt = a_0 \int_{-T/2}^{T/2} dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ a_n \int_{-T/2}^{T/2} \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt + b_n \int_{-T/2}^{T/2} \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) dt \right] \quad (1.3.4)$$

El primer término del lado derecho de la ecuación es igual a  $T a_0$ , mientras la otra integral es cero, por lo tanto el coeficiente constante de la serie de Fourier está dada por:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} F(t) dt \quad (1.3.5)$$

Lo cual representa el área bajo la curva de  $F(t)$  desde  $-T/2$  a  $T/2$  dividido para el período ( $T$ ) de la onda.

El coeficiente  $a_n$  puede ser determinado multiplicando la ecuación (1.3.1) con

$$\cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right)$$

donde  $m$  es un entero positivo, y al integrar entre  $-T/2$  y  $T/2$  obtenemos lo siguiente:

$$\int_{-T/2}^{T/2} F(t) \cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right) dt = \int_{-T/2}^{T/2} \left[ a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \right) \right] \cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right) dt \quad (1.3.6)$$

$$= a_0 \int_{-T/2}^{T/2} \cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right) dt + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \int_{-T/2}^{T/2} \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right) dt + b_n \int_{-T/2}^{T/2} \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) \cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right) dt \right) \quad (1.3.7)$$

El primer término del lado derecho de la ecuación es cero, como todos los términos en  $b_n$ , puesto que  $\sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right)$  y  $\cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right)$  son funciones ortogonales para todo  $m$  y  $n$ . Similarmente el término en  $a_n$  es cero y hacemos  $n=m$ , la ecuación se describe de la siguiente forma:

$$\int_{-T/2}^{T/2} F(t) \cos\left(\frac{2\pi m t}{T}\right) dt = a_m \int_{-T/2}^{T/2} \cos^2\left(\frac{2\pi m t}{T}\right) dt$$

$$= \frac{a_n}{2} \int_{-T/2}^{T/2} \cos\left(\frac{4\pi mt}{T}\right) dt + \frac{a_n}{2} \int_{-T/2}^{T/2} dt \quad (1.3.8)$$

El primer termino del lado derecho de la ecuación es cero, mientras que el segundo termino es igual a  $a_n \frac{T}{2}$ , por lo tanto el coeficiente  $a_n$  puede ser obtenido por:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} F(t) \cos\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt \text{ para } n=1,2,3,\dots,\infty \quad (1.3.9)$$

Para determinar el coeficiente  $b_n$ , la ecuación (1.3.1) es multiplicada por el  $\sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right)$ , lo cual se muestra a continuación:

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} F(t) \sin\left(\frac{2\pi mt}{T}\right) dt \text{ para } n=1,2,3,\dots,\infty \quad (1.3.10)$$

## 1.4 ARMÓNICOS DE VOLTAJE Y CORRIENTE

Los armónicos de voltaje y corriente son formas de onda distorsionada en un sistema eléctrico, los cuales son de frecuencias múltiplos de la la frecuencia fundamental (60 Hz).

Cada múltiplo de la onda fundamental se conoce como "orden armónico", la corriente fundamental a 60Hz se conoce como de primer orden, y una corriente armónica de tercer orden tiene una frecuencia de tres veces el valor de la onda fundamental, es decir 180 Hz.

Estos disturbios son imperceptibles, pero a su vez notorios por los problemas que pueden traer en las instalaciones eléctricas.

### 1.4.1 ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Estos armónicos son creados por cargas no lineales que absorben corrientes en impulsos bruscos en vez de hacerlo suavemente en forma senoidal. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes armónicas de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación.

Este fenómeno se manifiesta especialmente en los equipos provistos de fuentes de alimentación de entrada con condensadores y diodos, tales como, ordenadores personales, impresoras y UPS's.

Estos equipos están diseñados para absorber corriente durante solo una fracción controlada de la onda de tensión de alimentación. Esto, provoca armónicos de corriente y con ellos el sobrecalentamiento de transformadores, conductores neutros y el disparo de interruptores automáticos.

Las causas eléctricas del fenómeno son que la tensión alterna de entrada, una vez rectificada por los diodos, se utiliza para cargar un condensador de gran capacidad. Después de un semiperiodo, el condensador se descarga a la tensión de pico de la onda senoidal, por ejemplo, a 322 V en una línea de alterna a 230 V. Entonces el equipo electrónico absorbe corriente de esta elevada tensión de continua para alimentar el resto del circuito.

Normalmente, las fuentes de alimentación con condensadores y diodos que llevan incorporados los equipos de oficina, son cargas monofásicas no lineales. En las plantas industriales, las causas mas frecuentes de corrientes armónicas son cargas trifásicas no lineales, como los variadores de frecuencia (velocidad) que accionan motores de corriente alterna (a.c) y fuentes de tensión ininterrumpidas ( UPS ).

#### **1.4.2 ARMÓNICOS DE TENSIÓN.**

La relación entre la corriente armónica generada por cargas no lineales y la impedancia de la fuente de alimentación se rige por la ley de Ohm, lo que provoca armónicos de tensión. La impedancia de fuente la constituye el transformador de alimentación y los componentes del ramal.

La propia red de alimentación puede ser una fuente indirecta de los armónicos de tensión.

Todas las cargas que comparten un transformador o un ramal con fuerte carga de armónicos, podrían resultar afectadas por los armónicos de tensión producidos.

En un ambiente de oficinas, los ordenadores personales son particularmente sensibles a los armónicos de tensión. El rendimiento de la fuente de alimentación con condensadores y diodos dependen críticamente de la magnitud de la tensión de pico. Los armónicos de tensión pueden provocar un achatamiento de los máximos de amplitud de la onda de tensión, reduciendo de este modo la tensión de pico. En el peor de los casos se puede producir un reset del ordenador a causa del fallo en la alimentación.

En el entorno industrial, los motores de inducción y capacitores para la corrección del factor de potencia también puede resultar gravemente afectados por los armónicos de tensión.

Los condensadores para la corrección del factor de potencia pueden formar un circuito resonante con las partes inductivas del sistema eléctrico de potencia. Si la frecuencia resonante está cerca de la frecuencia armónica, la corriente experimenta un incremento considerable, sobrecargando los condensadores y quemando los fusibles de estos. La salida del condensador en el sistema, desintoniza el circuito y la resonancia desaparece.

## **1.5 FUENTES GENERADORAS DE ARMÓNICOS**

### **1.5.1 GENERALIDADES**

El origen de los disturbios armónicos en los sistemas eléctricos de potencia se debe a los siguientes factores:

- Al aumento de equipos donde su estructura se basa de electrónica de potencia, los cuales tienen característica de voltaje y corrientes no sinusoidales, comportándose como verdaderas fuentes que inyectan corrientes armónicas al sistema. Entre estos equipos se

encuentran los, convertidores de frecuencia, UPS, arrancadores de estado sólido y cicloconvertidores.

- El incremento en la aplicación de los bancos de condensadores, ya sea para corregir el factor de potencia o regulación de voltaje, los cuales pueden estar ubicados próximos a fuentes generadoras de armónicas propiciando la condición de resonancia, la cual puede magnificar el nivel de armónicas existentes.

Las cargas se dividen en Lineales y No lineales, como se muestra en la figura 1.3

### CARGAS LINEALES

### CARGAS NO LINEALES

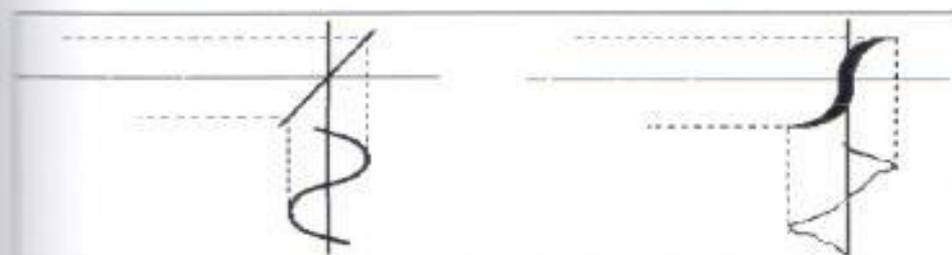


Fig. 1.3 Tipos de carga

a continuación se presentan ejemplos de dichas cargas:

#### Cargas Lineales

Las cargas lineales son aquellas cuya forma de corriente tiene una relación directa ( un factor constante) con la tensión que las alimenta. La corriente es senoidal como la tensión de alimentación. A continuación presentamos los siguientes ejemplos:

- Alumbrado Incandescente
- Motores
- Hornos Eléctricos ( Resistencias )

### **Cargas No lineales**

Las cargas no lineales son aquellas cuya relación tensión – corriente no es constante, es decir, la forma de la corriente que absorben es totalmente distinta de la senoidal de la tensión que las alimenta. Como por ejemplo:

- Controles de velocidad para motores de C.D
- Variadores de velocidad para motores de C.A
- UPS's
- PC's
- Transformadores con núcleos Saturados
- Alumbrado fluorescente
- Lámparas de descarga

Así pues tenemos las cargas **No Lineales** que son las que generan las armónicas. Las armónicas son formas de onda de voltaje y/o corriente con valores de frecuencia múltiplos de la fundamental, estas armónicas al sumarse a la onda fundamental la distorsionan, generando con ello lo que comúnmente se denomina como Potencia de distorsión en el sistema.

#### **1.5.1.1 TRANSFORMADORES**

La forma de la corriente de excitación no senoidal que se produce en el núcleo de un transformador, cuando un voltaje senoidal es aplicado, causa la saturación del transformador y genera armónicos, estas componentes de alta frecuencia son debida a la saturación magnética del núcleo.

Los niveles de saturación de los transformadores están en función del voltaje aplicado, si el mismo es superior al nominal entonces las componentes armónicas de la corriente de excitación se incrementa en magnitud.

## CORRIENTE TOTAL DE EXCITACIÓN DE UN TRANSFORMADOR

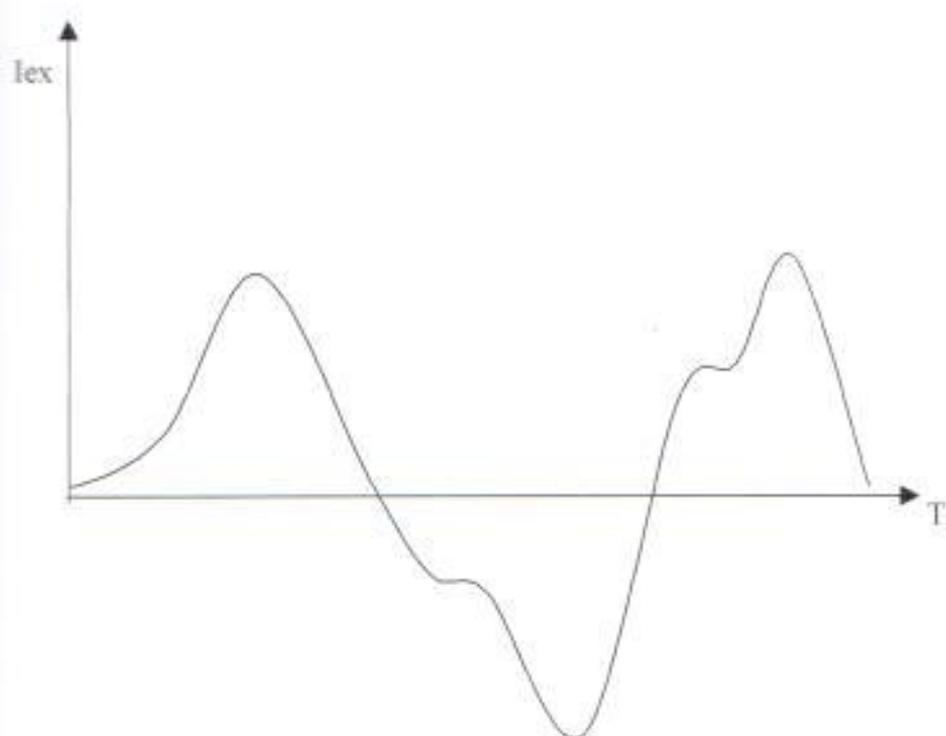


Fig. 1.4 Corriente total de excitación del transformador

En transformadores monofásicos, la corriente de excitación es pequeña comparada con la corriente de carga y la onda de corriente esta ligeramente distorsionada. Por lo tanto, en lo relativo a la operación monofásica las armónicas apenas se notan y no constituyen problema.

Las corrientes armónicas causan el incremento de las pérdidas del cobre, y los voltajes armónicos causan pérdidas en el hierro.

La presencia de armónicos en un transformador dan como resultado final la disminución de su eficiencia y su vida útil.

## **Formas de Reducción de los armónicos mediante el tipo de conexión del transformador.**

### **Conexión en delta**

En esta conexión todas las corrientes armónicas (impares) que se generan por la corriente de excitación del transformador y las provenientes del sistema se suman entre sí y forman corriente de circulación alrededor de la delta.

### **Conexión estrella**

En los transformadores conectados en estrella no aterrizado se suman entre sí las terceras armónicas y múltiplos impares, esto ocasiona un desequilibrio en los voltajes secundarios, tanto de fase como de línea.

Cuando se tiene la conexión del transformador en estrella aterrizado, las corrientes armónicas buscan el recorrido de menor impedancia esto es hacia tierra, con lo cual se puede disminuir las consecuencias señaladas anteriormente.

### Efecto de las armónicas en los transformadores

La mayoría de los transformadores están diseñados para operar con corriente alterna a una frecuencia fundamental ( 50 Hz o 60 Hz ), lo que implica que operando en condiciones de carga nominal, con una temperatura no mayor a la temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil.

Las corrientes armónicas producen en los transformadores pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas  $I^2R$ , pérdidas por corriente de Eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores, u otras partes de hierro. De manera individual, el efecto de las armónicas en estas pérdidas se explica a continuación:

**Pérdidas sin carga o de núcleo:** producidas por el voltaje de excitación en el núcleo. La forma de onda de voltaje en el primario es considerada senoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumenten para cargas no lineales. Aunque la corriente de magnetización consiste de armónicas, estas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimas.

**Pérdidas  $I^2R$ , o de cobre:** si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarían por el efecto piel.

**Pérdidas por corriente de Eddy:** estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la corriente armónica, razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de estas en los devanados que conducen corrientes de carga no senoidal (y por lo tanto también en su temperatura).

Estas pérdidas se pueden expresar como:

$$P_e = P_{e,R} \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2$$

Donde:

$h$ : Orden Armónico.

$I_h$ : Corriente de la armónica  $h$ , en amperios.

$I_R$ : Corriente nominal, en amperios.

$P_{e,R}$ : Perdidas de Eddy a corriente y frecuencia nominal.

Perdidas adicionales: estas perdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador, y dependiendo del tipo de transformador contribuirán a una temperatura mas caliente del devanado del transformador. Se considera que varían tanto al cuadrado de la corriente nominal como al de la corriente armónica, esto es:

$$P_{AD} = P_{AD,R} \sum_{h=1}^{h=h_{max}} \left[ \frac{I_h}{I_R} \right]^2 h$$

Donde:

$P_{AD,R}$ : Perdidas adicionales a corriente y frecuencia nominal

Adicionalmente se puede estipular que un transformador es un generador de armónicos en el momento de su energización, pero dependiendo de su tipo de conexión los transformadores sirven para retención de armónicos provenientes de otros equipos hacia la red interna o externa a la cual esta conectado el transformador.

Otro efecto importante y particularmente que se da en transformadores de potencia es la circulación de los armónicos triples (corrientes de secuencia cero) en los devanados en delta. El exceso de circulación de corrientes puede saturar a los devanados a menos que estos estén diseñados para este problema.

Es importante considerar que cuando un transformador abastece (suple) cargas no lineales, si la corriente de carga contiene componentes (dc) continuas, el resultado es la saturación del circuito magnético del transformador que incrementa el nivel de todas las componentes armónicas de la corriente (a.c) de excitación.

### 1.5.1.2 MAQUINAS ROTATIVAS

En un estator en que todas las espiras de cada fase están concentradas en un par de ranuras se produce una distribución no senoidal de densidad de campo magnético, cuya forma depende de la configuración del rotor que se monte en el interior del estator.

Esta distribución no senoidal produce armónicos de voltaje y corriente en el estator, por lo tanto se han efectuado modificaciones en los estatores de las máquinas de corriente alterna, los cuales son:

- Bobinas de paso fraccionario

#### **Bobinas de Paso Fraccionario.**

Son las bobinas que se expanden menos de  $180^\circ$  eléctricos, pero pocas veces menos de  $120^\circ$  eléctricos.

La mayoría de las bobinas de las máquinas de corriente alterna es del tipo de paso fraccionario, el cual presenta algunas ventajas tales como:

- Los extremos de la bobina son más cortos lo que significa menos pérdidas en el cobre gracias a una longitud total menor.
- A las bobinas de los extremos se les puede dar una forma más compacta.
- Las campanas de los extremos necesitan menos espacio de devanado lo que da por resultado una unidad más corta.
- Hay una reducción definida de los armónicos.

#### **Consecuencias de los armónicos.**

El principal efecto en las máquinas rotatorias del sistema de potencia que presentan tensiones armónicas, es el incremento del calentamiento debido a las pérdidas de hierro y en el cobre cuando están sometidas a altas frecuencias.

Las componentes armónicas de la tensión afectan la eficiencia de la máquina y además pueden afectar el torque desarrollado. Las corrientes

armónicas en un motor pueden hacer mayor la emisión de ruido, comparable al que se produce durante la excitación.

Además, producen una distribución del flujo en el entrehierro, que puede causar o intensificar el fenómeno de engranaje, contrario al arranque suave, o de arrastre, grandes deslizamientos, en motores de inducción.

Pares de corrientes armónicas como el quinto y el séptimo, tienen el potencial para crear oscilaciones mecánicas en combinaciones turbina – generador o en sistemas motor – carga. Las oscilaciones mecánicas resultan cuando los torques causados por la interacción entre corrientes armónicas y el campo magnético de la frecuencia fundamental, excita una frecuencia de resonancia mecánica.

El quinto y el séptimo armónico pueden combinarse para producirse un estímulo de torsión en el rotor del generador a la frecuencia de sexto armónico. Si la frecuencia de resonancia mecánica está cerca de la fundamental del estímulo eléctrico, esfuerzos mecánicos podrían desarrollarse en partes del rotor.

Adicionalmente, el flujo de corrientes armónicas en el estator produce pérdidas que aumentan la temperatura en el estator y en el rotor.

El efecto suma de los armónicos, es la reducción de la eficiencia y de la vida útil de la máquina.

La fuerza magnetomotriz en bobinas trifásicas (máquinas) es una onda donde las armónicas triples (3,9,15,...) están ausentes.

En una máquina sincrónica el voltaje inducido en el devanado no es senoidal y tiene componentes armónicas de frecuencias altas impares (9,11,13...), los armónicos pares se anulan debido a que el voltaje resultante es simétrico con respecto al campo magnético del rotor.

Los armónicos impares (3,5,7,...) deben ser eliminados con el diseño de la máquina, los armónicos de frecuencia alta (arriba del noveno) se pueden ignorar debido a que tienen menos amplitud.

Cuando se conecta las tres fases de la máquina en estrella - delta se eliminan algunos armónicos, uno de ellos es el tercero.

Si la máquina sincrónica se conecta en estrella, el tercer armónico de voltaje será cero.

Si la máquina sincrónica se conecta en delta, las tres componentes de los terceros armónicos se suman y circulan por sus devanados. Estas terceras armónicas quedan aplicadas a través de la impedancia interna de la máquina y tendrán un voltaje en los terminales cuyos componentes del tercer armónico no son significativos.

### **1.5.1.3 CONVERSORES ESTÁTICOS DE POTENCIA**

Se entenderá como conversores estáticos de potencia a los aparatos basados en dispositivos electrónicos de estado sólido (diodos y tiristores) que pueden ser equipos rectificadores, convertidores de frecuencia, inversores, cicloconvertidores y compensadores estáticos de potencia reactiva.

Los conversores de potencia están presentes en la industria en muchas formas y aplicaciones, estos se clasifican en dos categorías:

- Gran Potencia
- Media potencia

Los Conversores de gran potencia están en el orden de megawatios los cuales exhiben elevados índices de disponibilidad, confiabilidad y rendimiento a costos razonables, su aplicación es para los sistemas de rectificación en procesos de electrólisis.

Los conversores de media potencia están en el orden de kilowatios, los cuales son utilizados en la industria principalmente para el control de velocidad de motores de c.a (cicloconvertidores).

Los conversores estáticos de potencia se encuentran estructurados por los siguientes elementos:

- Rectificador
- Inductor
- Inversor

Estos elementos se indican en la figura 1.6:

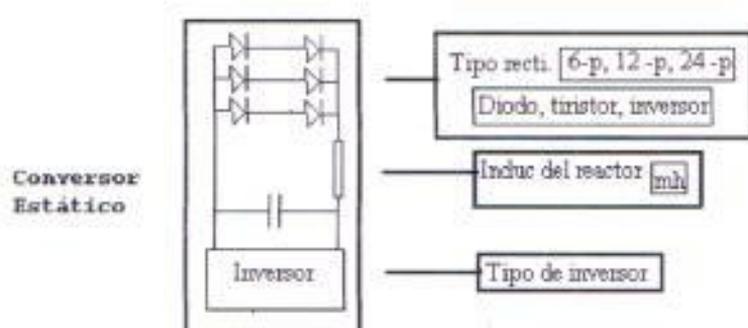


Fig 1.6 Accionamiento para un motor de corriente alterna

Para el caso de los rectificadores por ejemplo, se generan armónicos tanto en el lado de continua como en el lado alterno, donde las del lado continuo son del orden:

$$h = k * p$$

y las del lado alterno son del orden:

$$h = k * p \pm 1$$

siendo:

h: orden del armónico

k: número entero

p: número de pulsos

Luego, se tiene que por cada armónico en el lado continuo existen dos en el lado alterno, siendo los del lado alterno los más perjudiciales para el sistema.

### 1.5.1.4 BANCO DE CAPACITORES

El principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimenten cargas no lineales es la resonancia tanto serie como paralelo, como se muestra en la figura 1.7. A medida que aumenta la frecuencia la reactancia inductiva del circuito equivalente del sistema de distribución aumenta, en tanto que la reactancia capacitiva de un banco de capacitores disminuye.

Entonces existirá por menos una frecuencia en la que las reactancias sean iguales, provocando la resonancia.

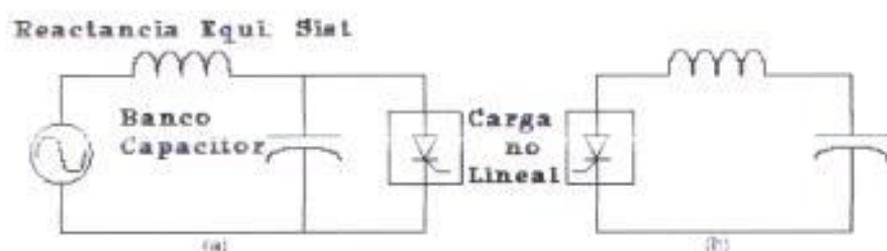


Fig. 1.7 a. Resonancia Paralela

b. Resonancia Serie

#### Resonancia Paralela:

La figura 1.7 (a) muestra el circuito equivalente para el análisis de la resonancia paralelo en un sistema eléctrico. La carga no lineal inyecta al sistema corrientes armónicas, por lo que el efecto de dichas corrientes se puede analizar empleando el principio de superposición como se muestra en la figura 1.8.

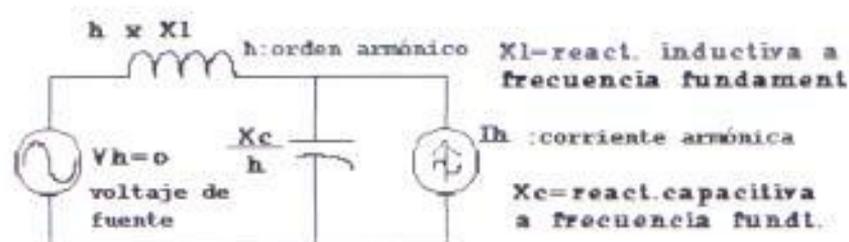


Fig. 1.8 Circuito equivalente para el análisis del sistema a frecuencias armónicas

En general la fuente de voltaje  $V_h$  vale cero (cortocircuito), puesto que solo presenta voltaje a frecuencia fundamental. Entonces a frecuencias

armónicas, el circuito equivalente visto por la carga (fuente de corrientes armónicas) será una inductancia y capacitancia en paralelo, por lo que la frecuencia de resonancia se tendrá cuando:  $X_c = X_L$ .

$$F_r = \frac{1}{2\pi \cdot LC}$$

$F_r$ : frecuencia de resonancia

$L$ : inductancia del sistema

$C$ : capacitancia del banco de condensadores

Si la carga inyecta una corriente armónica de una frecuencia igual o cercana a la frecuencia de resonancia paralela del sistema, entonces las corrientes y voltajes experimentarán una amplificación puesto que la admitancia equivalente se acerca a cero (impedancia muy alta). Esto produce las corrientes de calentamiento inherentes a las corrientes armónicas (en cables, transformadores, interruptores), la operación de fusibles, y el posible daño o envejecimiento prematuro del equipo.

#### **Resonancia Serie:**

Esta resulta en un circuito como el mostrado en la figura 1.7 (b). En este caso la expresión matemática de la frecuencia de resonancia es la misma que indica cuando las reactancias se han igualado, la diferencia es que ahora el circuito presenta una trayectoria de baja impedancia a las corrientes armónicas (casi un cortocircuito). Esta resonancia causará problemas similares a las que se tienen en el caso de la resonancia paralela.

Una forma de minimizar los problemas de resonancia por la instalación de banco de capacitores consiste en distribuir los mismos en diferentes puntos del sistema, para alejar la frecuencia de resonancia a valores más altos.

#### **1.5.1.5 LÁMPARAS FLUORESCENTES**

El uso de elementos electrónicos de estado sólido en lugar de componentes magnéticos convencionales puede aumentar la eficacia de lámparas porque estas operan a mayor frecuencia y pueden reducir la entrada de energía eléctrica.

Tanto los reactores (balastos) electrónicos como los electromagnéticos generan armónicos. Algunos generan menos corriente armónica que los reactores magnéticos.

El impacto de las lámparas fluorescentes en un sistema de distribución a.c es principalmente el alto contenido del tercer armónico, que aparece en el neutro de los sistemas eléctricos.

Para Subestaciones Eléctricas de Distribución (S/E) si la carga de las lámparas fluorescentes excede el 10% del total de los KVA nominales, puede dar un voltaje alto de tercer armónico de magnitud inaceptable.

#### 1.5.1.6 FUENTES ININTERUMPIDAS DE VOLTAJE ( UPS )

En los sistemas computacionales es usual emplear fuentes de poder no interrumpidas (UPS), para alimentar los consumos durante los cortes de energía y también para garantizar que la alimentación de los equipos tengan una regulación adecuada. A continuación se indica el diagrama de una UPS estándar.

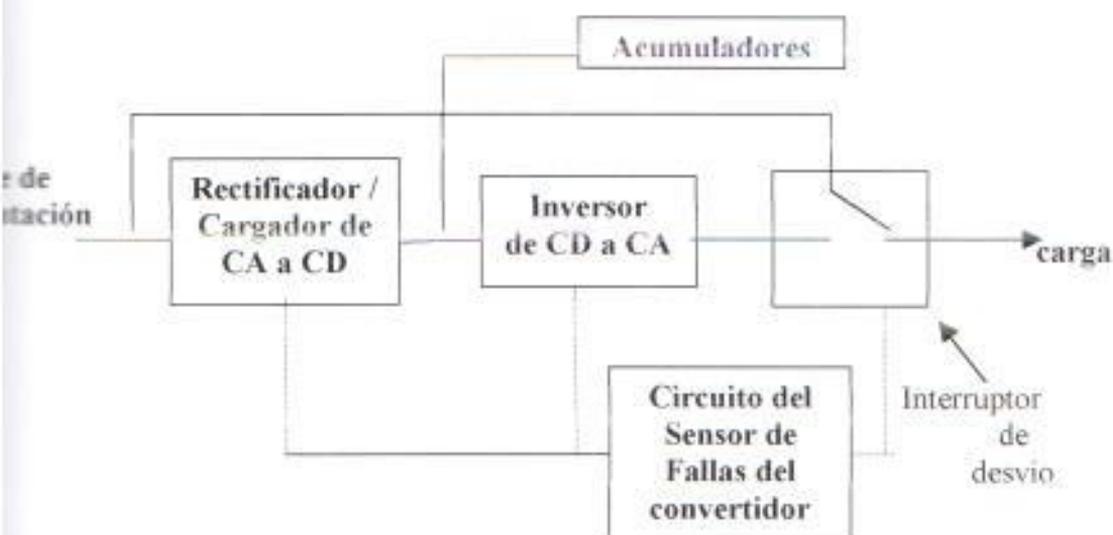


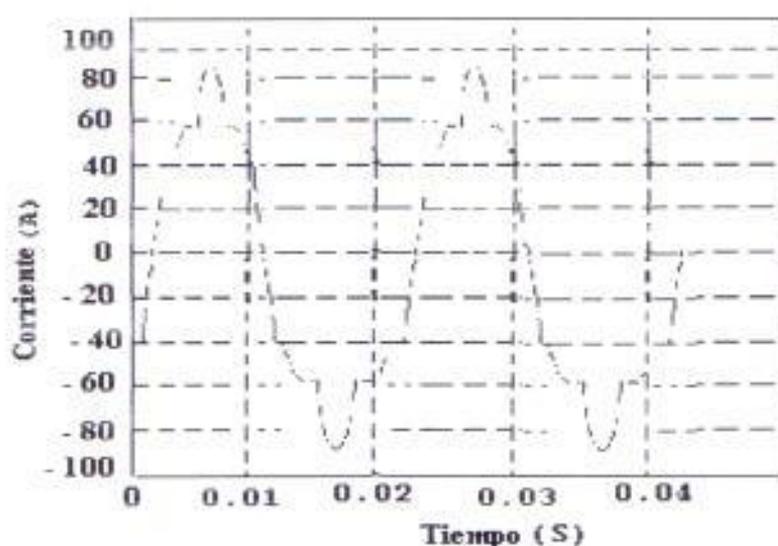
Fig. 1.9 Diagrama de UPS estándar

Las Fuentes de poder ininterrumpible ( UPS, uninterruptable power sources ) constan típicamente de un rectificador, acumulador (batería) y un inversor de cd a ca .

El rectificador mantiene cargados a los acumuladores y energiza la carga a través del inversor hasta el retorno del voltaje normal de ca

Como se puede ver los UPS están conformados por fuentes generadoras de corriente distorsionada (no sinusoidal).

Las fuentes de poder no interrumpidas pueden ser monofásicas o trifásicas, las monofásicas están constituidas básicamente de un circuito de rectificación o de fuente de poder de alimentación como la de un computador y gran variedad de equipos electrónicos (figura 1.11a). El rectificador trifásico no tiene conexión de neutro, esto imposibilita la circulación de armónicos múltiplos de tres por cada fase, donde la armónica de gran incidencia es la quinta. Un ejemplo de la forma de onda que generan estos rectificadores es la siguiente:



**Fig 1.10 Corriente por una fase de un rectificador trifásico**

### 1.5.1.7 COMPUTADORAS, IMPRESORAS, FAX.

Con el avance de la tecnología, en busca de la optimización y rapidez de los procesos, se ha incrementado notablemente el uso de las computadoras, impresoras, fax y equipos eléctricos; los cuales se encuentran estructurados por un circuito de rectificación o fuente de poder de alimentación. En la figura 1.11a se muestra un diagrama básico circuital del rectificador o fuente de poder y en la figura 1.11b la forma de onda del voltaje y corriente a la entrada de la red 220 Voltios.

Básicamente, el circuito con diodos conduce sólo en los instantes en que el voltaje se acerca al valor máximo; en ese instante se recarga el condensador que mantiene constante (simulando una batería de voltaje continuo constante), el voltaje en bornes del rectificador. Cuando el voltaje sinusoidal es inferior al voltaje del condensador los diodos dejan de conducir.

El resultado es que todos estos equipos tienen un consumo de corriente pulsante, como en la figura 1.11b; los pulsos de corriente coinciden con el valor máximo del voltaje, lo que acentúa el problema de distorsión debido a la simultaneidad de este pulso de corriente en todos los televisores y computadores (consumo masivo).

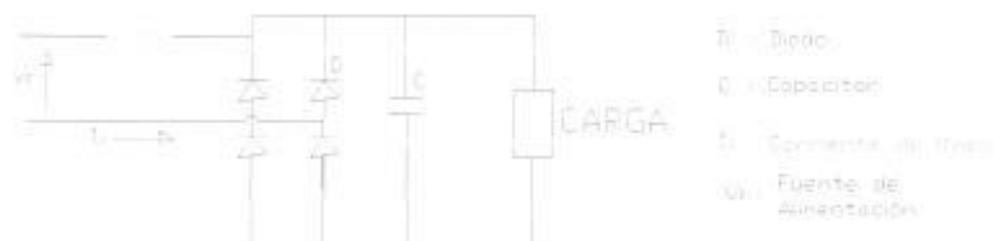


Fig. 1.11 (a) Diagrama básico de Fuente de Poder de una PC y gran variedad de equipos electrónicos

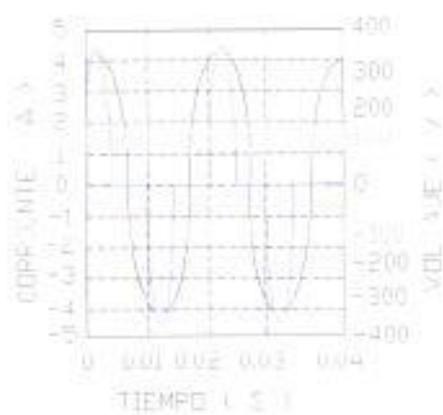


Fig. 1.11(b) FORMA DE ONDA DE VOLTAJE Y CORRIENTE EN LA ENTRADA DE UN RECTIFICADOR MONOFÁSICO

## CAPITULO II

### 2. NIVELES ADMISIBLES DE LAS SEÑALES ARMÓNICAS

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

En 1981, el instituto de ingenieros en electricidad y electrónica (IEEE) elaboro el estándar IEEE – 519 titulado “Recomendaciones practicas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas de potencia”. Esta norma establece los niveles permisibles de distorsión armónica de corriente y/o voltaje a los cual pueden estar sometidos los distintos sistemas de potencia.

Esta normativa es adoptada por algunos paises del continente americano, a nivel del continente europeo rige la norma de la International Electrotechnical Comisión (IEC).

Actualmente en nuestro pais bajo la supervisión del Consejo Nacional de Electrificación “CONELEC” se esta realizando el control de la calidad de energia a nivel de las empresas distribuidoras de energia eléctrica para lo cual se creo la regulación # 004 / 001 que habla sobre la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, donde su objetivo es establecer los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las empresas distribuidoras.

Las normas establecen un conjunto simple y coherente de recomendaciones de tal forma que su aplicación sea conveniente desde el punto de vista practico, asegurando a los usuarios que puedan disponer de una fuente de alimentación de calidad aceptable, previniendo que el sistema eléctrico interfiera en la operación de otros sistemas.

## 2.2 DISTORSIÓN ARMÓNICA.

En una planta industrial la principal causa de la presencia de distorsión armónica se debe a las fuentes generadoras tales como:

- Convertidores estáticos de potencia
- Variador de velocidad
- UPS

La distorsión armónica se dividen en:

- Distorsión armónica total
- Distorsión armónica individual

Estas distorsiones alteran la forma de onda de voltaje y/o corriente ya que estas se producen a frecuencias distintas a la fundamental (60 Hz).

### 2.2.1 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL

La distorsión armónica total (DAT) con sus siglas en inglés THD (Total Harmonic Distortion) es un índice que indica el nivel de distorsión armónica que se encuentra en el sistema eléctrico de potencia.

El THD es aplicable a niveles alto, medio y bajo de voltaje el cual representa un porcentaje de su valor fundamental de tensión.

$$\text{THD} = \sqrt{\frac{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}{V_1^2}} * 100\%$$
$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\text{lim}} V_h^2}}{V_1}$$

Además, para conocer el nivel de distorsión armónica de corriente en los sistemas eléctricos de potencia se aplica la distorsión de demanda total con sus siglas en inglés (TDD) para lo cual se toma en cuenta las características que asocian a la carga como son:

- Nivel de cortocircuito.
- Selección del punto de acople común.
- ( $I_L$ ), Corriente rms fundamental correspondiente a la demanda máxima promedio de los últimos doce meses.

Donde la corriente de cortocircuito se define así:

$$I_{cc}(kA) = \frac{MVA_{cc}}{\sqrt{3}[kV_{LL}]}$$

$I_{cc}$ : Corriente de Cortocircuito

MVA: Potencia de Cortocircuito

$V_{LL}$ : Voltaje de Línea a Línea

Así pues la TDD se define así:

$$TDD (\%) = 100 \left[ \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} I_h^2}}{I_1} \right]$$

La distorsión armónica total (DAT), es cero para la forma perfecta de onda de voltaje y/o corriente.

### 2.2.2 DISTORSIÓN ARMÓNICA INDIVIDUAL

Sirve para establecer en que porcentaje contribuye cada una de las armónicas tanto a nivel de corriente como de voltaje (DAI), y se define así:

$$DAI_i = \frac{I_h}{I_1} * 100\%$$

$$DAI_v = \frac{V_h}{V_1} * 100\%$$

$I_h$ : corriente armónica

$V_h$ : voltaje armónico

$I_1$ : Corriente nominal

$V_1$ : voltaje nominal

$h$ : orden armónico

DAI i: Distorsión armónica individual de corriente

DAI v: Distorsión armónica individual de voltaje

Además de estos índices la IEEE con su estándar IEEE-519 propone la distorsión de demanda total individual, esto es:

$$\text{TDD}_r(\%) = 100 \left[ \frac{I_h}{I_t} \right]$$

$I_t$ : Corriente de Demanda Máxima de los últimos 12 meses.

$I_h$ : Corriente armónica de orden  $h$

### 2.3 NORMAS QUE RIGEN A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL LAS PERTURBACIONES ARMÓNICAS.

En respuesta al creciente uso de equipos conformados con electrónica de potencia, se detectó que la calidad de la energía eléctrica esta siendo afectada.

Es por este motivo que muchas organizaciones han enfocado sus esfuerzos para crear normativas que permitan controlar y fijar límites con el afán de obtener una mejor calidad en la energía eléctrica, la cual se ve afectada por los disturbios armónicos producto de los equipos electro – electrónicos.

Entre las normativas que fijan los límites armónicos tenemos las dictadas por los siguientes organismos:

- IEEE (Instituto de ingeniería eléctrica y electrónica)
- IEC (International Electrotechnical Comisión)

La norma editada por la IEEE, conocida como IEEE Std 519 – 1992 que titula “Recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia” rige en los E.E.U.U y es adoptada por algunos países de América.

La norma dictada por la IEC, conocida como IEC Std 61000-4-7 o su análoga EN 61000-4-7 que titula “Guía general para la medición e instrumentación sobre armónicos e interarmónicas, en sistemas de alimentación de energía y equipos conectados a estos” (general guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto), rige en Europa y es adoptada por algunos países de América como es el caso de nuestro

país. En nuestro país, ante el eminente crecimiento y desarrollo tecnológico de las industrias mediante la automatización y el gran auge de sistemas computacionales se toma la decisión de crear una normativa a fin de controlar los disturbios armónicos que es uno de los parámetros que puede afectar la calidad de la energía eléctrica en los sistemas eléctricos de potencia.

Esta normativa denominada Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución en la cual se toma como referencia la norma IEC Std 61000-4-7, la misma que es regentada en el País por el Consejo Nacional de Electrificación "CONELEC"

Estas normas se basan en el correcto seleccionamiento del punto de acople común (PCC) en el cual se involucra a la concesionaria y al consumidor respectivo, para así establecer límites en los sistemas eléctricos de potencia.

#### **Alcance de las normas**

Estas normas intentan establecer algunas metas para el diseño de los sistemas eléctricos de potencia, eso incluye cargas lineales y cargas no lineales, describiendo la forma de onda de voltaje y corriente.

Estas metas definen los niveles tolerables de distorsión a la cual pueden estar sometidos los distintos sistemas eléctricos.

Para mantener estos niveles debemos tomar en cuenta que es una responsabilidad compartida, tanto de la concesionaria como de los usuarios o consumidores de energía eléctrica.

#### **Aplicación de las normas**

Se aplica a las compañías distribuidoras y usuarios del servicio de energía eléctrica, los cuales deben controlar que en sus sistemas, las distorsiones armónicas de voltaje y corriente se encuentren dentro de los límites establecidos.

La correcta aplicación de las normativas permiten tanto al distribuidor como al consumidor de energía eléctrica prever graves consecuencias en las redes eléctricas.

### 2.3.1 Definiciones y conceptos

A continuación se presenta un cuadro sinóptico de los distintos tipos de disturbios que afectan la calidad de energía, en los sistemas eléctricos de potencia, presentando cada una de sus definiciones y conceptos.



### Calidad

**Definición.-** Calidad es una combinación de características, a través de la cual los productos o servicios satisfacen las expectativas de los clientes.

### Calidad de energía eléctrica

**Concepto teórico.-** Se habla de calidad de energía cuando se tiene tensiones equilibradas, forma de onda senoidal con amplitud y frecuencia constante.

**Concepto práctico.-** Se habla de calidad de energía cuando el sistema proporciona un funcionamiento, seguro y confiable a equipos y procesos sin afectar, el medio ambiente o bienestar de las personas.

## Transitorios

**Concepto.-** Son aquellos eventos indeseables de naturaleza momentánea en los sistemas eléctricos, se clasifican en impulsivos y oscilatorios.

### Transitorios impulsivos

**Concepto.-** Son alteraciones de las condiciones del estado permanente de tensión o corriente y su duración puede ser menor a 50 nanosegundos ( $\eta s$ ) o mayor 1 milisegundo( $ms$ ).

### Transitorio oscilatorio

**Definición.-** Se lo define como la variación de tensión o corriente donde estos pueden ser de baja frecuencia ( $<5KHz$ ), media frecuencia ( $5 - 500KHz$ ) y de alta frecuencia ( $0.5 - 5MHz$ ) y sus duraciones de acuerdo a sus frecuencias son de  $0.3 - 50ms$ ,  $20\mu s$  y  $5\mu s$  respectivamente.

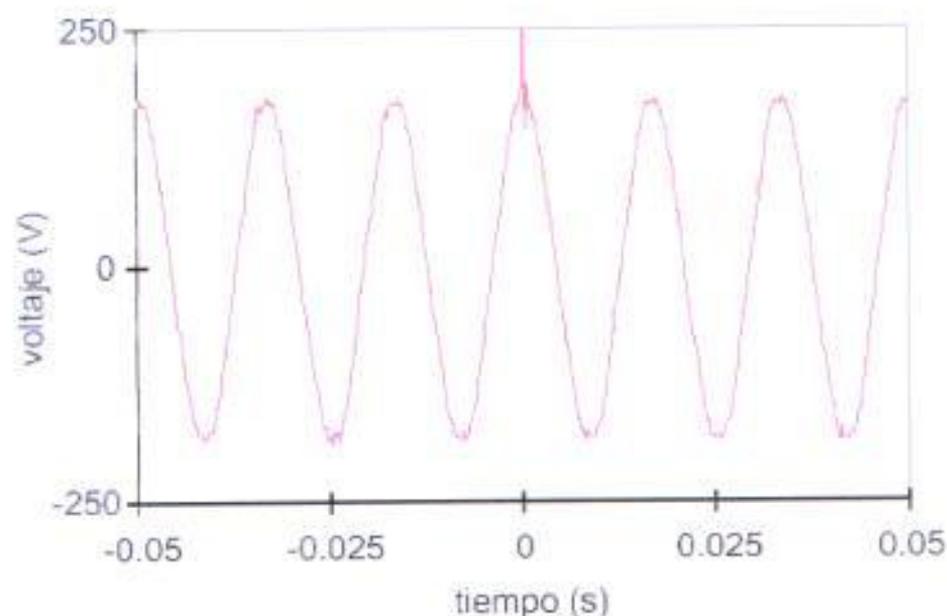


Fig. 2.1 Transitorio Impulsivo

### Variación de corta duración

**Concepto.-** Se originan por fallas en los sistemas eléctricos y al energizar grandes bancos de carga entre otras causas.

### Interrupciones

**Definiciones.-** Una interrupción se caracteriza por ser un decremento de la tensión de hasta un valor de 0.1 [p.u], en un periodo de tiempo de 4ms a 3 segundos.

### Depresión de tensión (SAG)

**Definición.-** Son reducciones momentáneas del valor eficaz de la tensión en el orden de 0.1 a 0.9[p.u] con duración entre 4ms a 3segundos.

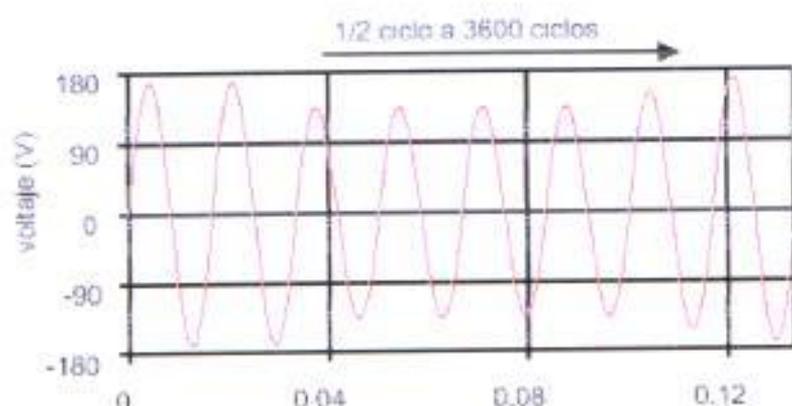


Fig. 2.2 Depresión de Tensión (SAG)

### Salto de tensión (SWELL)

**Definición.-** Es el incremento del valor eficaz de tensión en el orden de 1.1 a 1.4[p.u], con duración entre 4ms a 3seg.

### **Swell**

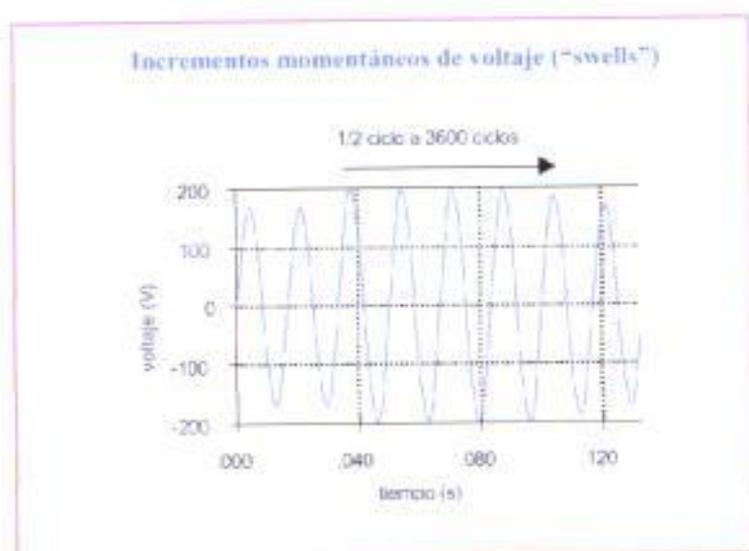


Fig. 2.3 Salto de Tensión (SWELL)

### Variación de tensión de larga duración

**Definición.-** Son variaciones del valor eficaz de tensión con tiempo de duración superior a 1 minuto.

### Interrupciones sostenidas

**Definición.-** Es la reducción del valor eficaz de voltaje a cero [p.u] por un lapso de tiempo superior a 1 minuto.

### Subtensiones

**Definición.-** Se define como una reducción del valor eficaz de voltaje entre 0.8 y 0.9[p.u] en periodos superiores de 1 minuto.

### Sobretensiones

**Definición.-** Se define como un incremento del valor efectivo de tensión entre 1.1 a 1.2[p.u] durante periodos superiores a 1 minuto.

### Distorsión de la forma de onda

- Armónicos
- Corte (NOTCH)
- Ruido

### Armónicos

**Definición.-** Son formas de onda múltiplo de la frecuencia fundamental las cuales al superponerse a la onda fundamental, distorsionan la forma de onda tanto de voltaje como de corriente.

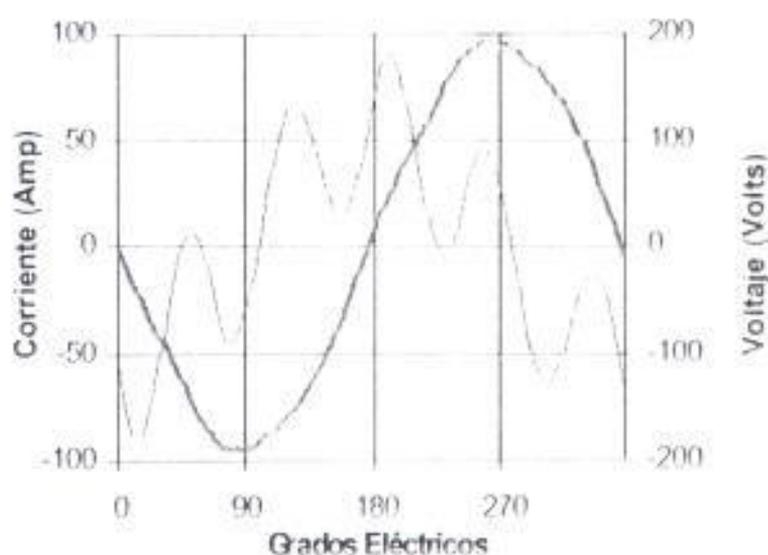


Fig. 2.4 Disturbios Armónicos

### Corte (NOTCH)

**Definición.-** Se lo define como un disturbio periódico de tensión que es producto de los equipos que utilizan electronica de potencia.

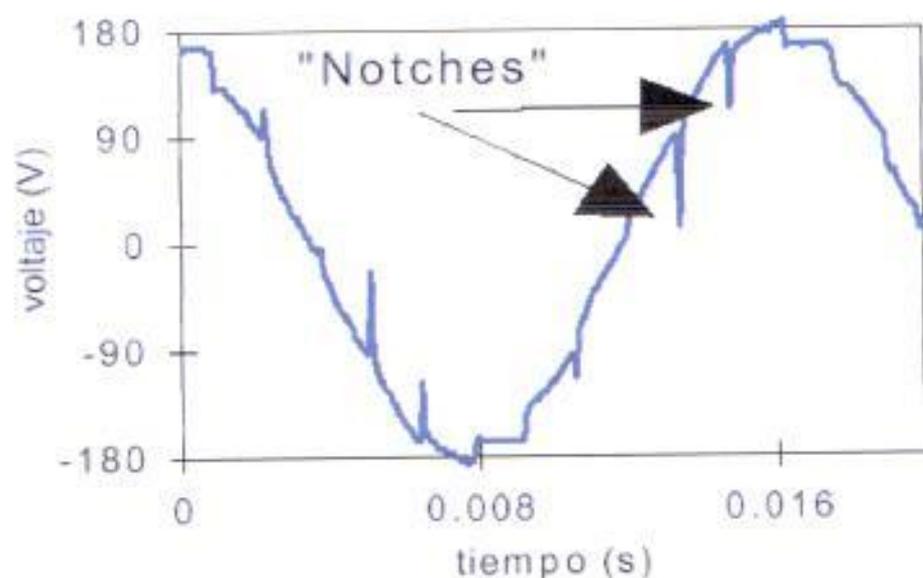


Fig. 2.5 Corte (NOTCH)

### Ruido

**Definición.-** Es una señal indeseable con un espectro de frecuencia menor a los 200 [KHZ] de baja intensidad.

### Fluctuaciones de tensión

**Definición.-** Son variaciones sistemáticas o aleatorias de tensión, generalmente no exceden el limite especificado de 0.5 a 1.05 [p.u]

### 2.3.2 LÍMITES DE DISTORSIÓN DE VOLTAJE

El estándar IEEE - 519 establece limites de distorsión de la forma de onda de voltaje para las compañías suministradoras de energia.

Estos limites están en función del nivel de voltaje del suministro, tal y como se lo muestra en la tabla 2.1

Voltaje	Armónicas Individuales (%)	THD(%)
V < 69 kV	3.0	5.0
69 < V < 161 kV	1.5	2.5
V > 161 kV	1.0	1.5

Tabla 2.1 Niveles de Distorsión de Voltaje Permisibles

Dichos límites no deben ser aplicados a fenómenos transitorios que resulten en la distorsión de la forma de onda, como ocurre en la energización de transformadores.

V < 69 Kv				V > 69 Kv			
Impares		Pares		Impares		Pares	
Orden	Valor %	Orden	Valor %	Orden	Valor %	Orden	Valor %
3,5,7	5	2,4,6	2	3,5,7	2	2,4,6	1
9,11,13	3			9,11,13	1.5		
15 a 25	2	> 8	1	15 a 25	1	> 8	0.5
27	1			> 27	0.5		

Tabla 2.2 Tabla de distorsión para armónicas pares e impares para suministradoras

V < 69 Kv				V > 69 Kv			
Impares		Pares		Impares		Pares	
Orden	Valor %	Orden	Valor %	Orden	Valor %	Orden	Valor %
3 a 25	1.5	todos	0.6	3 a 25	0.6	todos	0.3
> 27	0.7		> 27	0.4			

Tabla 2.3 Tabla de distorsión armónica pares e impares para consumidores

Además de los límites que el estándar IEEE - 519 propone, están los límites que el CONELEC menciona en la regulación sobre Calidad de Energía, tal regulación se refiere exclusivamente a que los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales y los de Distorsión Armónica Total (THD), expresados como porcentajes del voltaje nominal en el punto de medición respectivo, no deben superar los valores señalados a continuación (tabla 2.4).

Orden (n) de la Armónica y THD	Tolerancia (Hi) o (THD) (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 KV ( otros puntos)	V ≤ 40 KV ( trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
>25	$0.1+0.6*25/n$	$0.2+1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	15	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
> 12	0.2	0.5
THD	3	8

Tabla 2.4 Distorsiones Armónicas de Voltajes en  
Transformadores de Distribución

### 2.3.3 LIMITES DE DISTORSIÓN DE CORRIENTE

El estándar IEEE 519, también establece límites para el nivel de distorsión de corriente que puede ser inyectada por parte de los usuarios. Estos límites se establecen para cada una de las armónicas individuales, así como para la distorsión de demanda total TDD y están en función del nivel de cortocircuito ( $I_{cc}$ ) en el punto de suministro (Punto de acople común PCC) y del valor rms de la corriente fundamental correspondiente a la demanda máxima promedio de los últimos doce meses ( $I_1$ ). Estos límites de distorsión de la corriente se presenta en la siguiente tabla:

$I_{cc}/I_L$	TDD <sub>h</sub> (%) ( $h < 11$ )	TDD <sub>3</sub> (%) ( $11 \leq h < 17$ )	TDD <sub>5</sub> (%) ( $17 \leq h < 23$ )	TDD <sub>7</sub> (%) ( $23 \leq h < 35$ )	TDD <sub>n</sub> (%) ( $35 \leq h$ )	TDD(%)
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20 a 50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50 a 100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100 a 1000	12	5.5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabla 2.5. Límites de distorsión de corriente

### 2.3.4 TOLERANCIA Y/O FLEXIBILIDAD

En las distintas normas que rigen a nivel nacional e internacional en el control de armónicos, su tolerancia y/o flexibilidad, se dan desde el punto de vista de los niveles aceptables que pueden tolerar los distintos sistemas y equipos en lo referente a distorsión armónica de corriente como distorsión armónica de voltaje

Al hablar de tolerancia y/o flexibilidad se debe considerar la sensibilidad de los equipos electrónicos, que es atacada principalmente por el deterioro de la calidad de la energía eléctrica.

Al producirse disturbios armónicos en los sistemas eléctricos de potencia se ha llegado a la necesidad de establecer límites de sensibilidad en los equipos electrónicos, con el fin de conocer, que tanto de distorsión armónica pueden soportar, siendo esta sensibilidad representada por la curva CBEMA.

## Curva CBEMA

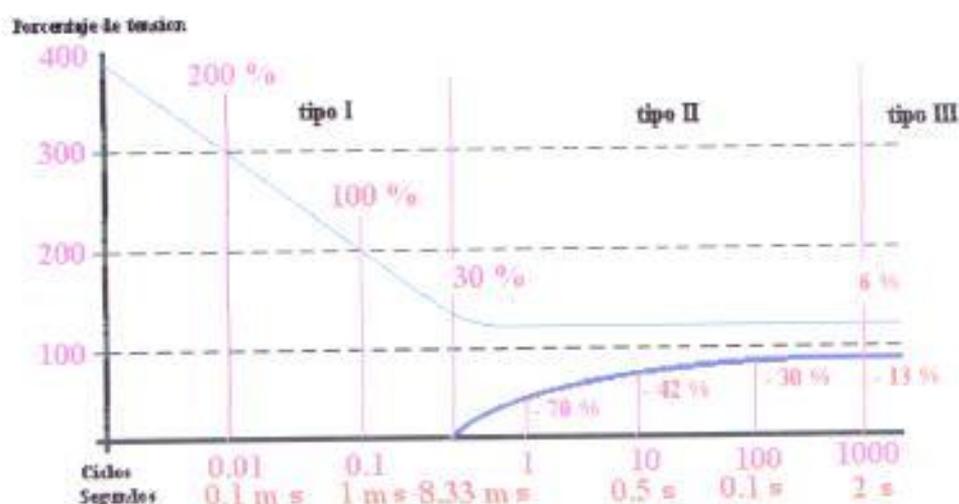


Fig. 2.6 Curva CBEMA

En la actualidad la sensibilidad de los equipos eléctricos está normalizada a través de la norma IEEE Std 446 "The orange book".

En la curva CBEMA se representan tres regiones, las cuales indican tipo I, II, III

- Región de trabajo, tipo I
- Región peligrosa de trabajo, con posibilidad de ruptura de aislamiento de los equipos, tipo II
- Región peligrosa de trabajo, con posibilidad de paralizar algunos equipos, tipo III

En el análisis de la curva CBEMA se destacan dos puntos principales.

- En un periodo de 4ms, necesariamente cualquier equipo debe ser capaz de absorber una interrupción de energía en este periodo.
- A partir de dos segundos los equipos deben soportar continuamente depresiones o subidas de voltaje a causa de los disturbios de calidad de energía, lo que implica riesgos peligrosos para los equipos.

## CAPITULO III

### 3. CONSECUENCIAS DE LAS SEÑALES ARMÓNICAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Al pasar los años los países han ido creciendo tecnológicamente, este crecimiento ha traído consigo la modernización de procesos optimizando así los recursos.

La base de esta modernización se ha visto enfocada en el creciente uso de equipos eléctricos con electrónica de potencia, permitiéndonos una mayor flexibilidad en el manejo de los procesos.

Pero la utilización de estos equipos a traído consigo el deterioro de la calidad de energía eléctrica.

Una de las causas del deterioro de la calidad de energía son los disturbios armónicos, cuyas consecuencias dependen de la intensidad relativa de las fuentes emisoras.

Entre las consecuencias de estos disturbios podemos mencionar:

- Problemas operacionales de los computadores personales
- Interferencia en equipos de telecomunicación
- Sobrecalentamiento de equipos y conductores
- Falla en bancos de capacitores
- Efecto de resonancia

Es por esta razón que las empresas suministradoras de energía, como los usuarios finales de la energía eléctrica, están interesados cada vez más en el concepto de calidad de energía eléctrica, invirtiendo recursos con el fin de mejorar las condiciones del sistema.

Al mejorar estas condiciones tanto en el usuario como en la distribuidora se evitará la contaminación de la red y consecuentemente la confiabilidad del sistema aumentará, disminuyendo las pérdidas globales del sistema, con lo cual se concientizará al sector eléctrico y usuarios en general.

## 3.2 PROBLEMAS QUE TRAEN LOS ARMÓNICOS PARA LAS COMPAÑÍAS DISTRIBUIDORAS DEL SERVICIO ELÉCTRICO

### 3.2.1 Causas

El crecimiento tecnológico ha hecho que los usuarios residenciales, comerciales e industriales incrementen la aplicación de dispositivos, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

SECTOR	CAUSAS
Residencial	Pc's
	Tv
	Impresoras
	VHS
	Lámparas
Comercial	Pc's
	UPS
	Tv
	Equipos oficina
	Lámparas
Industrial	Pc's
	UPS
	Variadores
	Lámparas

Tabla 3.1 **Clasificación de equipos generadores de armónicos por sector**

Todos estos dispositivos traen como consecuencia el incremento del nivel de armónicos en los sistemas eléctricos.

Además hay una ironía, de que el dispositivo del cual dependen gran medida el control, calidad, eficiencia y productividad de la industria no solo produce distorsión armónica, sino que también es sensible a dañarse por la contaminación de armónicos, es por este motivo que al adquirir estos equipos se debe considerar los niveles máximos de distorsión armónica que ellos pueden tolerar.

### 3.2.2 Efectos

Las corrientes armónicas tienden a viajar a los niveles superiores de la red en el sistema eléctrico de potencia, lejos de las cargas no lineales que las producen y pueden llegar hasta las subestaciones eléctricas.

Los dispositivos llamados cargas no lineales generan corrientes armónicas que al interactuar con la impedancia del sistema pueden distorsionar la forma de onda de voltaje que entrega la empresa concesionaria.

Si esta distorsión de voltaje es alta, puede llegar a afectar a otros consumidores aun si la distorsión es baja pueden afectar a otros elementos del sistema y otros circuitos eléctricos que se encuentren en la red con las cargas no lineales.

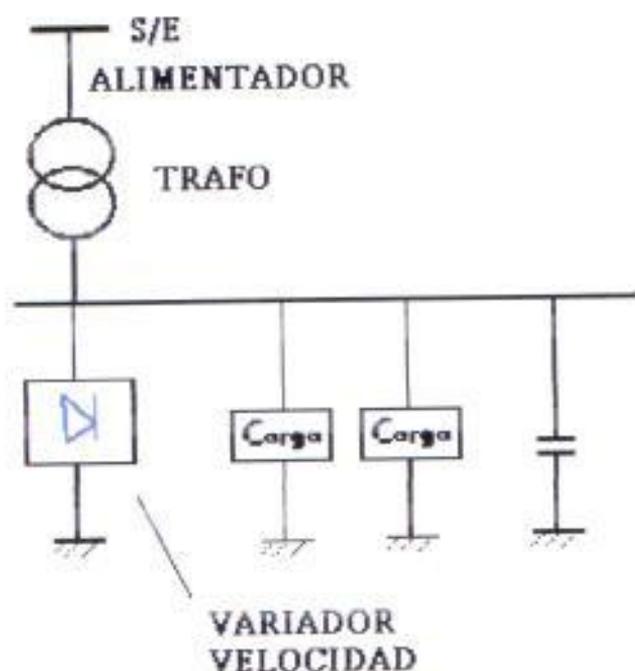


Fig. 3.1 Diagrama carga no lineal

Con el afán de disminuir la distorsión armónica y mejorar la calidad de la energía eléctrica de los sistemas eléctricos de potencia las empresas distribuidoras deberían de:

- Mejorar el diseño y la planeación de los sistemas eléctricos de potencia.
- Modificar la topología de redes y esquemas de conexión de subestaciones eléctricas, haciendo mas robustos y confiables los sistemas eléctricos.
- Mejorar las practicas de mantenimiento, cambio de aisladores flameados en linea viva, lavado de diversos aislamientos, corte de ramas, análisis cromatográfico de aceites aislantes de transformadores de potencia, prueba a equipos primarios, pruebas de operación, recalibración de equipos de protección y medición, mantenimiento a bancos de baterias, etc.
- Modificación en las técnicas de detección de switcheo y localización de capacitores y uso de resistencia de reinserción para reducir sobrevoltaje transitorios.
- Estudio de análisis armónico y medición de armónicos
- Mejorar las técnicas de detección y localización de fallas.
- Pruebas y mejoramiento en las redes de tierra

### **3.3 PROBLEMAS QUE TRAEN LOS ARMÓNICOS PARA LOS GRANDES CONSUMIDORES (INDUSTRIAS) DEL SERVICIO ELÉCTRICO.**

#### **3.3.1 Causas**

Las cargas no lineales como son los dispositivos electrónicos de potencia tales como:

- Convertidores estáticos de potencia
- Rectificadores, etc

Dispositivos productores de arcos eléctricos tales como:

- Luz fluorescente
- Maquinas soldadoras, etc.

Dispositivos ferromagnéticos tales como:

- Transformadores

Y así como motores eléctricos que mueven cargas variables tales como:

- Molinos de laminación
- Trituradores, etc.

Son la principal causa de disturbios armónicos en la industrias, los cuales son utilizados con el fin de optimizar y mejorar la eficiencia de los procesos.

Pero esto con la presencia de dichos equipos, no se da, debido a que al implementar estos dispositivos, traemos consigo el deterioro de la calidad de la energía y una mayor probabilidad de dañar los equipos y maquinas conectadas a la misma red donde esta conectada la carga no lineal generadoras de armónicos.

### 3.3.2 Efectos

Los efectos de los armónicos se dividen en tres categorías fundamentales:

1. Efectos sobre el mismo sistema de potencia
2. Efectos sobre la carga del consumidor
3. Efectos sobre circuitos de comunicación

En el sistema de potencia, las corrientes armónicas son el problema fundamental ocasionando recalentamiento y pérdida de vida útil, esto refiriéndose a motores o transformadores. El impacto es peor cuando en un sistema eléctrico se tienen cargas no lineales y banco de capacitores, debido a que se puede dar el fenómeno de resonancia, que amplifica las corrientes armónicas teniendo como consecuencia, la quema de capacitores, además mala operación de relés y medidores.

Los armónicos pueden ocasionar también errores de disparos falsos en los tiristores, en equipos convertidores y sistemas SCADA (Sistema de Control y Adquisición de Datos).

Las corrientes armónicas que fluyen por las líneas de potencia pueden inducir ruido sobre las líneas cercanas de comunicación.

La distorsión armónica de voltaje puede ocasionar esfuerzos en el aislamiento de los equipos, especialmente en condensadores. Cuando los armónicos distorsionan la forma de onda de voltaje en el banco de condensadores, el voltaje pico puede ser lo suficientemente alto como para ocasionar una descarga parcial o efecto corona, dentro del dieléctrico del condensador. Esto puede producir eventualmente un cortocircuito entre bornes y carcasa.

Las corrientes armónicas altas también ocasionan el disparo de fusibles en bancos de condensadores. Esto ocasiona la pérdida de una fuente de alimentación reactiva al sistema, lo cual ocasiona otros problemas.

La magnitud de los costos originados por la operación de sistemas y equipos eléctricos con forma de onda distorsionada de corriente y voltaje, pueden incurrir en lo siguiente:

1. Una elevación de  $10^{\circ}$  C de temperatura en los aislamientos reduce a la mitad la vida útil de un equipo.
2. Un aumento del 10% de la tensión máxima del dieléctrico de un condensador reduce a la mitad su vida útil.

Si bien los límites normales de operación están muy por debajo de los máximos de diseño, la existencia de armónicas y condiciones resonantes conducen a estados de operación excediendo los niveles máximos referidos.

Con el afán de disminuir la distorsión armónica las industrias han optado por:

- Aplicación de pararrayos en el lado de alta tensión
- Instalación de transformadores de aislamiento o reactancias de líneas en cargas no lineales
- Aplicación de reguladores de voltaje
- Medición y estudio armónico
- Instalación de filtros armónicos
- Alimentación al equipo de fuerza independiente del equipo de control
- Estudio y mejoramiento de las redes de tierra.

## CAPITULO IV

### 4 MONITOREO DE LAS SEÑALES ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los medios para el análisis de la calidad de energía y específicamente para señales armónicas es el monitoreo.

Este proceso se lleva a cabo mediante equipos diseñados para captar las señales armónicas que se producen en un sistema eléctrico de potencia, las cuales nos darán una visión de las condiciones en que se encuentra el sistema.

Esto nos permitirá comparar los resultados del monitoreo con los niveles admisibles para señales armónicas.

Para el seleccionamiento del lugar mas idóneo de ejecución del monitoreo se debe tener informaciones preliminares tales como:

- Diagrama unifilar de la planta con sus respectivas impedancias (con el objetivo de seleccionar el punto de acople común (PCC) donde se colocará el equipo de medición)
- La relación de la corriente de cortocircuito para la corriente de carga en el punto de acople común (PCC) con la posible variación de la misma
- Máximo nivel de distorsión armónica
- Tensión nominal de la red.

Una vez seleccionado el PCC, es importante que las concesionarias y usuarios de energía eléctrica realicen programas de monitoreos de la calidad de la energía eléctrica, y así el distribuidor como el usuario tengan parámetros que se conviertan, en una garantía de la prestación del servicio por parte de los distribuidores, y en una defensa a los derechos de los consumidores.

## 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

Durante la etapa de diseño y control de los sistemas eléctricos de potencia en los cuales van a existir cargas no lineales, se debe tomar consideraciones a fin de que el sistema no sienta los efectos de los disturbios armónicos.

Las cargas no lineales no deben energizarse de los mismos circuitos que las cargas inductivas grandes y de interrupciones frecuentes, como las de elevadores, compresores de aire, etc.

Se debe realizar una correcta selección del lugar donde instalar las cargas no lineales y a la vez, que los bancos de capacitores para proporcionar potencia reactiva o regulación de voltaje, no estén colocados muy cerca de estas cargas, debido a que se tiene en cuenta la probabilidad de tener problemas de resonancia, por lo cual al planificar el sistema debemos tomar en cuenta este efecto.

Los criterios de conexión de los demás elementos constitutivos del sistema eléctrico de potencia, deben ser atendidos en la fase de planeación, ya que muchas veces cuando el sistema ya se encuentra en operación es costoso e impráctico cualquier adecuación del mismo.

Al evaluar la carga no lineal se debe considerar su influencia a las demás configuraciones previstas del sistema, analizando el desempeño de las mismas frente al resto de cargas del sistema. Por lo que es recomendable que se tenga circuitos independientes para las cargas no lineales, a fin de que no interfieran con el resto del sistema.

Al seleccionar el transformador para el diseño de un sistema eléctrico debemos de tomar en consideración el factor  $K$  el cual nos permite dimensionar correctamente el transformador existiendo presencia de cargas no lineales.

Si las condiciones de presencia de disturbios armónicos no han variado se debe realizar evaluaciones del sistema, para así poder determinar que tipo de filtro se puede usar en el sistema y que cumpla con las condiciones técnico – económicas requeridas.

### 4.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS GENERADORAS DE ARMÓNICOS.

Para la clasificación de las cargas generadoras de armónicos consideramos los sistemas eléctricos de potencia.

Los sistemas eléctricos de potencia se encuentran constituidos por las generadoras, distribuidoras y los usuarios.

En las generadoras, las modernas técnicas de diseño ha minimizado la producción de armónicos desde estos sistemas, mientras que las distribuidoras se ven afectadas por las distorsiones que producen los usuarios.

Los usuarios son los responsables en forma directa o indirecta de disturbios que afectan a la calidad de la energía.

El avance tecnológico ha hecho que estos usuarios aporten en gran parte a los disturbios armónicos.

Los usuarios al ser residenciales, comerciales o industriales contribuyen en distintas formas al efecto armónico en los sistemas eléctricos de potencia, clasificándoles así como emisores de armónicos de corriente y/o voltaje dependiendo del tipo de dispositivos que ellos posean.

Los usuarios residenciales al tener equipos electrónicos (televisores, VHS, computadoras, equipos de sonido), aportan al disturbio armónico teniendo a la computadora como una de las mayores fuentes de esta distorsión, siendo la misma en el orden del 80% de armónico individual, donde la tercera armónica es la de mayor perjuicio a la red del sistema.

En los usuarios comerciales su contribución al disturbio armónico se debe a la gran utilización de alumbrado fluorescente con balastos electromagnéticos, en los cuales se detecta una gran presencia de la tercera, quinta, séptima, novena y onceava armónica, produciéndose una distorsión entre el 10% y el 80%.

Actualmente se emplean balastos electrónicos por su mayor eficiencia, pero ellos proporcionan una mayor cantidad de distorsión armónica, la cual es hasta de un 80%.

Además los usuarios comerciales también contribuyen al disturbio armónico por el uso de computadoras y UPS.

Los usuarios industriales aportan en un gran porcentaje a la distorsión armónica, ya que en sus instalaciones se cuenta con gran cantidad de equipos generadores, tales como:

- Computadoras
- UPS
- Variadores de frecuencia
- Arrancadores de estado sólido
- Alumbrado fluorescente

Todas estas cargas no lineales son fuentes generadoras de armónicos que traen consigo el deterioro de la calidad de energía y a su vez perjuicios económicos.

#### 4.4 SELECCIÓN DEL PUNTO DE ACOPLÉ COMÚN

El Punto de acople común (PCC) es el lugar donde el usuario se conecta con el sistema de distribución de la compañía suministradora de energía eléctrica, (generalmente en el primario del transformador principal).

Por lo regular en un ambiente industrial el punto de acople común (PCC) es el punto entre la carga no lineal y las demás cargas.

La selección del punto de acople común (PCC) es uno de los factores determinantes para tener una visión clara del nivel de señales armónicas. Este factor ha de ser tomado en consideración preferentemente en aquellas instalaciones que disponen de equipos que, sean sensibles a señales armónicas ( equipos de control automático, ordenadores, medidores electrónicos , etc. ) o por su capacidad de ser emisores de las mismas ( rectificadores, hornos de arco e inducción, variadores de frecuencia, etc).

En un futuro cercano lo recomendable sería, que los usuarios que posean una instalación como la señalada, deben dirigirse a la empresa suministradora aportando información precisa para que esta, pueda seleccionar el punto de acople común (PCC) que mejor satisfaga sus intereses, teniendo en cuenta los requerimientos de calidad del suministro necesario para el tipo de equipamiento que se va a instalar y las condiciones de la red.

La información mínima que se ha de proporcionar a la empresa suministradora para que pueda realizar el estudio correspondiente incluye:

- Datos de identificación del suministro
  - ❖ Localización geográfica
  - ❖ Tipo de industria
- Características técnicas del suministro eléctrico
  - ❖ Tensión
  - ❖ Previsión de curvas de consumo
  - ❖ Factor de potencia
- Cargas no lineales(especiales) con que cuenta el usuario industrial.
  - ❖ Grandes motores
  - ❖ Sistemas de control automático
  - ❖ Hornos de arco e inducción
  - ❖ Equipos de soldadura
  - ❖ Sistema de compensación reactiva

Para las instalaciones que son potencialmente perturbadoras, el estudio se basará en los siguientes criterios:

- Estimar si el nivel de perturbación general de la red, se mantiene dentro de valores aceptables. Si es así se aceptará automáticamente su conexión.
- En el caso de que el nivel de perturbación general de la red vaya a rebasar los límites aceptables, se estudiarán soluciones basadas en filtros.
- Si, a pesar de todo, no se consigue reducir el nivel de señales armónicas, se estudiará la elección de otro punto de acople común (PCC).

Es muy importante definir de manera correcta el punto de acople común, ya que una selección incorrecta da como resultado límites erróneos para los armónicos de corriente o voltaje.

## 4.5 MONITOREO

### 4.5.1 CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS PARA EL MONITOREO DE LAS SEÑALES ARMÓNICAS.

Para obtener con certeza los análisis de una distorsión armónica es necesario seleccionar un equipo cuyas características nos permitan realizar un estudio pormenorizado de las distorsiones armónicas.

En nuestro país existe una gran variedad de equipos que permiten realizar un adecuado estudio de la calidad de energía específicamente los armónicos.

Dependiendo de la tecnología y aplicaciones que puedan proporcionar estos equipos su costo varía, incluso algunos de ellos pueden llegar a costar algunos miles de dólares.

Entre los equipos más idóneos para la realización de un estudio armónico destacan:

- Power logic
- Topas 1000
- Power meter



Fig. 4.1 POWER LOGIC

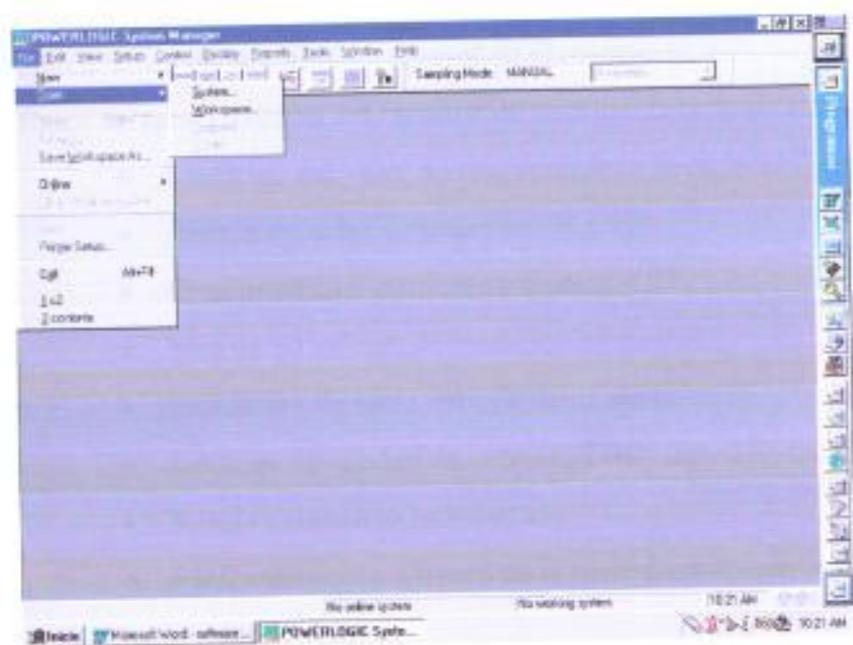


Fig. 4.2 Pantalla de Software System Manager power logic

El **Monitor de circuitos POWERLOGIC** es un dispositivo de instrumentación digital, adquisición de datos y control de múltiples funciones. Puede utilizarse en lugar de una variedad de medidores, relevadores, transductores y otros componentes.

El monitor de circuitos está equipado con comunicaciones RS-485 para facilitar la integración con un sistema de Monitoreo y control de alimentación. Sin embargo, el Software de la aplicación System Manager de Powerlogic -- creado específicamente para el monitoreo y control de alimentación -- es la mejor herramienta para aprovechar las características avanzadas del monitor de circuitos.

El monitor de circuitos es un medidor que proporciona un valor de rms verdadero capaz de producir mediciones de una precisión excepcional de **cargas altamente no lineales**. La avanzada técnica de muestreo facilita mediciones que proporcionan un valor de rms verdadero hasta la 31<sup>va</sup> armónica, además de proporcionar una medición en los cuatro cuadrantes y de estar certificados por la norma ANSI C12.16

Existen varios modelos que se adaptan a una amplia variedad de aplicaciones de monitoreo y control de alimentación.

Entre las características del monitor de circuitos cabe mencionar:

- Medición del valor de rms verdadero hasta la 31<sup>va</sup> armónica
- Acepta entradas estándar de CT y PT
- Gran precisión: corriente y tensión 0.2%
- Más de 50 valores de medición en pantalla
- Indicación de min / máx de datos medidos
- Lecturas de calidad de energía: THD, factor K, factor cresta
- Reloj / calendario incorporado
- Fácil instalación a través de la parte frontal (con contraseña de protección)
- Puerto estándar de comunicaciones RS-485
- Puerto de comunicaciones ópticas en la parte frontal de la fábrica
- E / S digital modular, instalable por el cliente

- Registro de eventos y datos incorporado
- Captura de forma de onda
- Funciones de alarma / relevador controladas por punto de ajuste
- Firmware que se puede copiar
- Conexiones a sistemas tipo:
  - Delta de 3 fases, 3 hilos
  - Estrella de 3 fases, 4 hilos
  - Neutro medido o calculado
  - Otras conexiones de medición
- Módulo de tensión / alimentación opcional para conectar directamente con 480 / 277 V
- Módulo optativo de suministro ininterrumpido para alimentación de control de respaldo.
- Monitoreo de perturbación
- Registro de eventos con hasta 60 ciclos de datos continuos de forma de onda
- Magnitud armónica

El monitor de circuitos Power logic es un equipo de gran precisión en cada uno de sus modelos.

## TOPAS 1000



Fig. 4.3 TOPAS 1000

Este moderno analizador de energía eléctrica utiliza las más modernas técnicas de análisis digital de señales, permite tareas de registro, cómputo y análisis de decenas de magnitudes eléctricas simultáneamente y en un sólo ciclo de medición.

Sus 8 canales analógicos de medición de tensión y corriente, y alternativamente 8 canales de tensión ( el mismo instrumento), registran todas las magnitudes simultáneamente, sin limitaciones de ninguna índole, en CA y CC.

En cada fase en forma individual y trifásico Se pueden medir con el TOPAS 1000:

- V RMS Instantáneo / Promedio / Min. / Máximo
- A RMS Instantáneo / Promedio / Min. / Máximo
- W Instantáneo / Promedio / Máximo
- VAR Instantáneo / Promedio / Máximo
- VAR Delta Promedio.
- VA Instantáneo / Promedio
- Factor de Potencia Instantáneo / Promedio
- KWH , KVARH, KVAH
- Demanda de W, VA, Factor de Potencia Instantáneo / Máximo
- Desequilibrio de tensión
- Frecuencia
- THD ( distorsión armónica total ),
- Armónicas hasta la 50, de corriente y voltaje y también de potencia con ángulo y modo.
- Interarmónicas
- Fasores

Todas las mediciones se hacen de acuerdo a la norma IEC 61000-4-7.

Las mediciones de FLICKER son realizadas en forma automática, y el instrumento calcula los índices de severidad de corta y larga duración ( Pst y Plt ), de acuerdo a lo que especifica la norma IEC 61000 (ex IEC 868) Analiza transitorios en todos los canales de tensión y corriente

- Velocidad de muestreo : 10 KHz ( opcional 10 MHz )
- Tipo de disparo : por niveles RMS, Pico, Disturbio, Derivada, exceso de nivel de THD o armónicas en forma individual, etc

Además este equipo cuenta con un poderoso software de análisis, en el cual gráficamente podemos observar transcientes, curva de sensibilidad y un poderoso osciloscopio.

### POWER METER

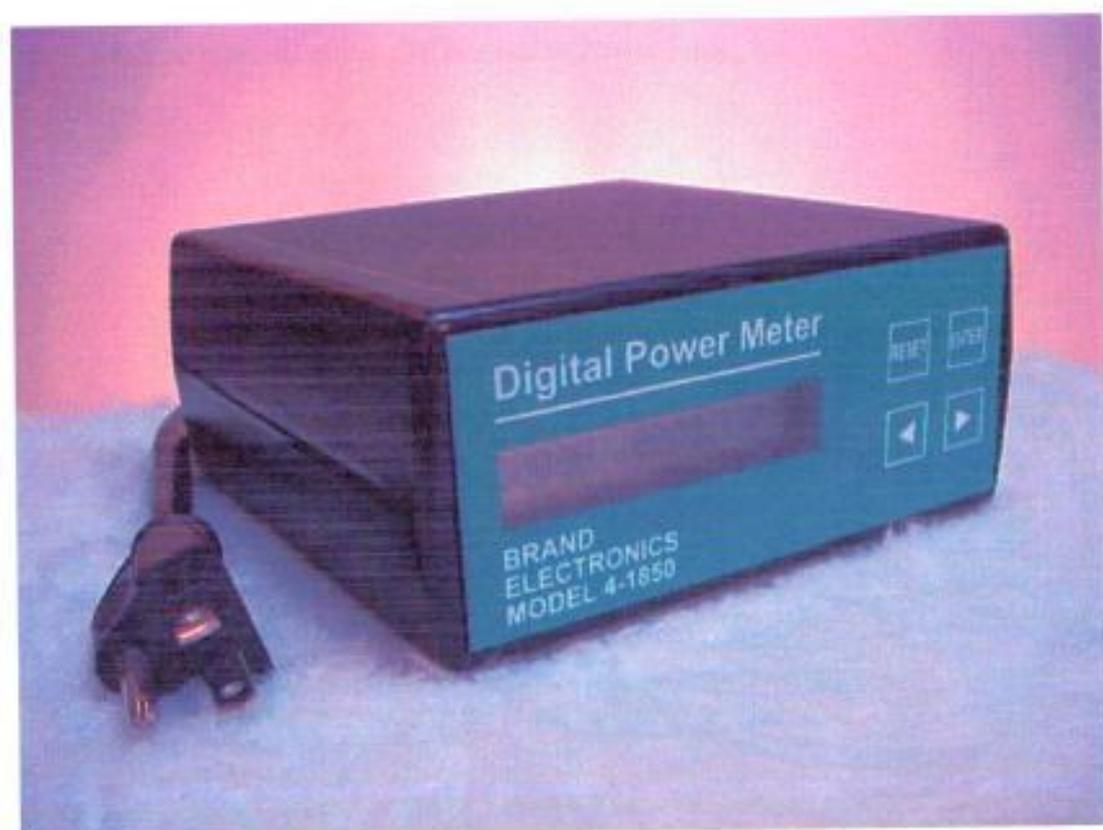


Fig. 4.4 Power meter

El power meter de la familia del power logic es ideal para aplicaciones básicas en medición de parámetros de potencia.

Este dispositivo reemplaza medidores convencionales tales como, amperímetros, voltímetros y medidores de watt – hora.

Proporciona medidas hasta la 31<sup>va</sup> armónica, además proporciona valores de medición tales como:

- Valores simultáneos en magnitud de las fases A,B,C
- Valor real de medición hasta la 31<sup>va</sup> armónica
- 0.25 % de precisión en voltaje y corriente
- Certificado ANSI c12.16 precisión de entrada
- Lectura a escala de valores actuales
- Lectura del THD, medido por fase en corriente y voltaje
- Flexibilidad de movimiento de la pantalla
- Flexibilidad de comunicación con protocolo Power logic
- Es económico

## CAPITULO V

### 5 CONTROL DE SEÑALES ARMÓNICAS.

#### 5.1 INTRODUCCIÓN

En el deterioro de la calidad de la energía ha influido mucho la distorsión armónica, sea esta de corriente y/o voltaje. Es por este motivo que se ha buscado formas o metodologías para reducir esta distorsión.

Para entrar a las diferentes formas para reducir los armónicos en sistemas eléctricos de potencia, cabe destacar, que antes de aplicar cualquier mejora, es importante tomar en cuenta el sistema de puesta a tierra del sistema eléctrico; ya que, un sistema de puesta a tierra incorrecto trae como consecuencias disturbios de interferencia en la red eléctrica, estos disturbios son:

- Armónicos
- Radiofrecuencias
- Inducción Electromagnética

Donde las armónicas como se ha explicado son generadas por fuentes de tipo conmutada de las computadoras, UPS, etc; mientras que las radiofrecuencias (RFI) es causada por transmisores radiales y por componentes electromagnéticos trabajando a altas frecuencias. La inducción electromagnética (EMI), es un ruido eléctrico que se convierte en voltaje en un sistema eléctrico, las fuentes son las mismas que generan (RFI).

Con estas consideraciones para reducir y controlar los efectos que originan señales como las armónicas, radiofrecuencias e inducción electromagnética, se debe tener un eficaz sistema de puesta a tierra, para cualquier sistema eléctrico de potencia.

## 5.2 ANÁLISIS DE LOS ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

El análisis de las señales de armónicas en los sistemas eléctricos de potencia ciertamente no es un tópico moderno, antiguamente la inyección de armónicas al sistema eléctrico solo consideraba a las máquinas motrices y los transformadores saturados como fuentes de las señales armónicas.

Actualmente con el auge de la automatización de los procesos, se inmiscuyen otros equipos tales como, variadores de frecuencia, arrancadores de estado sólido y fuentes de alimentación ininterumpidas (UPS) que generan armónicos.

En los sistemas eléctricos de potencia, las corrientes armónicas fluirán por el camino de menor impedancia.

La fuente de tensión es el camino de baja impedancia, por lo tanto la mayoría de las corrientes armónicas fluirán hacia ella, es importante señalar de que si existe en el sistema bancos de capacitores, un problema podría ocurrir, cuando la reactancia capacitiva de estos capacitores se aproxima a la reactancia inductiva del sistema, esto se conoce como resonancia.

La resonancia en paralelo como se explicó produce una alta impedancia inductiva al flujo de corriente, cuya frecuencia corresponde a la frecuencia de resonancia. La resonancia en serie produce en cambio un circuito de baja impedancia. La condición de resonancia paralelo puede causar oscilaciones de corriente que son excitadas por la corriente que esta resonancia produce.

Estas corrientes que fluyen a través de impedancia producen voltajes armónicos, produciendo entonces formas de onda de voltaje distorsionado, lo que trae como consecuencia la quema de fusibles y banco de capacitores.

Los sobre voltajes producidos por las señales armónicas en los sistemas eléctricos de potencia, pueden producir daños a los bancos de capacitores ya sea para mejorar el factor de potencia o para regulación de voltaje.

Cuando un banco de transformadores es energizado, una elevada corriente de excitación se produce, el valor de estas corrientes puede ser muchas veces la magnitud de la corriente a plena carga.

Si un capacitor esta en serie o en paralelo con el transformador cuando ocurre la energización, entonces una condición de resonancia puede ocurrir.

### **5.3 FORMAS DE REDUCCIÓN DE LAS ARMÓNICAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.**

Entre las formas o metodologías de reducción y control de armónicos tenemos:

- Filtros
- Cambio de topología de red
- Cambio del tipo de rectificador
- Sobredimensionar el sistema

Muchas de estas soluciones son económicas y proporcionan un buen resultado, este es el caso de los filtros tipo pasivo, y del cambio de topología de red, pero muchas veces no se logra este objetivo.

Además del tipo de filtro pasivo tenemos el filtro activo que es un filtro en el cual se puede programar las condiciones existentes del sistema, pero su desventaja se da en el costo. Por lo que pocas empresas son las que están en capacidad de utilizar esta tecnología a fin de disminuir la distorsión armónica en sus sistemas.

Es importante tomar en cuenta en cualquier sistema eléctrico la puesta a tierra o referencia de tierra que tiene o debe tener el sistema, porque un buen sistema de tierra ayuda a reducir y a controlar los efectos que originan a más de las señales armónicas, disturbios como:

- Radiofrecuencias (RFI)
- Inducciones Electromagnéticas (EMI)

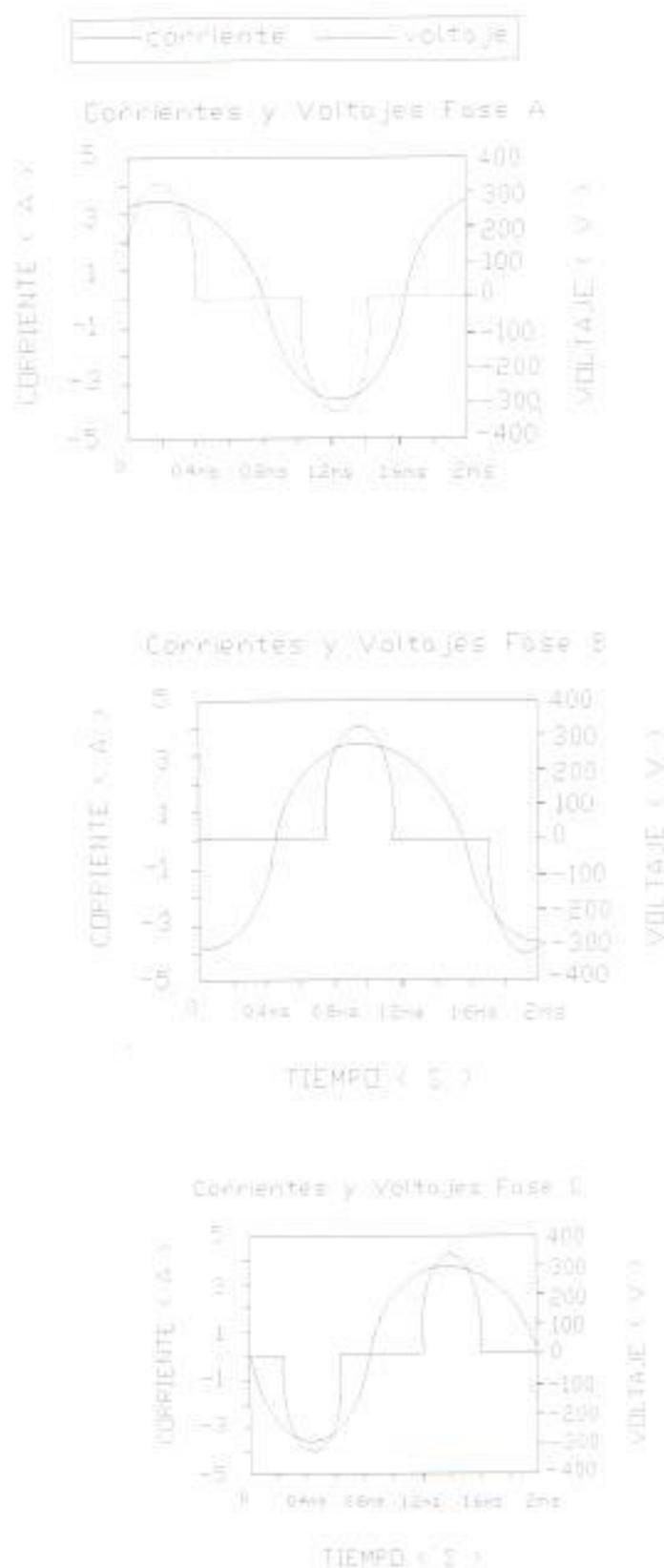
### 5.3.1 SOBREDIMENSIONAR LOS SISTEMAS.

Una forma de controlar el efecto de los armónicos en los sistemas eléctricos empieza en el mismo momento que se plantea diseñar la instalación de un sistema eléctrico, sea este para un usuario residencial, comercial o industrial. Dependiendo del tipo de usuario y de las cargas no lineales que este posea, debemos sobredimensionar el sistema a fin de que las corrientes armónicas en su gran magnitud no deterioren los conductores y demás equipos conectados a la red.

Además debemos tomar en cuenta la correcta dimensión del neutro cuando tenemos presencia de armónicos, sobre todo cuando se tiene sistemas computacionales. Es común la presencia de tableros exclusivos para conectar computadoras y equipos electrónicos, si el tablero es trifásico se tendrá en las tres fases un consumo similar al mostrado en la figura 5.1 y por el neutro circularán las armónicas múltiplos de 3 (armónicas triples). La tabla 5.1 muestra el resultado que se obtiene, lo cual indica que la corriente que circula por el neutro resulta igual a 1.73 veces la corriente que circula por fase, situación que si no es prevista por el proyectista producirá problemas, se recuerda que el neutro no tiene protección de sobrecarga.

Armónica H	Corriente Fase A (Amperios)	Corriente en Neutro (A)
1	1.201	0.00
3	0.977	2.931
5	0.620	0.00
7	0.264	0.00
9	0.068	0.204
11	0.114	0.00
13	0.089	0.00
15	0.029	0.087
17	0.042	0.00
19	0.044	0.00
21	0.019	0.057
23	0.020	0.00
TOTAL	1.698	2.940 = 173%

Tabla 5.1 Corriente de fase y Corriente de Neutro



**Fig. 5.1 Corrientes Armónicas equilibradas en un Sistema trifásico**

Otro de los dispositivos del sistema eléctrico de potencia en el cual se debe tener un gran criterio de sobre dimensionamiento son los transformadores secos, en los cuales se debe tomar en cuenta que tipo de carga no lineal alimentan.

Uno de los parámetros fundamentales para el sobre dimensionamiento de los transformadores es el factor K.

El factor K se recomienda que se maneje en el rango de 3 a 10, para no sobrecargar al transformador, ni para desaprovechar su capacidad de carga.

### 5.3.2 MODIFICAR TOPOLOGÍA DE RED

Una de las metodologías para controlar los disturbios armónicos de corriente y/o voltaje se basa en la modificación de la topología de la red.

Realizar modificaciones en la topología de la red consiste en que las cargas no lineales sean alimentadas directamente desde un transformador, cuya conexión debe ser preferentemente Y -  $\Delta$  y así atrapar las armónicas de corriente principalmente las triples (múltiplos de tres).

Esta solución no es eficiente, debido a que se controlan en parte los armónicos, pero no en su mayoría.

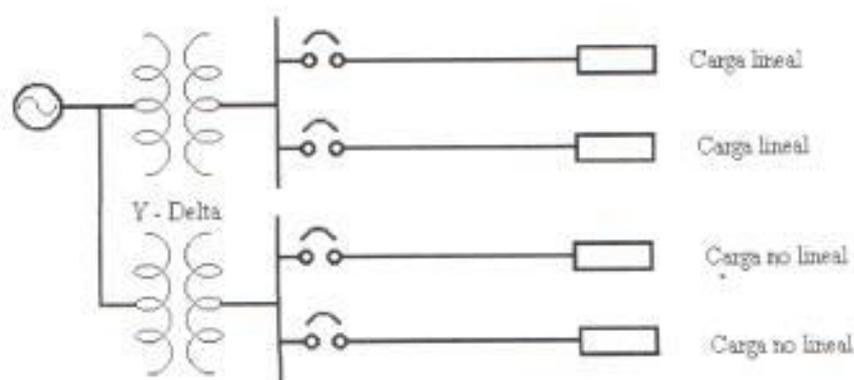


Fig. 5.2 Modificación de topología red

### 5.33 CAMBIO DEL TIPO DE RECTIFICADOR

La reducción de los armónicos de corriente puede realizarse mediante el cambio del tipo de rectificador que posee la carga no lineal, esta modificación puede consistir en emplear un accionamiento con más de 6 pulsos.

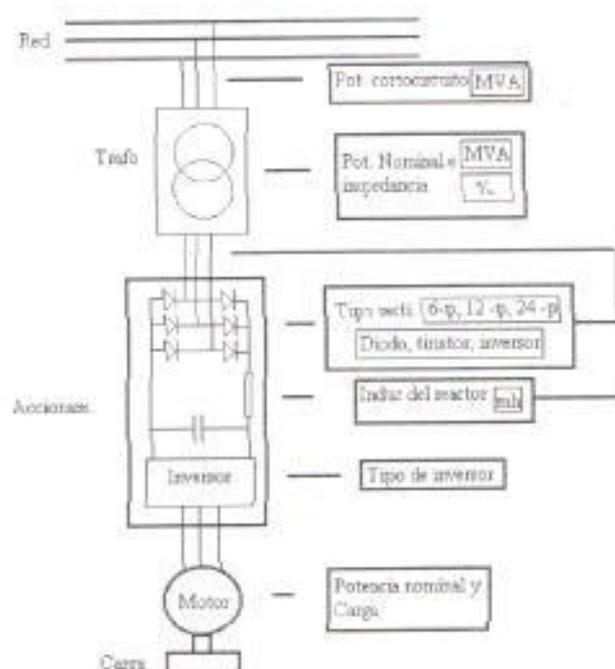


Fig. 5.3 Accionamiento electrónico para un motor de c.a

#### Empleo de un rectificador de diodos de 6 pulsos

El circuito rectificador más común en los accionamientos de corriente alterna trifásicos es el puente de diodos de 6 pulsos. Consta de 6 rectificadores o diodos no controlables y un inductor que junto con el condensador de c.d. forma un filtro de pasa bajo para filtrar la intensidad de corriente continua (cd).

El inductor puede hallarse en la etapa de corriente continua o corriente alterna o puede dejarse completamente en el exterior.

El rectificador de 6 pulsos es sencillo y barato pero genera una gran cantidad de armónicos de orden bajo, siendo estos el quinto, séptimo y undécimo, especialmente con una inductancia de filtrado reducido.

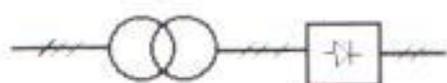


Fig. 5.4 **Rectificador 6 pulsos**

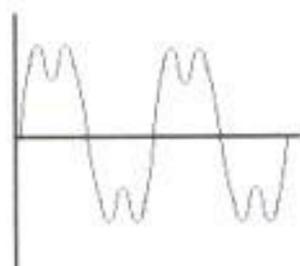


Fig. 5.5 **Forma de onda de un rectificador de 6 pulsos**

#### **Empleo de un rectificador de 12 pulsos o mas**

Los rectificadores de 12 pulsos o mas están formados por la conexión de rectificadores de 6 pulsos en paralelo para alimentar una barra de corriente continua.

La entrada de los rectificadores se proporciona con un transformador de triple bobinado o transformadores de bobinado doble .

En ambos casos los secundarios del transformador tienen una variación de fase de 30 grados.

La ventaja de tener rectificadores de 6 pulsos en paralelo donde los armónicos se hallan en fase opuesta es que se eliminan entre si.

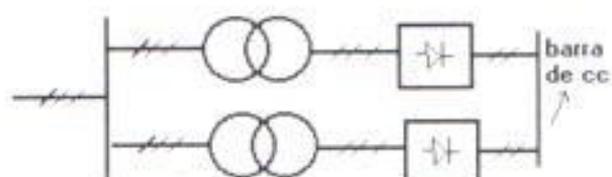


Fig. 5.6 (a) Formación de rectificadores de 12 pulsos con alimentación de transformador de doble bobinado

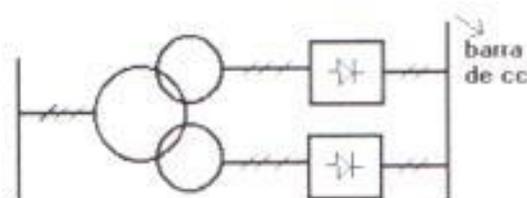


Fig. 5.6 (b) Formación de rectificadores de 12 pulsos con alimentación de transformador de triple bobinado

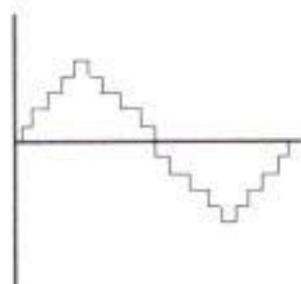


Fig. 5.7 Forma de onda de un rectificador de 12 pulsos

### Empleo de Rectificador de 24 Pulsos

El principio para el rectificador de 24 pulsos se muestra en la figura 5.8. Tiene 2 rectificadores de 12 pulsos en paralelo con dos transformadores de triple bobinado, con bobinados primarios con variación de fase de 30 grados. La ventaja es que prácticamente se eliminan todos los armónicos de baja frecuencia, pero el inconveniente es su elevado costo.

En el caso de un solo convertidor de elevada potencia o una gran instalación con varios convertidores, un sistema de 24 pulsos, puede ser la solución más económica con la menor distorsión por armónicos.

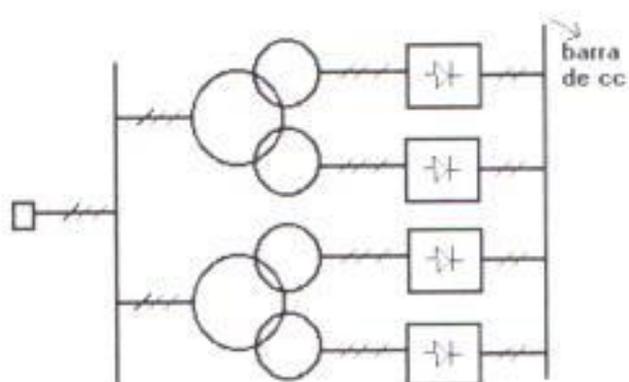


Fig. 5.8 Formación de rectificadores de 24 pulsos

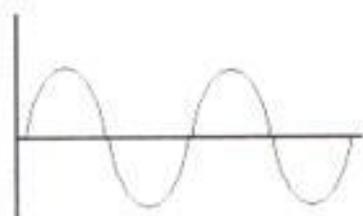


Fig. 5.9 Forma de onda de un rectificador de 24 pulsos

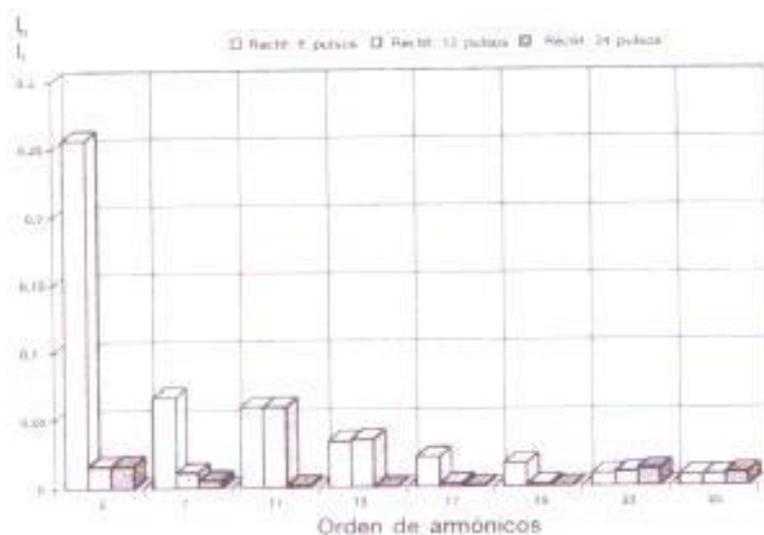


Fig. 5.10 Incidencia de los armónicos Vs. El tipo de rectificador

### Empleo de un rectificador de tiristores controlado por fase

Un rectificador controlado por fase se obtiene sustituyendo los diodos en un rectificador de 6 pulsos por tiristores.

Dado que un tiristor requiere un pulso de disparo para efectuar la transición de estado no conductor a conductor, el ángulo de fase en que el tiristor empieza a conducir puede retardarse.

Al retardarse el disparo por encima de 90 grados, la tensión de la barra de corriente continua pasa a ser negativa.

Ello permite el flujo regenerativo de potencia desde la barra de corriente continua de vuelta a la fuente de alimentación.

La configuración estándar de la barra de corriente continua e inversor no permiten el cambio de polaridad de la tensión de corriente continua y es más común conectar otro puente de tiristores antiparalelo respecto al primero para permitir la inversión de la polaridad de la intensidad.

Este tipo de rectificador permite una mayor reducción de corriente armónica.

Las principales ventajas son:

- Función segura en caso de desaparición de la alimentación de red.
- Elevada *dinámica del control del convertidor incluso en el rango de debilitamiento de campo*
- Posibilidad de generar potencia reactiva e incluso compensar intensidades de armónicos de cargas paralelas.
- Intensidad de alimentación casi senoidal, con un bajo contenido de armónicos
- Capacidad de sobre par de tensión.

#### **5.3.4.1 FILTROS**

El Filtrado es un método para la reducción de armónicos en una planta industrial cuando se ha aumentado gradualmente la distorsión por armónicos o como una solución total en una nueva planta.

El efecto de las corrientes armónicas en la red de alimentación, puede reducirse a niveles insignificantes, conectando circuitos de filtrado directamente a la carga generadora de armónicos.

Es esencial que los circuitos de filtrado sean proyectados para frecuencias crecientes, es decir para las frecuencias armónicas quinta (300Hz), séptima (420Hz), undécima (660Hz) y decimotercera (780Hz).

El dimensionamiento de los circuitos de filtrado se basa en:

- Corrientes armónicas de carga
- Nivel armónico de tensión de la red de alimentación
- Reactancia de cortocircuito en el punto de conexión.

Para el filtrado existen dos métodos básicos:

- Filtros pasivos
- Filtros activos

#### 5.3.4.1 Filtros pasivos

Los **filtros pasivos** están constituidos por elementos reactivos (bobinas y condensadores) conectados en paralelo o en serie con la carga. Su gran ventaja es la simplicidad, fiabilidad y robustez de su diseño al estar compuesto de elementos pasivos. Pero también tienen numerosas desventajas, como son el gran tamaño de la bobina y el condensador, la pobre respuesta dinámica ante cambios en la carga, la gran influencia de la impedancia de red en el filtrado, la posibilidad de que aparezcan resonancias, y la imposibilidad de eliminar mas de un número limitado de armónicos.

Estos filtros se caracteriza por constar de combinaciones series o paralelo de elementos R, L o C.

##### **Filtro serie**

Los **Filtros Series** impiden el paso de una frecuencia particular (armónica), desde el contaminante hacia alguna componente de la planta o parte del sistema de potencia, mediante la presencia de una gran impedancia serie a la frecuencia especificada. Estos constan de un inductor y un capacitor en paralelo que se posicionan en serie a la parte de la red que se desea proteger.

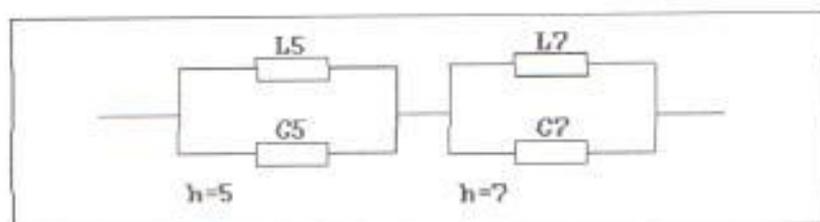


Fig. 5.11 Filtro Serie

### Filtro shunt

Los **Filtros Shunt** por su parte proveen un paso alternativo de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas, y consisten en una rama resonante serie compuesta por elementos  $R L C$  en conexión paralela con el sistema de alimentación. Se tiene una serie de desventajas del filtro serie respecto del filtro shunt.

- El filtro serie debe ser capaz de soportar toda la corriente que proviene del sistema de alimentación y debe ser aislado en todas sus partes por la diferencia entre el voltaje total y tierra. El filtro shunt puede ser "aterrizado" y lleva sólo la corriente armónica a la que fue sintonizado más la corriente fundamental, que es mucho menor que la que circula por el circuito principal; por esta razón, el filtros shunt es mucho más barato que uno serie de igual efectividad.
- Los filtros series, aunque pueden evitar la entrada de armónicas a cierta parte de la red, no pueden impedir el paso de armónicas a la fuente de alimentación, porque la producción de armónicas por componentes contaminantes de la planta (como convertidores estáticos), son inherentes al funcionamiento de estos equipos.
- Finalmente, los filtros shunt tienen otra ventaja frente a los filtros series; y es que para frecuencia fundamental, los primeros proporcionan potencia reactiva al sistema, mientras los segundos consumen potencia reactiva.

### Filtro shunt pasivo

Este tipo de filtro se basa en la combinación de elementos dando así como resultado los *filtros sintonizados simple* y *filtro pasa alto*.

### Filtro sintonizado simple

El filtro sintonizado simple es utilizado para eliminar una armónica determinada; este es uno de los más simples y consiste en un banco de condensadores conectado en serie con un inductor. La configuración de este filtro y su característica de impedancia se muestran en la figura siguiente.

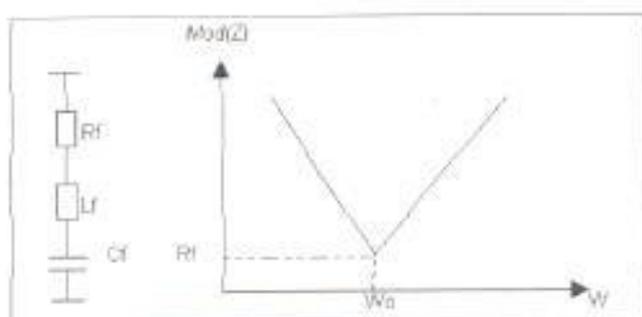


Fig. 5.12 Filtro sintonizado simple

Este filtro se sintoniza a la frecuencia de la armónica que se desea eliminar, lo que significa que para esta frecuencia, las reactancias de la inductancia y del condensador se hacen iguales y por lo tanto se anulan, entonces la impedancia que presentará el filtro para esta frecuencia es mínima (valor igual a la resistencia), y absorberá la mayor parte de la corriente armónica contaminante.

El factor de calidad del filtro, es el que determina la filiosidad de la característica de impedancia, y hace que ésta sea más o menos estrecha o abrupta.

#### Ventajas

- Proporciona una máxima atenuación para una armónica individual.
- A frecuencia fundamental puede proporcionar la potencia reactiva requerida en la red.
- Tiene bajas pérdidas, las cuales están asociadas a la resistencia del inductor y la resistencia del filtro.

## Desventajas

- Vulnerable a la desintonía debido a tolerancias de elementos con la temperatura y/o variaciones de frecuencia fundamental.
- Interactúan con la red originando una resonancia paralela al igual que un banco de condensadores.

## Filtro pasa alto

El filtro pasa altos de uso más frecuente, dentro de los filtros de característica amortiguada, es el de segundo orden. Estos son utilizados para eliminar un amplio rango de frecuencias, y se emplean cuando las armónicas no tienen frecuencia fija, lo que sucede comúnmente en los cicloconvertidores. La configuración de este filtro se muestra en la siguiente figura.

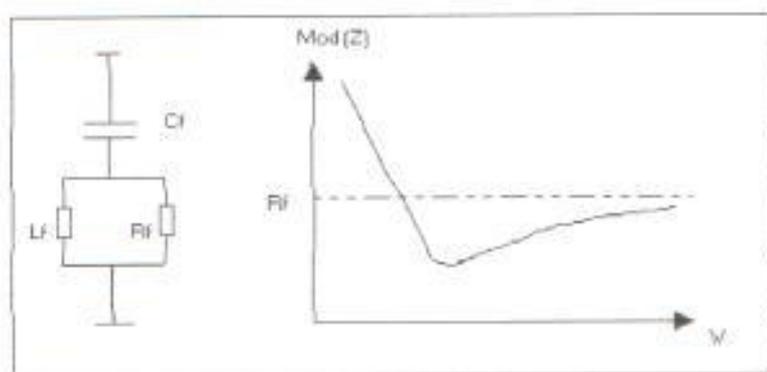


Fig. 5.13 Filtro pasa Alto

### 5.3.4.2 Filtros activos

Los **filtros activos** se componen de elementos pasivos y transistores gobernados por circuitos de control. Los filtros activos compensan los armónicos generados por cargas no lineales generando los mismos componentes armónicos en la fase opuesta.

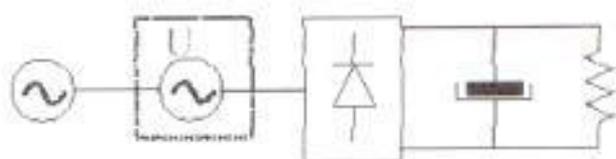
Estos tipos de filtros son capaces de filtrar prácticamente la totalidad de los armónicos de baja frecuencia y no tienen los inconvenientes de los

filtros pasivos, que introducen nuevas resonancias que pueden provocar problemas por armónicos adicionales.

Los filtros activos son los más adecuados para varios convertidores pequeños. Son relativamente caros en comparación con otros métodos.

#### **Filtros Activos en Serie**

El inversor se encuentra en serie con la carga, actuando como fuente de voltaje proporcionando una muy alta impedancia a los armónicos y casi nula a la frecuencia de red tal como se muestra en la figura 5.14

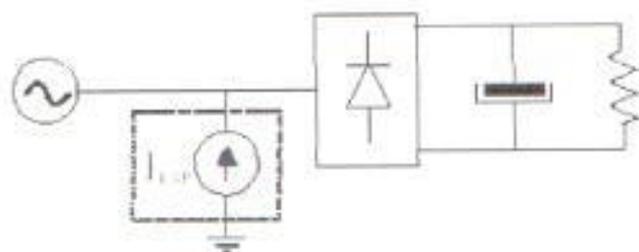


*b) filtro activo serie*

**Fig. 5.14**

#### **Filtros Activos en Paralelo**

Estos filtros actúan como una fuente de corriente en paralelo con la carga inyectando o absorbiendo corriente según se precise.



*c) filtro activo paralelo*

**Fig. 5.15**

## **ANEXO**

**Caso de estudio:**

**“PLANTA INDUSTRIAL DE LA COMPAÑÍA DE  
CERVEZAS NACIONALES C.A”**

# ANEXO 1

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.

El sistema eléctrico de la **COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A** es alimentado por una línea de subtransmisión que viene directamente desde la subestación Pascuales, cuyo conductor es del tipo ACSR # 2/0.

Este sistema es  $3\phi$  a 69KV, su protección esta basada por fusibles del tipo slow speed 120 E, en el interior de la planta se tiene una subestación la cual abarca un área de 826 m<sup>2</sup>, y es de tipo barra principal – barra de transferencia, aquí se encuentran dos transformadores conocidos como Principal (5 MVA) y Auxiliar (2.5 MVA), sus protecciones se basan en fusibles tipo slow (65 E – T principal y 25 E – T auxiliar) en Alta Tensión (69KV).

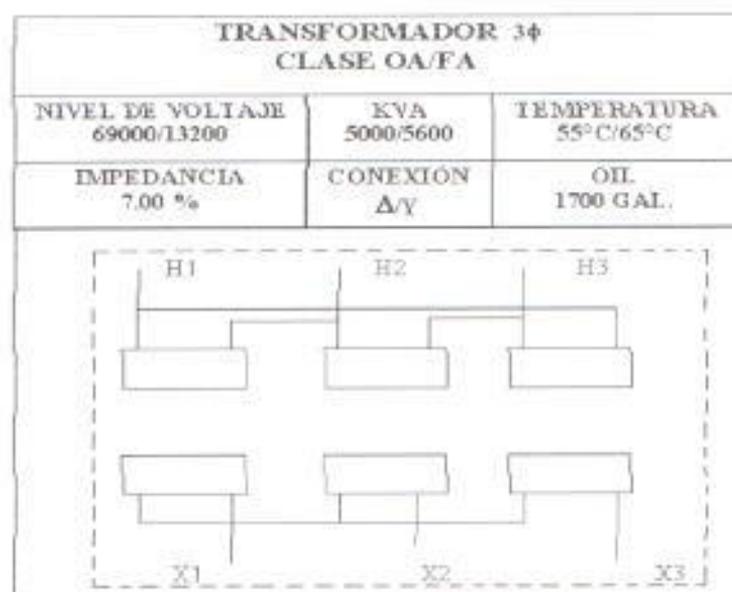
Para la protección del secundario de los transformadores se cuenta con disyuntor en vacío con las siguientes características:

<b>Voltaje</b>	<b>15.5 KV</b>
<b>Capacidad</b>	<b>600 A</b>
<b>Frecuencia</b>	<b>60 Hz</b>
<b>Peso</b>	<b>1700 lbs</b>

**Tabla A1.1 Características del disyuntor (Secundario) del Trafo Principal**

El transformador principal tiene las siguientes características:

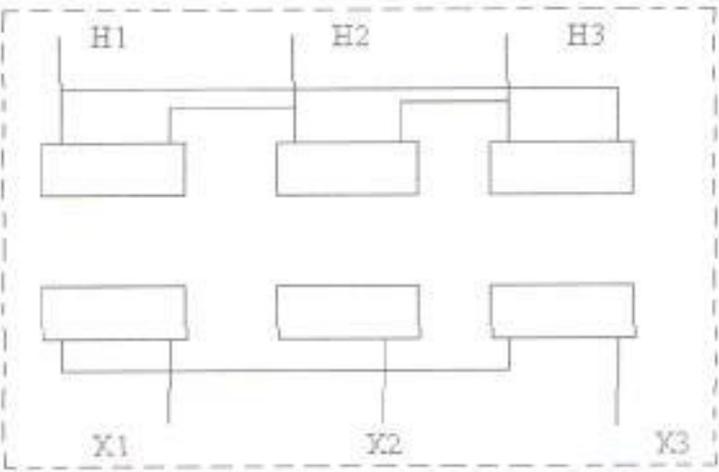
**Fig A1.1 Características del Transformador Principal**



El transformador auxiliar tiene las siguientes características:

**TRANSFORMADOR AUXILIAR  
DE TRANSFERENCIA**

<b>TRANSFORMADOR 3<math>\phi</math> CLASE OA</b>		
NIVEL DE VOLTAJE 69000/13200	KVA 2500	TEMPERATURA 65°C
IMPEDANCIA 7.58 %	CONEXIÓN $\Delta Y$	OIL 981 GAL.

The diagram shows a three-phase transformer with a delta primary and star secondary. The primary windings are labeled H1, H2, and H3, connected in a delta configuration. The secondary windings are connected in a star configuration with a common neutral point, and the output terminals are labeled X1, Y2, and X3.

**Fig. A1.2 Características del Transformador Auxiliar**

De la Subestación principal se derivan siete alimentadores, los cuales abastecen a las siguientes áreas:

- **Maltería**
- **Tostación**
- **Envase**
- **Servicios**
- **Piscina industrial**
- **Cocimiento**
- **Bodega de frío**

El alimentador de **Malteria** abastece a un banco de transformadores de 3 \* 500 KVA, 13.2KV / 460 V.

Este banco de transformadores esta conectado en estrella - triángulo aterrizado, siendo c/u de sus transformadores convencionales, el tipo de conductor de alimentación en el lado de alta tensión es un # 2 con aislamiento para 15KV y 1# 1/0 - 600V para la tierra, además en el lado secundario del transformador la salida esta formada por un juego de barras de Cu 4" x 1/2" por cada fase.

**Fig A1.3 Características del Banco de Transformadores Malteria**



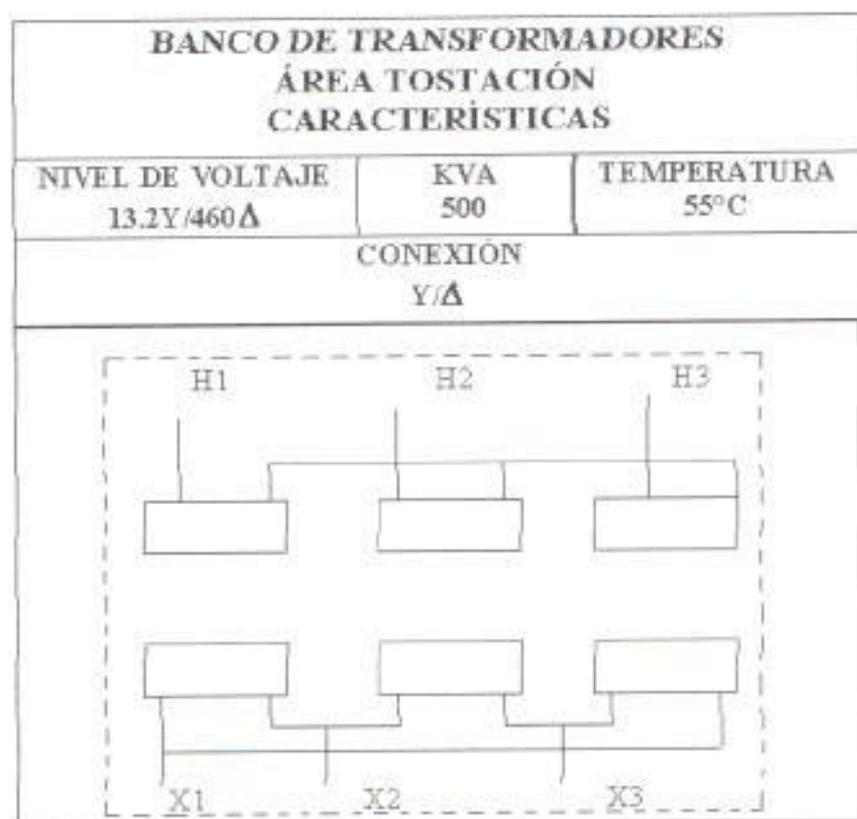
Para la protección de los transformadores (Principal - Auxiliar), en el caso de algún percance en el alimentador de Malteria, se cuenta con un fusible - seccionador con las siguientes características:

Voltaje nominal de operación (KV)	2.4 - 14.5
Voltaje maximo(KV)	15.5
Nivel básico de aislamiento (KV)	110
Corriente rms (A)	600 - 1200
Capacidad de interrupcion (A)	12000 - 40000

**Tabla A1.2 Características Celda de alta Tensión Malteria**

El alimentador de **Tostación** abastece a un banco de transformadores de 3\*167 KVA, 13.2KV / 460 V.

Este banco de transformadores esta conectado en estrella - triángulo aterrizado, siendo cada uno de sus transformadores del tipo convencional, el tipo de conductor de alimentación en el lado de alta tensión es un # 2 con aislamiento para 15KV y 1# 1/0 - 600V para la tierra, además en el lado secundario del transformador la salida esta formada por un juego de conductores 3 x 3 #500 MCM - 600V más 1#1/0 - 600V (para tierra).



**Fig A1.4 Características del Banco de Transformadores Tostación**

Para la protección de los transformadores (Principal - Auxiliar), en el caso de algún percance en el alimentador de Tostación, se cuenta con un fusible - seccionador con las siguientes características:

Voltaje nominal de operación (KV)	2.4 - 14.5
Voltaje máximo (KV)	15.5
Nivel vasico de aislamiento (KV)	110
Corriente continua (A)	600 - 1200
Capacidad de interrupcion (A)	12000 - 40000

**Tabla A1.3 Características Celda de alta Tensión Tostación**

El alimentador de **Envase** abastece a un conjunto de celdas de Alta Tensión (A.T), de las cuales se derivan tres alimentadores para los siguientes transformadores:

<b>Transformador ( trifasico)</b>	
Voltaje	13.2KV / 460V-227V
Capacidad	400 KVA
Conexión	Delta / Estrella - aterizado
Alimentación	A.T : 3 #2 - 15 KV
	B.T : 3x3#500 MCM + 1#4/0 AWG

Tabla A1.4 Características del Transformador 3Ø

<b>Banco de transformadores</b>	
Voltaje	13.2KV / 460V
Capacidad	3x167 KVA
Conexión	Estrella / Dela aterizado
Alimentación	A.T : 3 #2 - 15 KV
	B.T : 3x3#500 MCM + 1#4/0 AWG

Tabla A1.5 Características del Banco de Transformadores

<b>Transformador (trifasico)</b>	
Voltaje	13.2KV / 460V
Capacidad	1500 KVA
Conexión	Delta / Estrella - aterizado
Alimentación	A.T : 3 #2 - 15 KV
	B.T : Barras de Cu 4" x 1/2 "

Tabla A1.6 Características del Transformador 3Ø

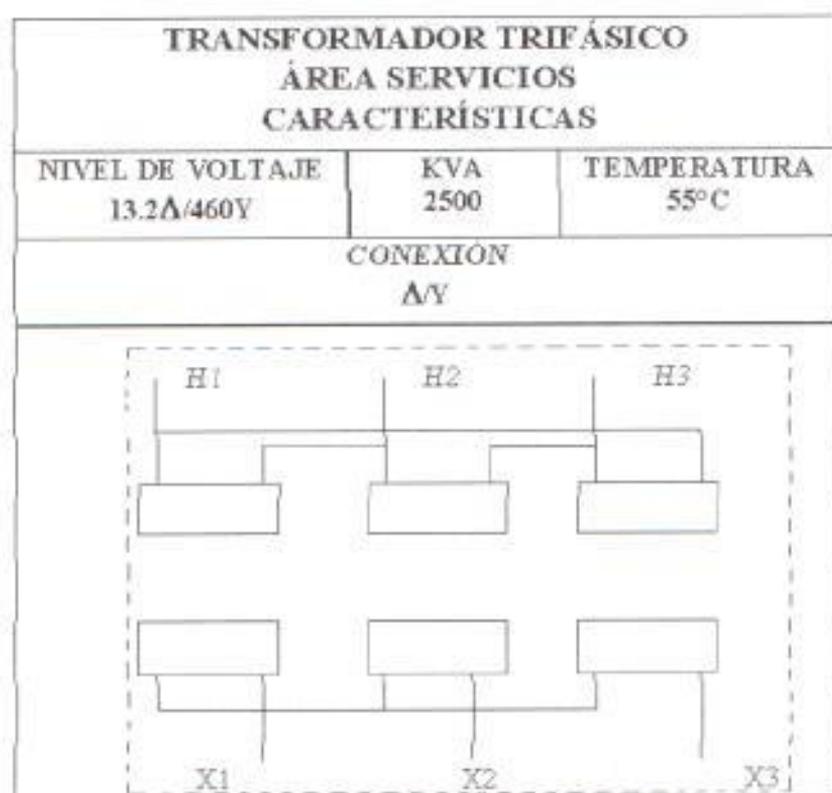
Para la protección del alimentador de envases se cuenta con una celda de alta tensión conformada por tres fusibles seccionadores de (25 A, 40 A, 100 A), además para la protección de los transformadores de la subestación principal se tiene un fusible - seccionador de las siguientes características:

Voltaje nominal de operación (KV)	2.4 - 14.5
Voltaje maximo ( KV )	15,5
Nivel básico de aislamiento (KV)	110
Corriente rms ( A )	600 - 1200
Capacidad de interrupcion (A)	12000 - 40000

Tabla A1.7 Características Celda de alta Tensión Envases

El alimentador de **Servicios** esta formado por un transformadores 3 $\phi$ , de 2500 KVA a 13.2KV / 460 V

Este transformadores trifásico esta conectado en triángulo - estrella aterrizado, el tipo de conductor de alimentación en el lado de alta tensión es un 3 #1/0 con un aislamiento para 15KV más 1# 500MCM - 600 V para la tierra, además en el lado secundario del transformador la salida esta formada por dos juego de barras de tipo Cu 4" x 1/2" para cada fase.



**Fig. A1.5 Características Transformador 3 $\phi$  Servicios**

Para la protección de los transformadores (Principal - Auxiliar), en el caso de algún percance en el alimentador de Servicios, se cuenta con un fusible - seccionador con las siguientes características:

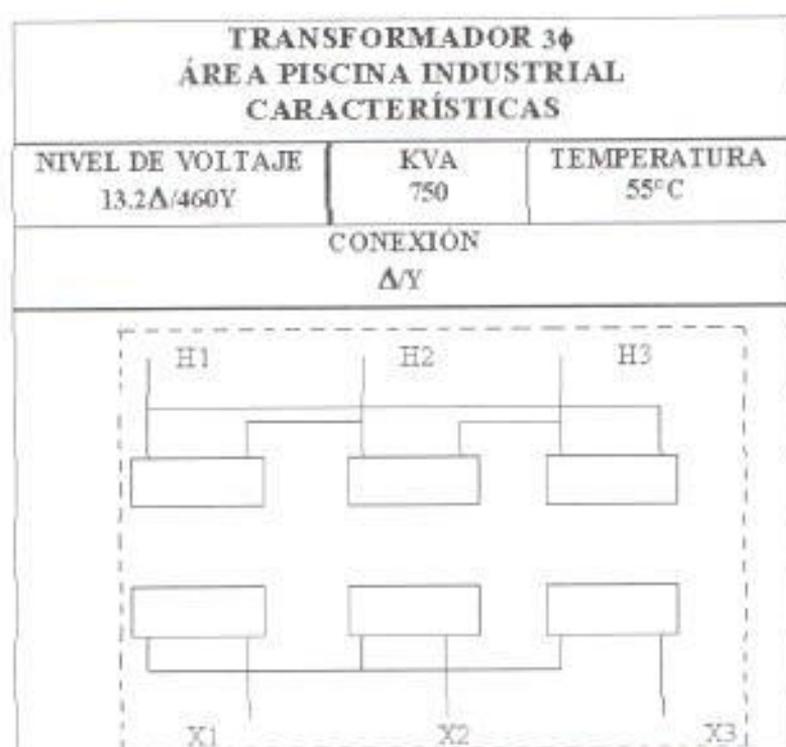
Voltaje nominal de operación (KV)	2.4 - 14.5
Voltaje maximo (KV)	15.5
Nivel básico de aislamiento (KV)	110
Corriente continua (A)	600 - 1200
Capacidad de interrupcion ( A )	2000 - 4000

**Tabla A1.8 Características Celda de alta Tensión Servicios**

El alimentador de **Piscina Industrial** esta formado por un transformadores 3 $\phi$ , de 750 KVA de 13.2Kv a 460 v.

Este transformadores trifásico esta conectado en triángulo – estrella aterrizado, el tipo de conductor de alimentación en el lado de alta tensión es # 2 con un aislamiento para 15KV más 1#500MCM – 600V para la tierra, en el lado secundario del transformador la salida esta formada por un juego de conductores # 500MCM – 600V más 1#500MCM – 600V(para tierra).

**Fig A1.6 Características Transformador 3 $\phi$  Piscina Industrial**



Para la protección de los transformadores (Principal - Auxiliar), en el caso de algún percance en el alimentador de *Piscina Industrial*, se cuenta con un fusible – seccionador con las siguientes características:

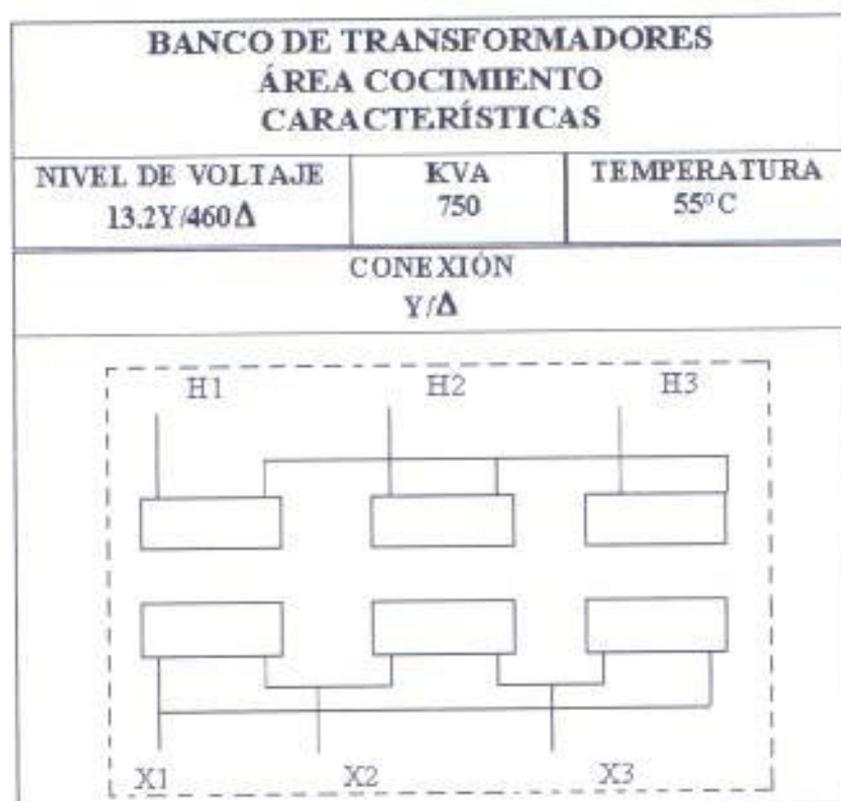
Voltaje nominal de operación (KV)	2.4 - 14.5
Voltaje máximo (KV)	15,5
Nivel básico de aislamiento (KV)	110
Corriente continua (A)	600 - 1200
Capacidad de interrupción ( A )	2000 - 4000

**Tabla A1.9 Características celda de alta tensión Piscina Industrial**

El alimentador de **Cocimiento** abastece a un banco de transformadores cuya capacidad es de 3\*250 KVA a 13.2KV / 460 V.

Este banco de transformadores esta conectado en estrella- triángulo aterrizado, el tipo de conductor de alimentación en el lado de alta tensión es # 2 con un aislamiento para 15KV más 1#1/0 – 600V para la tierra, además en el lado secundario del transformador la salida esta formada por un juego de conductores # 500 MCM – XHHN + 1#1/0 – 600V(para tierra)

**Fig. A1.7 Características del banco de Transformadores Cocimiento**



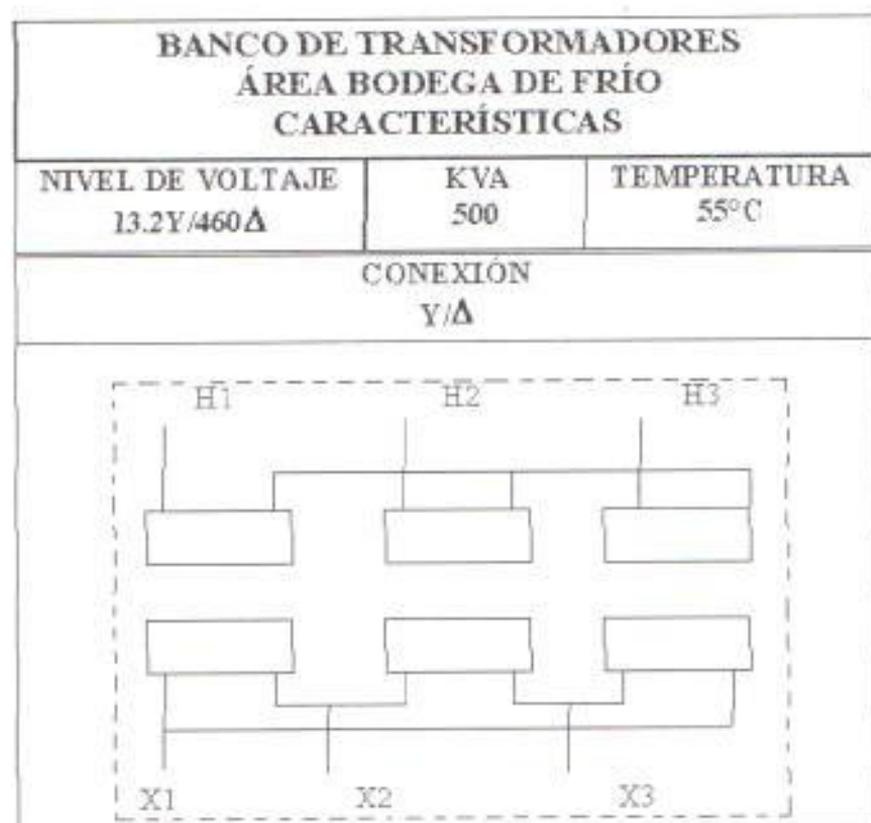
Para la protección de los transformadores (Principal - Auxiliar), en el caso de algún percance en el alimentador de Cocimiento, se cuenta con un fusible – seccionador con las siguientes características:

Voltaje nominal de operación (KV)	2.4 - 14.5
Voltaje máximo (KV)	15,5
Nivel básico de aislamiento (KV)	110
Corriente continua (A)	600 - 1200
Capacidad de interrupción ( A )	2000 - 4000

**Tabla A1.10 Características de la celda de alta tensión Cocina**

El alimentador de **Bodega de frío** abastece a un banco de transformadores de 3\*167 KVA a 13.2KV / 460 V.

Este banco de transformadores esta conectado en estrella - triángulo aterrizado, el tipo de conductor de alimentación en el lado de alta tensión es #2 con un aislamiento para 15KV y 1 # 1/0 AWG - 600V para la tierra, además en el lado secundario del transformador la salida esta formada por conductores # 500 MCM más 1# 1/0 AWG - 600V(para tierra).



**Fig A1.8 Características del banco de Transformadores Bodega de Frío**

Para la protección de los transformadores (Principal - Auxiliar), en el caso de algún percance en el alimentador de Bodega de Frío, se cuenta con un fusible - seccionador con las siguientes características:

Voltaje nominal de operación (KV)	2.4 - 14.5
Voltaje maximo (KV)	15.5
Nivel básico de aislamiento (KV)	110
Corriente continua (A)	600 - 1200
Capacidad de interrupcion ( A )	2000 - 4000

**Tabla A1.11 Características de la celda de alta tensión Bodega de frío**

Actualmente se acaba de instalar un generador cuya capacidad es de 100KW y abastece al edificio administrativo, específicamente al área de computo, cuyas características son las siguientes:

<b>Datos del Generador</b>	
Marca	F.G Wilson
Voltaje	480/227 V
Potencia Activa	100 KW
Potencia Aparente	125 KVA
Factor de Potencia	0.8
Fases	3
Velocidad	1800 r.p.m
Corriente	150.4 A
Altitud maxima	152.4 m

**Tabla A1.12 Características del generador de Bodega de frío y Edif. Administrativo**

A continuación se indican los diagramas unifilares de las áreas que entraron en el estudio, esto se indica ya que Maltería y Tostación no se las tomo cuenta para el estudio, debido a que la carga que manejan es muy pequeña, comparada con el resto de áreas.

# ESQUEMAS ELÉCTRICOS DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE CCN

VISTA AÉREA DE S/E  
PRINCIPAL

Líneas de  
alimentación  
69KV

Transformador  
Principal

Transformador  
Auxiliar

VISTA LATERAL DE S/E  
PRINCIPAL

Fig. A1.9 Vista área y lateral de la Subestación Principal de CCN

## SIMBOLINGIA

Nombre                      Elemento

Disyuntor



Transformador



Variador



Medidor



Fusible



Conexión (estrella-delta)



Conexión (delta-estrella)



Celdas de Alta Tensión



Caja de Distribución



Fusibles Tipo Cuchilla



Puesta a Tierra



Fig A1.10

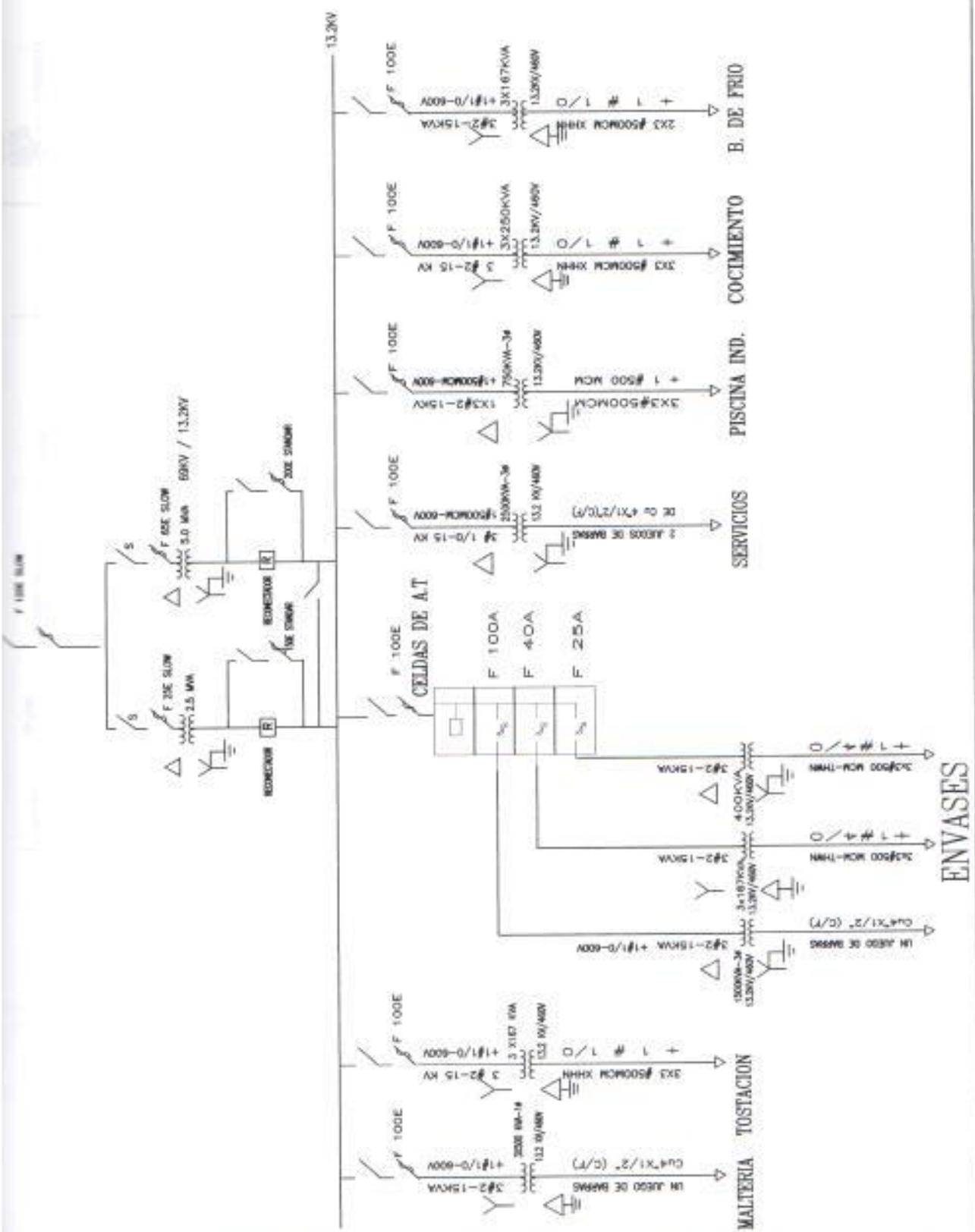
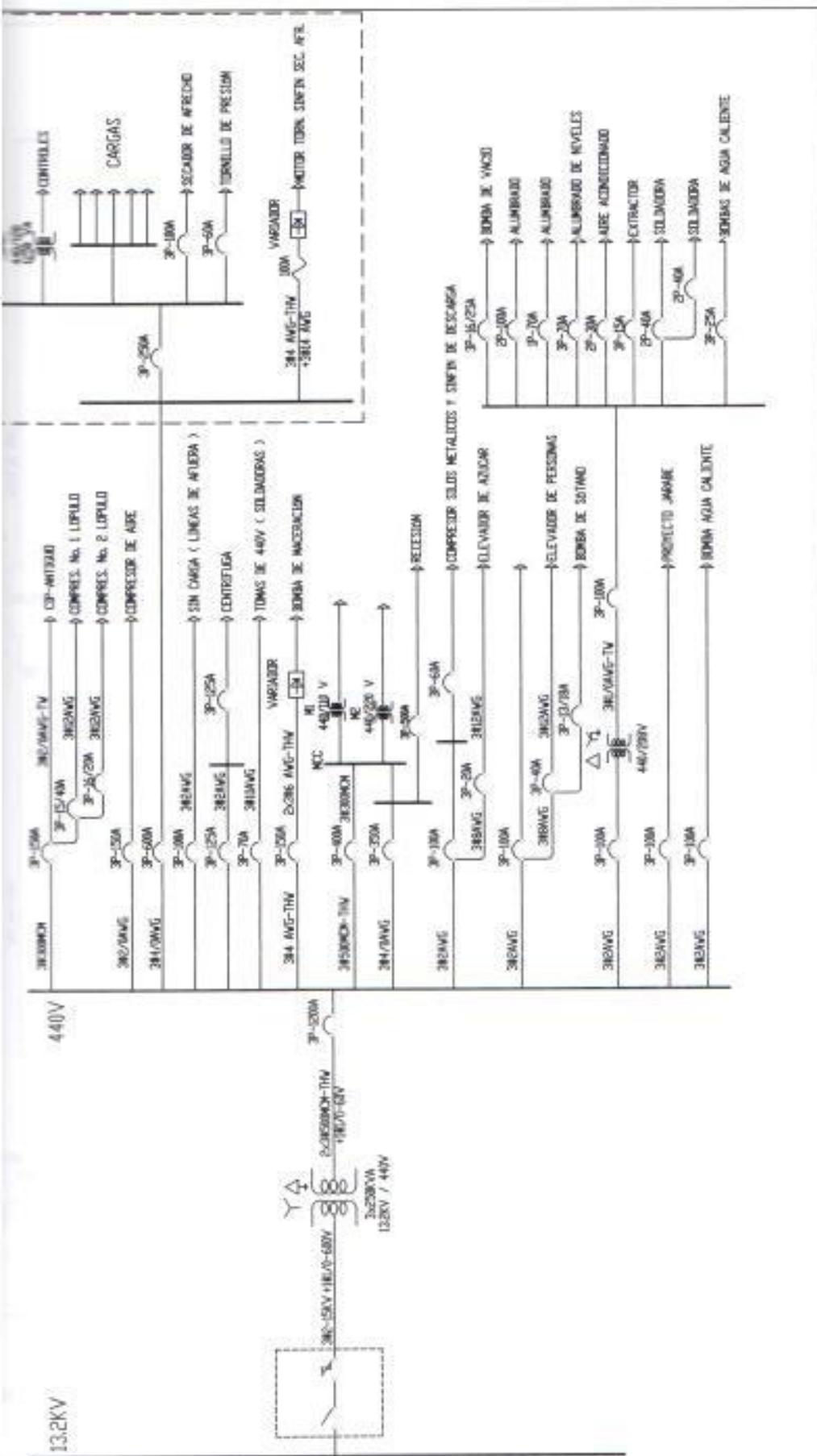
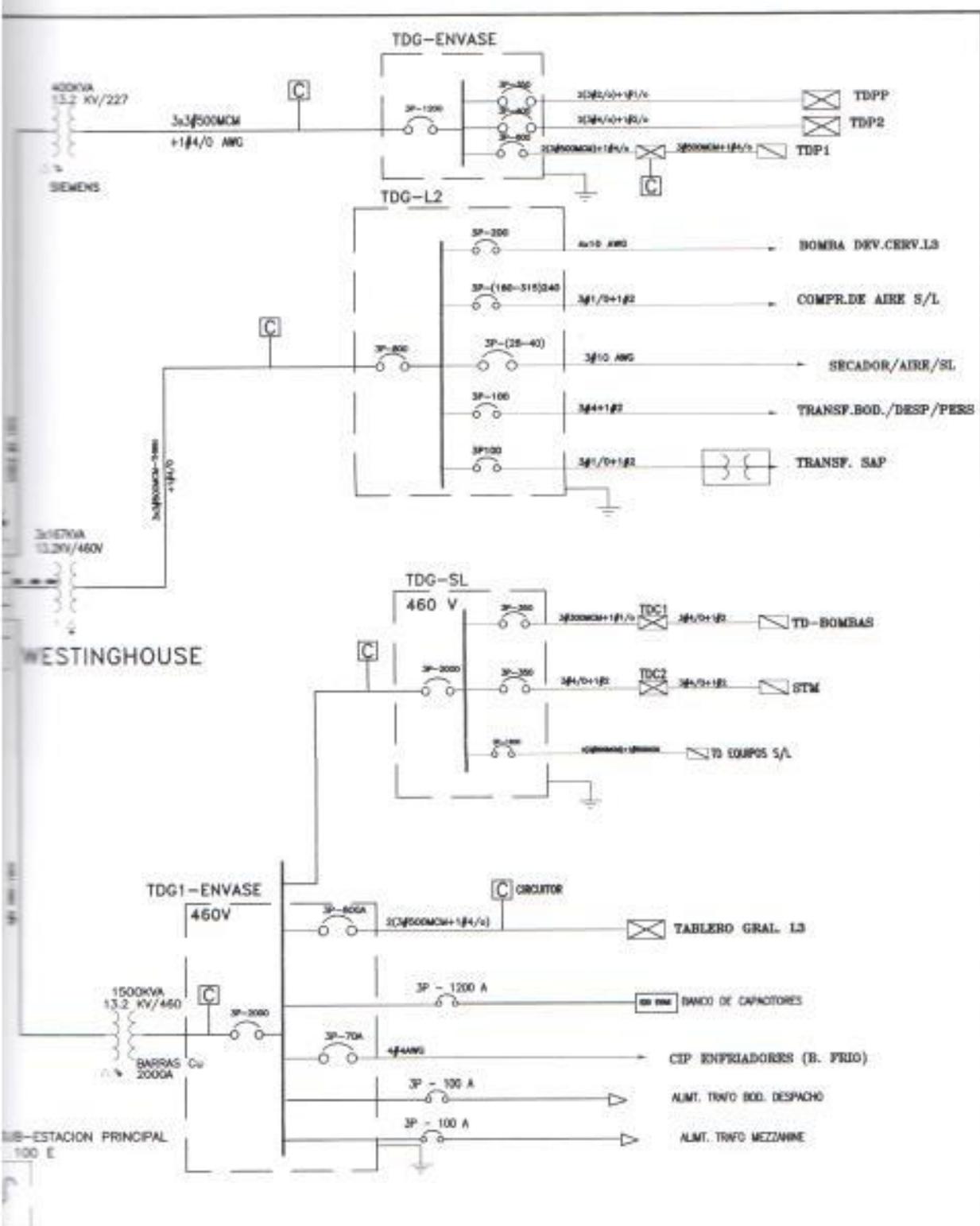


Fig A1.11



		<b>Sección:</b> GENERAL	
<b>Área:</b> COCIMIENTO		<b>Combiene:</b> DIAGRAMA UNIFILAR	
<b>Diseñado por:</b> Ing. Leonardo Yáñez		<b>Revisado por:</b> Ing. Julio Narrojo	
<b>Colocado por:</b> Marlon Trejillo/Fabrizio Bayas		<b>Fecha:</b> 01 - 06 - 2001	
<b>Fig. Leornado Yáñez</b>		<b>No. Plano:</b> 1 / 1	

Fig A1.12



AREA DE CERVEZAS NACIONALES	DIAGRAMA UNIFILAR		DIBUJADO:
	AREA: ENVASES	UBICACIÓN:	REVISADO:
	FECHA: 21/09/01	SUB-ESTACIÓN ELECTRICA	M. TRUJILLO - P. REYES APROBADO POR: ING. JULIO NARANJO

Fig A1.15

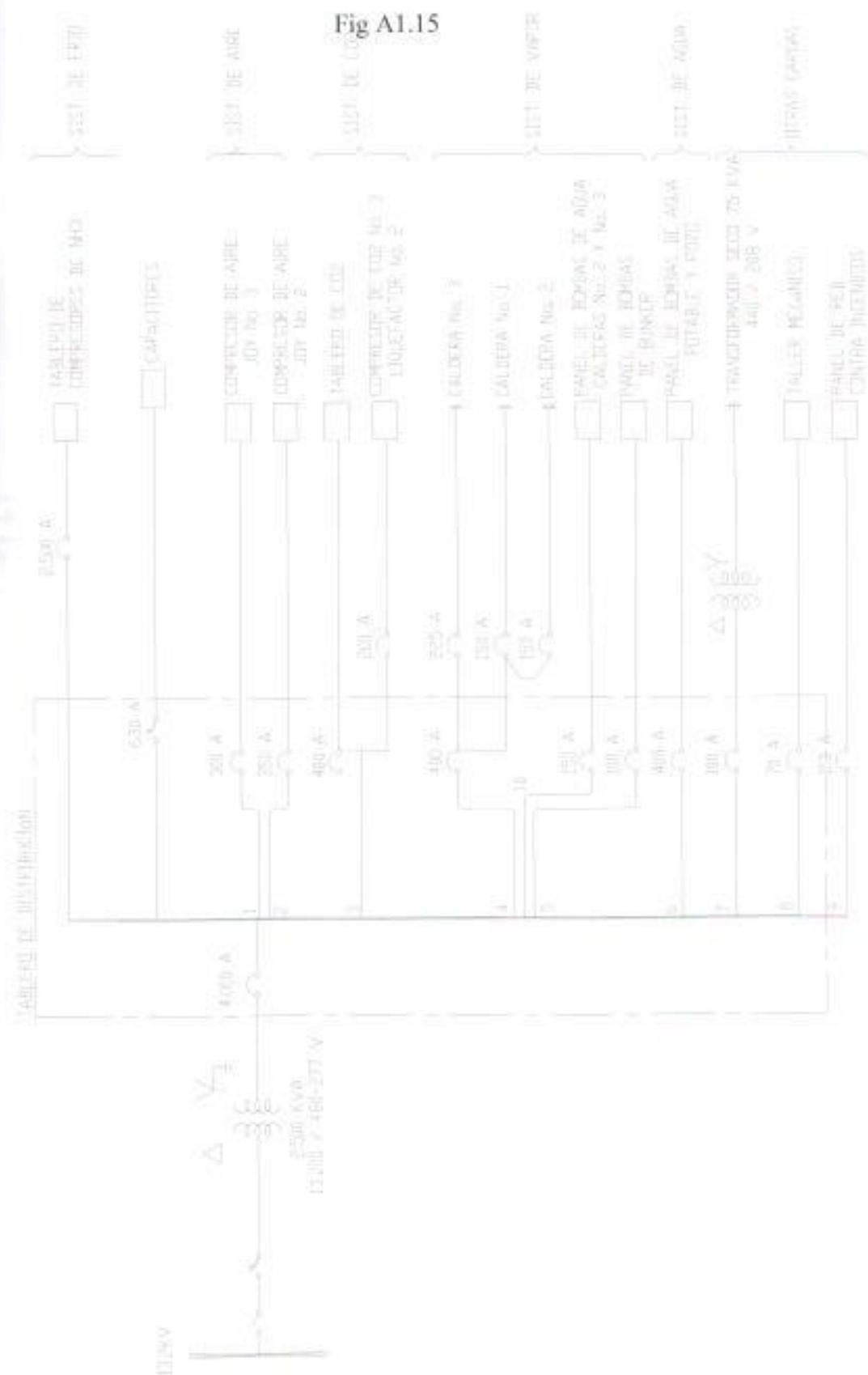
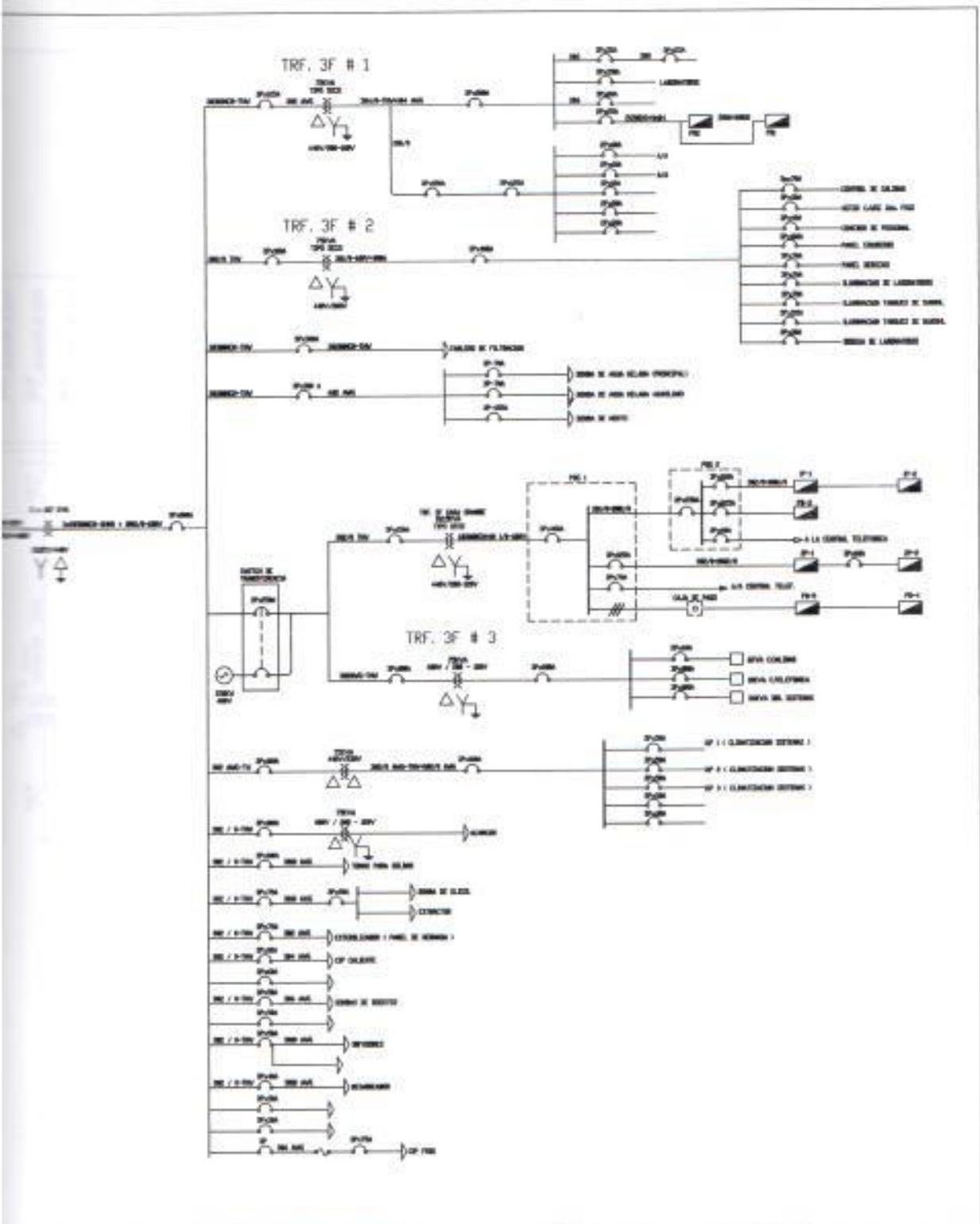
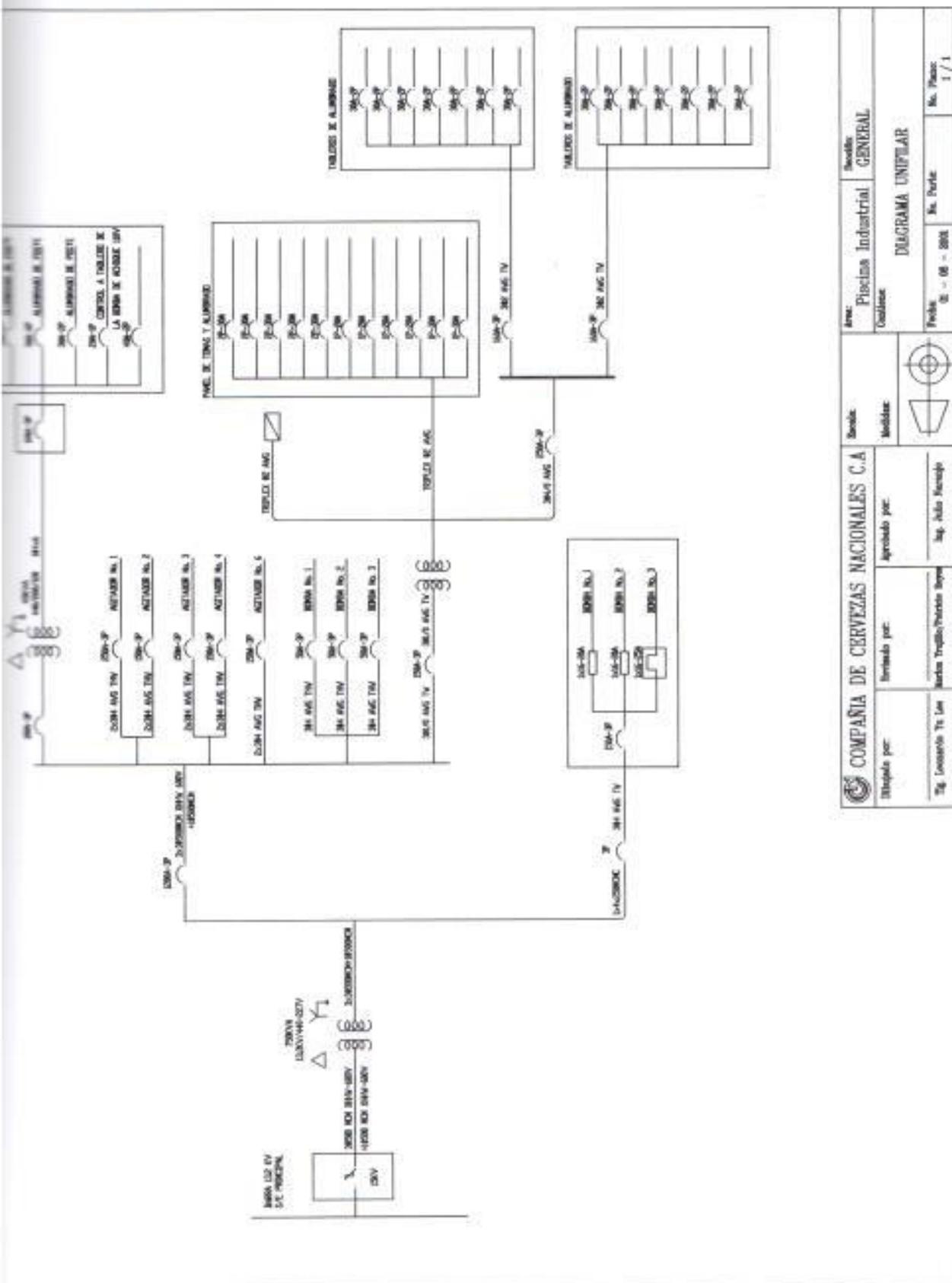


Fig A1.14



<b>COMPAÑIA DE CERVEZAS NACIONALES C.A.</b>			<b>Escala:</b>	<b>Area:</b> Bodega de Frio	<b>Sección:</b> Terraza
<b>Revisado por:</b> Carlos Trujillo / Patricia Reyes	<b>Aprobado por:</b> Ing. Julio Warranjo	<b>Medidas:</b>	<b>Contiene:</b> Diagrama Unifilar B. Frio / Edif. Adminst.		
Fecha: 26 - 06 - 2001	No. Parte: XXXXXXXXX	No. Plano:			

Fig. A1.15



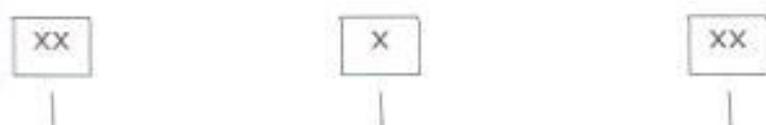
<b>COMPANIA DE CERVEZAS NACIONALES C.A</b>		Servicio: <b>GENERAL</b>
Elabrado por:	Aprobado por:	Area: <b>Piscinas Industrial</b> Cuidados
Ing. Leonardo T. Lozano	Ing. Julio Mancipe	Proyecto: 08 - 08 - 2008
Fecha:	No. Parte:	No. Placas:
08 - 08 - 2008	1 / 1	1 / 1
DIAGRAMA UNIPOLAR		

## CODIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE LA MAQUINARIA ELÉCTRICA Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE LA C.C.N

### CODIFICACIÓN

En la **COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A.**, para una mejor identificación de la maquinaria eléctrica y equipos electrónicos, se tiene una codificación (cédula) la cual se realiza según el tipo de máquina o equipo, al área o sistema y a un número de orden para máquinas de una misma clase dentro de cada localización geográfica.

Un formato es el siguiente:



Tipo de máquina

Área

# de maquinaria en esa área

Los dos primeros dígitos (en el orden de izquierda a derecha) identifican la clase de máquina como a continuación se indica:

<b>Motobomba</b>	15
<b>Motor independiente</b>	75
<b>Transformador</b>	74
<b>Motorreductor</b>	90
<b>Generador</b>	58
<b>Variador de velocidad</b>	55
<b>Arrancador de estado sólido</b>	51

**Tabla A1.13 Codificación de Maquinaria Eléctrica**

El tercer dígito de la cédula, tiene como fin dar una idea de la localización geográfica de la máquina así pues indicamos a continuación:

<b>Sistema de agua</b>	<b>1</b>
Sistema de vapor	2
Sistema de energía	3
Sistemas de Aire, Frio y CO2	4
Talleres y servicios especiales	5
Materias primas y molinos	6
<b>Área de Cocimiento</b>	<b>7</b>
Área de Bodega de Frio	8
Área de Envases	9

**Tabla A1.14 Codificación de Maquinaria por ubicación (área)**

Los dos últimos dígitos de la cédula, corresponden a un consecutivo o número de orden para máquinas de una misma clase, dentro de cada localización geográfica. Es decir que al pasar de una localización a otra el número de orden se reinicia.

Por ejemplo se tiene lo siguiente:

75403 es el tercer motor independiente contabilizado del sistema CO2, que pertenece al área de servicios, el 90703 es el tercer motorreductor contabilizado que pertenece al área de cocimiento y el 15803 es la tercer motobomba que pertenece al área de bodega de frío.

#### DESCRIPCION

En las diferentes áreas de la COMPAÑIA DE CERVEZAS NACIONALES C.A. (CCN), se tienen diferentes equipos, dependiendo del trabajo que realiza cada área.

La maquinaria eléctrica y equipo electrónico de CCN esta compuesta básicamente por:

- Motores
- Variadores de frecuencia
- Arrancadores de estado sólido
- Soldadoras
- Transformadores
- Generadores
- Compresores
- Bombas

Donde cada equipo eléctrico se lo registra de la siguiente forma:

**AREA:**

Cédula	Marca	Modelo	Equipo	Serie	Frecuencia anual de Mantenimiento	Frecuencia anual de Inspección

Tabla A1.15 Registro de Máquinas

La descripción de los equipos se la realiza en el siguiente formato:

<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS</b>	
Potencia de salida	
Voltaje	
Corriente a plena carga	
Velocidad	
Frecuencia	
Factor de Potencia	
Eficiencia	
Factor de servicio	
Frame	

Tabla A1.16 Características de placa de maquinas

COMPONENTES DEL MOTOR	
RODAMIENTO DELANTERO	
RODAMIENTO POSTERIOR	
RETENEDOR	
DIAMETRO DE VENTILADOR	

COMPONENTES DEL ARRANCADOR	
TIPO DE ARRANQUE	
BREAKER	
CONTACTOR	
TERMICO	

**Tabla A1.17 Componentes de las máquinas (motores)**

La maquinaria eléctrica y equipos electrónicos en la CCN toma un rol importante; para la elaboración y producción de los productos que expende la compañía.

Esta maquinaria y equipos eléctricos operan dependiendo del área donde se encuentran. A continuación se presentan descripciones funcionales de algunos equipos importantes dentro de cada área.

#### **Área de Servicios.**

Este es el corazón de la planta, debido a los servicios que brinda, tales como:

- Refrigeración
- Aire
- Vapor
- Agua
- CO<sub>2</sub>

Para la refrigeración se utiliza Amoniaco (NH<sub>3</sub>), que es proporcionado por Compresores los cuales son accionados por Motores y estos a su vez controlados por Arrancadores de estado sólido.

Un esquema es el siguiente:

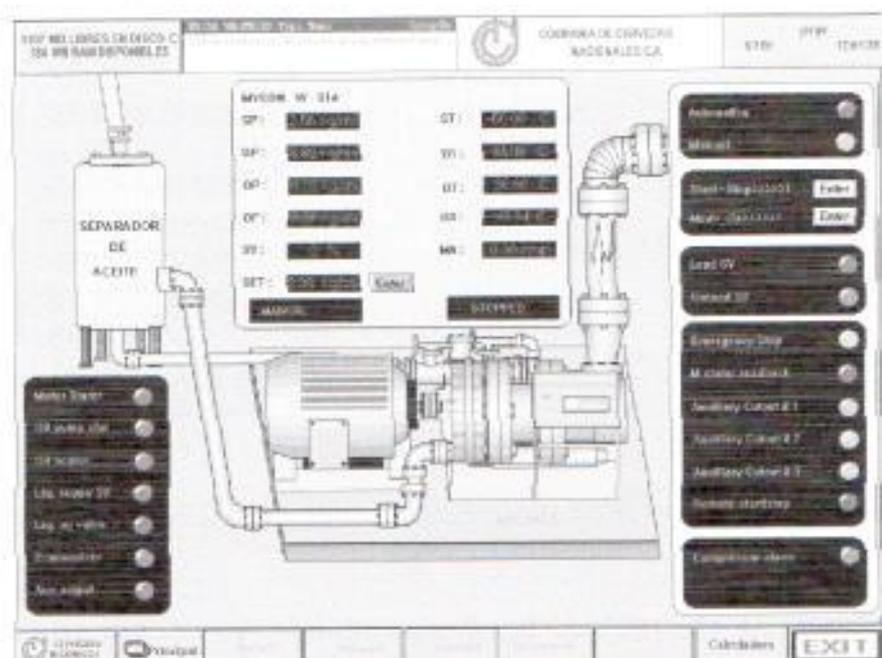


Fig A1. 16 Funcionabilidad de la maquinaria (servicios)

En este proceso se observa que trabajan en conjunto arrancador – motor – compresor, los datos técnicos de cada equipo se muestran a continuación:

ARRANCADOR ESTADO SÓLIDO	
MARCA:	WESTINGHOUSE
VOLTAJE:	208/230/460
CORRIENTE:	560 A BASE 672 A MAX. CONT
FRECUENCIA:	50/60 HZ
FASE:	3
MODELO:	ES560-4NL-80370
SERIE:	2292

MOTOR	
MARCA:	TOSHIBA
VOLTAJE:	460 V
CORRIENTE:	560 A
FRECUENCIA:	60 Hz
POTENCIA:	500 Hp
FASE:	3
VELOCIDAD:	3370 R.P.M

### COMPRESOR

<b>MARCA:</b>	<b>MYCOM</b>
<b>REFRIGERANTE:</b>	<b>AMMONIA</b>
<b>POTENCIA FRENO:</b>	323 KW
<b>CAPACIDAD:</b>	456 TR
<b>TEMP. CONDENSADO:</b>	35° C
<b>TEMP. EVAP:</b>	-6° C
<b>PRESIÓN DESCARGA:</b>	1.35 MpaA
<b>PRESIÓN SUCCIÓN:</b>	0.342 MpaA
<b>TEMP. DESCARGA:</b>	68.7° C

### Área de Cocimiento

En cocimiento se elabora el producto dependiendo cual sea este, así tenemos:

- Pilsener
- Dorada
- Club
- Pony Malta

La materia prima utilizada para la elaboración de cerveza es la cebada malteada y otras sustancias como Lúpulo, para lo cual se necesitan grandes pailas para el cocido y así obtener el producto deseado.

Para la preparación de la Malta, esta es llevada por medio de ductos y transportada hacia las tolvas donde su destino final es la Paila, en todo este proceso intervienen motores y compresores.

Una vez que la malta es procesada, esta es bombeada hacia otra paila para lo cual se cuenta con una bomba de maceración, esto se realiza mediante la ayuda de un variador de frecuencia, el cual controla un motor que acciona dicha bomba.

Un esquema funcional del proceso es el siguiente:

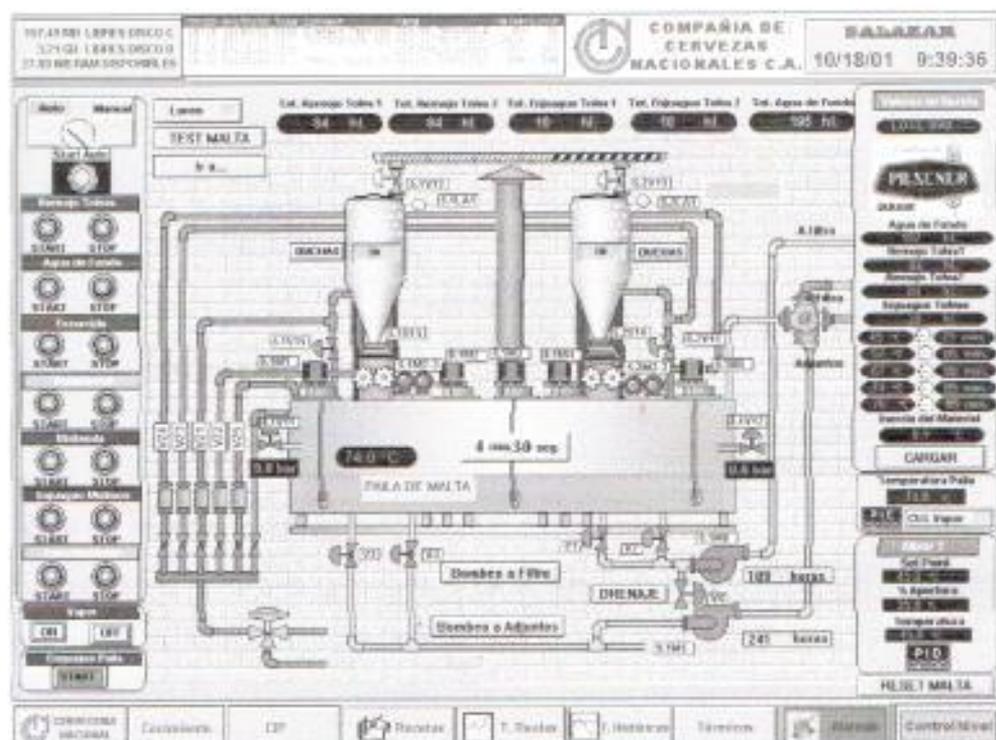


Fig A1. 17 Funcionabilidad de la maquinaria (cocina)

Como se puede apreciar en el cocimiento interviene directamente variador de frecuencia – motor – bomba, a continuación se presentan los datos técnicos de los equipos mencionados:



#### VARIADOR DE FRECUENCIA

MARCA:	SIEMENS
MODELO:	MIDIMASTER
VOLTAJE:	440 V
CORRIENTE:	80 A
FRECUENCIA:	60 Hz
POTENCIA:	40 / 50 HP
FASE:	3
F. P :	0,7

Fig A1. 18 Variador de frecuencia (cocina)

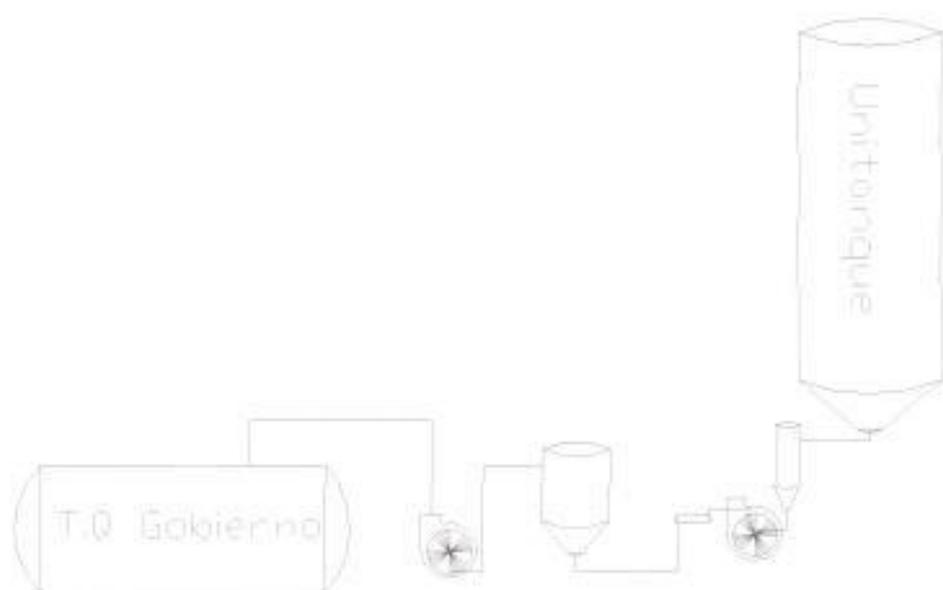
MOTOR	
MARCA:	SIEMENS
VOLTAJE:	440 V ( $\Delta$ )
CORRIENTE:	46.5 A
FRECUENCIA:	60 Hz
POTENCIA:	36 HP
FASE:	3
F. P :	0.83
VELOCIDAD:	1760 R.P.M

### Área de Bodega de Frío

En esta área la función primordial es la fermentación y filtración de la cerveza, que se da en el siguiente procedimiento:

Una vez que la cerveza cumplió con el tiempo de fermentación esta se traslada por gravedad hacia el tanque puffer, del cual se bombea el producto hacia el Filtro que es el que se encarga que la cerveza tenga la purificación deseada. Su destino final son los tanques intermedios que es el lugar donde la cerveza se almacena para ser llevada a embotellado por medio de motobombas que son accionadas por variadores de frecuencia; un esquema es el siguiente:

**Fig A1. 19 Funcionabilidad de la maquinaria (Bod. Frío)**



Los datos técnicos de las máquinas eléctricas son los siguientes:

<b>MOTOBOMBA</b>	
<b>MARCA:</b>	<b>HILGE</b>
<b>VOLTAJE:</b>	440 V
<b>CORRIENTE:</b>	32 A
<b>CAUDAL:</b>	80 m <sup>3</sup> /h
<b>POTENCIA:</b>	18.5 KW
<b>ALTURA:</b>	29 m
<b>FASE:</b>	3
<b>F. P.:</b>	0.88
<b>VELOCIDAD:</b>	3490 R.P.M



<b>VARIADOR DE FRECUENCIA</b>	
<b>MARCA:</b>	<b>SIEMENS</b>
<b>MODELO:</b>	<b>MIDIMASTER</b>
<b>VOLTAJE:</b>	440 V
<b>CORRIENTE:</b>	80 A
<b>FRECUENCIA:</b>	60 Hz
<b>POTENCIA:</b>	40 / 50 HP
<b>FASE:</b>	3
<b>F. P.:</b>	0.7

Fig A1. 20 Variador de frecuencia (Bod. Frio)

## Área de Envases

En esta área se cumple el proceso final, el cual es el envase del producto para su distribución, para lo cual se requiere de una serie de mecanismos tales como:

- Bandas Transportadoras
- Paletizadoras
- Despaletizadora
- Inspector de botellas
- Envasadoras
- Etiquetadoras
- Lavadora de botellas
- Encajonadora
- Elevadores

Todos los mecanismos mencionados son manejados por motores, motobombas, variadores de frecuencia y arrancadores de estado sólido, los cuales son comandados por PLC's.



Fig A1. 21 Funcionabilidad de la maquinaria (Envases)

## ANEXO 2

### CLASIFICACIÓN DE LA MAQUINARIA Y EQUIPOS QUE GENERAN ARMÓNICOS EN LA COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A

La clasificación de la maquinaria y equipos que generan armónicos en la Planta Industrial de la Compañía de Cervezas Nacionales C.A, se establece por sus respectivas áreas, esto es:

AREA	EQUIPO	CANTIDAD
COCINA	Motobombas	5
	Motoreductores	48
	Motores	43
	Lamparas fluorescentes	131
	Velocidad de frecuencia	2
	Impresoras	2
	Computadoras	3
	UPS	2
	Transformador seco	1
	Banco de transformadores	1
BODEGA DE FRIO Y EDIF. ADMINISTRATIVO	Motobombas	27
	Motoreductores	1
	Motores	9
	Lamparas fluorescentes 20 W	32
	Lamparas fluorescentes 40 W	1272
	Velocidad de frecuencia	2
	Impresoras	20
	Computadoras	100
	UPS	6
	Transformador seco	5
	Regulador de voltaje	1
	Banco de transformadores	1
	PAX	2
	TV	2
	GENERADOR	1
SERVICIOS	Motobombas	17
	Motoreductores	1
	Motores	100
	Lamparas fluorescentes	243
	Dosificadores	2
	Arrancadores	2
	Computadoras	3
	UPS	3
	Regulador de voltaje	1
	Transformador seco	1
	Banco de transformadores	1
	Banco de capacitores	1
ENVASES	Motores	208
	Velocidad de frecuencia	1
	Transformador seco	4
	Banco de transformadores	1
	Banco de capacitores	1
	Aplicaciones de estado sólido	3
	Computadoras	12
	Impresoras	2
	UPS	2
	Lamparas fluorescentes 40 W	532
	Lamparas fluorescentes 250 W	24
Lamparas fluorescentes 400 W	21	

Tabla A 2.1 Clasificación de máquinas y equipos que generan armónicos

Donde los equipos de mayor incidencia son los que se encuentran formados por dispositivos electrónicos esto es:

AREA	EQUIPO	CANTIDAD	CAPACIDAD ( KVA )
COCINA	Variador de Frecuencia	2	90,58
	Lamparas Fluorecentes 40W	236	9,4
	UPS	2	8,2
	PC'S	3	0,225
	Impresoras	2	0,16
SERVICIOS	Arrancadores de estado sólido	2	738
	Lamparas Fluorecentes 40W	243	9,72
	* Banco de Capacitores	1	240 KVAR
	UPS	3	5,2
	Regulador de Voltaje	1	0,5
EDIF. ADMT Y BOD. FRIG	Lamparas fluorescentes 20 W	32	0,64
	Lamparas fluorescentes 40 W	1422	56,8
	Impresoras	38	3,04
	Computadoras	105	7,875
	UPS	6	107
	Regulador de voltaje	1	5
	FAX	3	0,18
	VHS	2	0,16
	Copiadoras	3	0,3
	TV	4	0,3
ENVASES	Variador de frecuencia	171	520
	* Banco de Capacitores	1	620 KVAR
	Arrancador de estado Sólido	5	96,5
	Computadoras	13	0,975
	Impresoras	2	0,16
	UPS	2	10,4
	Lamparas fluorescentes 40 W	532	21,28
	Lamparas fluorescentes 250 W	24	6
	Lamparas fluorescentes 400 W	95	38

Tabla A 2.2 Equipos Electrónicos que generan armónicos

\* Los bancos de Capacitores no son fuentes generadoras de armónicas, pero estos en presencia de grandes cargas no lineales, se puede originar el efecto de Resonancia, el cual trae altos niveles de distorsión de voltaje y corriente.

En la tabla que se indica a continuación se puede comparar la capacidad de las diferentes cargas no lineales con la capacidad de cada área, tomando en

consideración las cargas coincidentes no lineales que operan continuamente, así se tiene lo siguiente:

AREA	KVA TOTAL	KVA CARGA NO LINEAL
COCIMIENTO	750	108.56
BOD. FRIO Y EDIF. ADMT	501	181.795
SERVICIOS	2500	753.42
ENVASES	1500	693.315

**Tabla A 2.3 Capacidad de cargas no lineales en la Planta**

En total se tiene una capacidad de cargas no lineales de 1737.09 KVA que están funcionando continuamente.

### CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

El equipo de medición que utilizamos para nuestro estudio fue el **Monitor de circuitos POWERLOGIC**, el cual es un dispositivo de instrumentación digital, y adquisición de datos y control de múltiples funciones. Puede utilizarse en lugar de una variedad de medidores, relevadores, transductores y otros componentes. Es importante recalcar que la CCN, nos facilitó su equipo portátil para la medición, además de que su red de monitoreo que se la explicara más adelante está conformada por estos equipos.

El monitor de circuitos está equipado con comunicaciones RS-485 para facilitar la integración con un sistema de Monitoreo y control de alimentación. Sin embargo, el Software de la aplicación System Manager de Powerlogic -- creado específicamente para el monitoreo y control de alimentación -- es la mejor herramienta para aprovechar las características avanzadas del monitor de circuitos.

El monitor de circuitos es un medidor que proporciona un valor de rms verdadero capaz de producir mediciones de una precisión excepcional de **cargas altamente no lineales**, se encuentra certificado por la norma ANSI C12.16. La avanzada técnica de muestreo facilita mediciones que proporcionan

un valor de rms verdadero hasta la 31<sup>a</sup> armónica, además de proporcionar una medición en los cuatro cuadrantes.



**Fig A 2.1 Medidor de Energía (power logic)**

La pantalla de LED con capacidad de seis dígitos permite visualizar más de 50 valores medidos además de información de *minimos* y *máximos*. En la tabla siguiente se resumen los instrumentos del monitor de circuitos.

Lecturas en tiempo real	Lecturas de energía
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrientes (por fase, N,G, 3<math>\phi</math>)</li> <li>• Tensión (L - L, L - N)</li> <li>• Potencia real (por fase, 3<math>\phi</math>)</li> <li>• Potencia reactiva (por fase, 3<math>\phi</math>)</li> <li>• Potencia aparente (por fase, 3<math>\phi</math>)</li> <li>• Factor de potencia (por fase, 3<math>\phi</math>)</li> <li>• Frecuencia</li> <li>• Temperatura (ambiente interno)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energía acumulada, real</li> <li>• Energía acumulada, reactiva</li> <li>• Energía acumulada, aparente</li> <li>• Lecturas bidireccionales</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• THD (corriente y tensión)</li> <li>• Factor K (por fase)</li> </ul>	
<b>Lecturas de Demanda</b>	<b>Valores de análisis de la energía</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corriente de demanda (por fase pres, máx.)</li> <li>• Factor de potencia (3<math>\phi</math> total)</li> <li>• Potencia real de demanda (3<math>\phi</math> total)</li> <li>• Potencia reactiva de demanda (3<math>\phi</math> total)</li> <li>• Potencia aparente de demanda (3<math>\phi</math> total)</li> <li>• Lecturas coincidentes</li> <li>• Demandas previstas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Factor de cresta (por fase)</li> <li>• Demanda de factor K (por fase)</li> <li>• Deslizamiento del factor de potencia (por fase, 3<math>\phi</math>)</li> <li>• Tensiones fundamentales (por fase)</li> <li>• Corrientes fundamentales (por fase)</li> <li>• Potencia real fundamental (por fase)</li> <li>• Potencia armónica</li> <li>• Desequilibrio (corriente tensión)</li> <li>• Rotación de fase</li> <li>• Ángulos y magnitudes armónicas</li> <li>• Disponible únicamente a través de comunicaciones</li> </ul>

**Tabla A 2.4 Características del Power Logic**

Entre las características del monitor de circuitos cabe mencionar:

- Medición del valor de rms verdadero hasta la 31<sup>a</sup> armónica
- Acepta entradas estándar de CT y PT
- Gran precisión: corriente y tensión 0.2%
- Más de 50 valores de medición en pantalla
- Indicación de min / máx de datos medidos
- Lecturas de calidad de energía: THD, factor K, factor cresta
- Reloj / calendario incorporado
- Fácil instalación a través de la parte frontal (con contraseña de protección)
- Puerto estándar de comunicaciones RS – 485
- Puerto de comunicaciones ópticas en la parte frontal de la fábrica
- E / S digital modular, instalable por el cliente

- Registros de eventos y datos incorporado
- Captura de forma de onda
- Funciones de alarma / relevador controladas por punto de ajuste
- Firmware que se puede copiar
- Conexiones a sistemas tipo:
  - Delta de 3 fases, 3 hilos
  - Estrella de 3 fases, 4 hilos
  - Neutro medido o calculado
  - Otras conexiones de medición
- Módulo de tensión / alimentación opcional para conectar directamente con 480 / 277 V
- Módulo optativo de suministro ininterrumpido para alimentación de control de respaldo.
- Monitoreo de perturbación
- Registro de eventos con hasta 60 ciclos de datos continuos de forma de onda
- Valores individuales de ángulo y magnitud armónica

### DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y DE OBTENCIÓN DE DATOS.

La técnica de medición se basa en la obtención de la información proporcionada por la red de medidores (powerlogic - serie 2000-clase-3020-serie CM2350) colocados en A.T, donde toda esta información es almacenada en el sistema de monitoreo, además se cuenta con un equipo portátil de medición de iguales características a los descritos anteriormente, el cual se lo colocara según donde se definió el Punto de Acoplamiento Común ( PCC ).

A través de esta técnica obtenemos los datos los cuales son almacenados con el fin de procesar esta información y darle su respectivo estudio mediante técnicas estadísticas y gráficas.

Los medidores reciben señales de un grupo de T.C's y T.P's, con los cuales se permite al equipo obtener los datos para proporcionar la información de energía y de la calidad de la misma.

La conexión de los elementos antes mencionados, se realiza según el sistema eléctrico que se tenga ( Baja Tensión ), es decir sea este, delta, estrella, delta aterrizado o estrella aterrizado. En la siguiente tabla se enseñan los tipos de conexión que se puede realizar a los equipos:

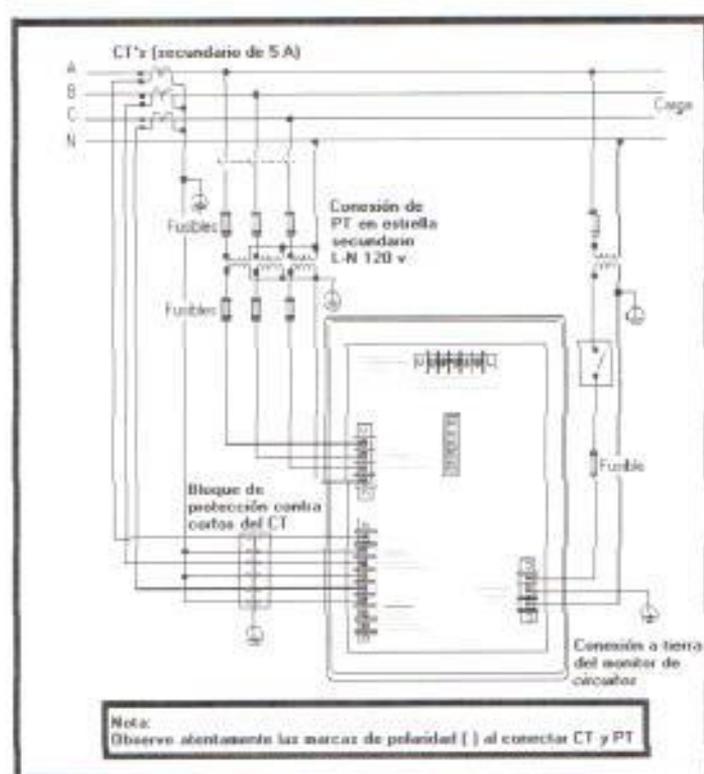
CONEXIONES DE CABLEADO DEL SISTEMA ADMITIDAS						
Tipo de Sistema	# CT's	CT Aux	#PT's	Con PT	Corrientes	Tensiones
Trif. Delta 3 hilos	2	Ninguno	2	Delta abierto	A, B*, C	A-B, B-C, C-A*
Trif. Estrella 4 alamb. Tierra	3	Ninguno	3	Estrella-Estrella	A, B, C, N*	A-N, B-N, C-N A-B*, B-C*, C-A*
Trif. Estrella 4 hilos, tierra	3	Neutro	3	Estrella-Estrella	A, B, C, N, G*	A-N, B-N, C-N A-B*, B-C*, C-A*
Trif. Estrella 4 alamb. Tierra &	2	Ninguno	3	Estrella-Estrella	A, B, C, N*	A-N, B-N, C-N A-B*, B-C*, C-A*
Trif. Estrella 4 hilos, tierra	3	Ninguno	2	Estrella abierto	A, B, C, N*	A-N, B-N*, C-N A-B*, B-C*, C-A*
Trif. Estrella 4 hilos, tierra	3	Neutro	2	Estrella abierto	A, B, C, N, G*	A-N, B-N*, C-N A-B*, B-C*, C-A*

\* Indica un valor calculado en lugar del medido directamente

& Sólo para cargas de 3 hilos

**Tabla A 2.5 Tipos de Conexión de acuerdo al sistema**

El tipo de conexiones que se realiza al equipo cuando se tiene el sistema de cuatro hilos ( estrella aterrizado ) es la siguiente:



**Fig A 2.2 Conexión power logic sistema 4 hilos**

El tipo de conexiones que se realiza al equipo cuando se tiene el sistema de tres hilos es la siguiente:

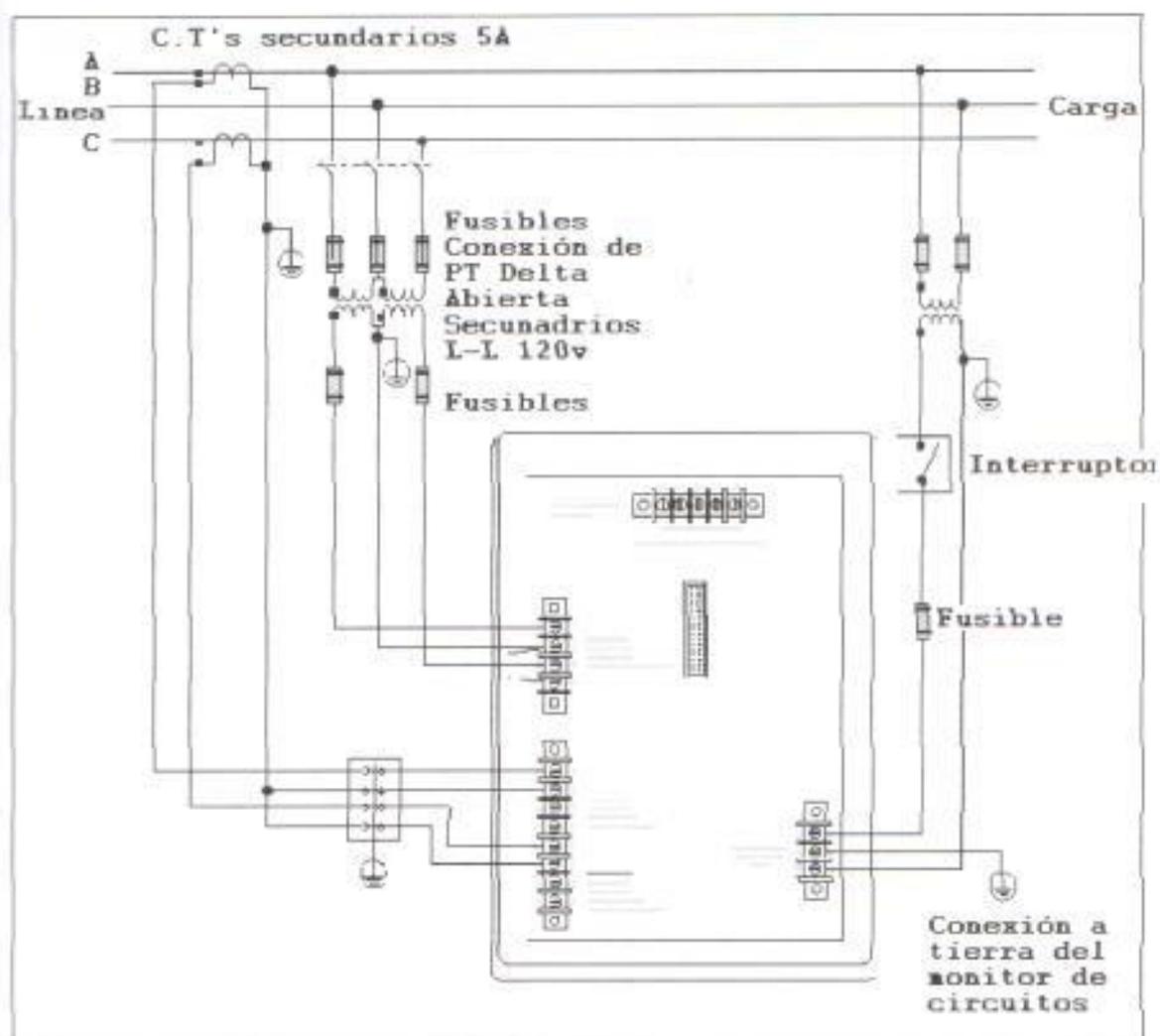


Fig A 2.3 Conexión Power Logic sistema 3 hilos

Los periodos establecidos para el proceso de medición se basaron en la norma de regulación para la calidad de la energía eléctrica del CONELEC la cual especifica que las mediciones deben ser durante un periodo de siete días en intervalos de diez minutos

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FUNCIONAL Y PARÁMETROS DE MONITOREO EN LA RED DE A.T DE LA C.C.N

En la **COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A** se cuenta con un sistema de medición digital conformado por siete medidores, uno para cada área de la compañía (como se indica en *Figura A2.4*), además se cuenta con un totalizador para la medición general de la planta.

Estos equipos están enlazados a través de una red de comunicación que centraliza la información en una computadora, la misma que esta ubicada en la cabina de monitoreo del área de servicios.

La comunicación esta enlazada por un cable de comunicación y el protocolo de comunicación entre ellos es **Symax**, esta red se conecta al puerto serial del computador a través del convertidor RS485-Rs232.

La información es procesada mediante el software **INTOUCH 7.1** de wonderware, del cual se obtienen datos de:

- Corriente.
- Voltaje.
- Energía.
- Demanda.
- Potencia.
- Frecuencia.
- Gráficos.
- THD i.
- THD v.

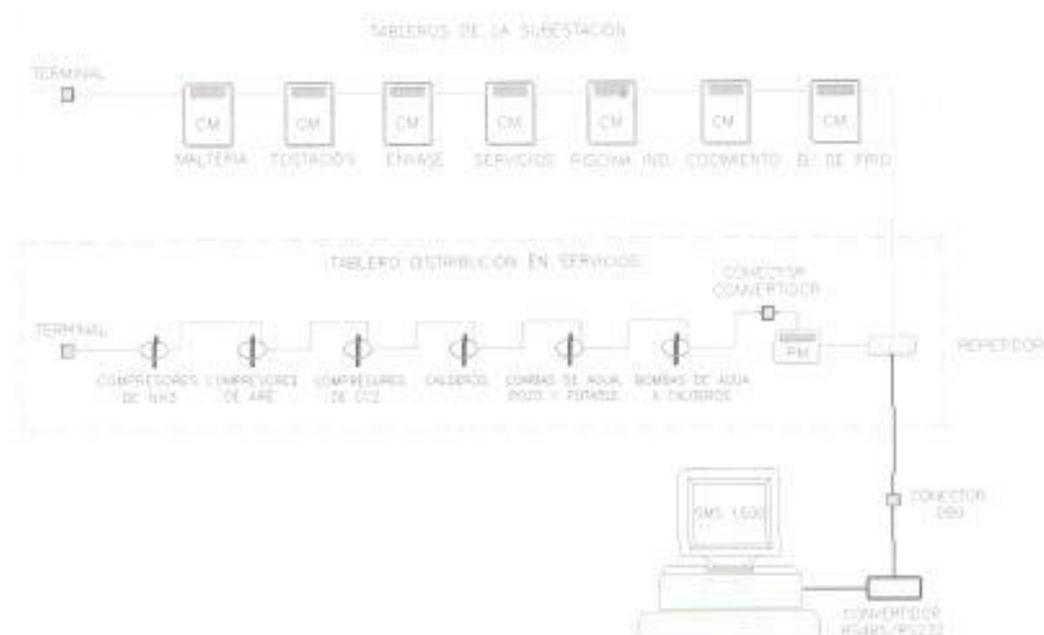
CELDAS DE ALTA TENSION  
SUBSTACION PRINCIPAL



Fig A2.4 Celdas de Alta tensión (S/E principal)

Todos estos datos son medidos en tiempo real, además de esto, gracias a la versatilidad del equipo se puede obtener información histórica de los datos previamente almacenados.

El esquema del proceso de medición se indica en la Fig A 2.5



**Fig A 2.5** Proceso de Medición

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FUNCIONAL Y PARAMETROS DE MONITOREO DE LA RED DE B.T EN LA C.C.N

El monitoreo de la red de B.T. en la **COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A.**, se lo realizo atravez del equipo portátil **POWER LOGIC** clase 3020 modelo CM 2350 dotado de T.C's y T.P's con las siguientes características:

Las características del transformador de corriente son:

RELACION	2000/5
TIPO	JKC
VOLTAJE	600V
MARCA	G.ELECTRIC

**Tabla A2. 6 Características del Transformador de Corriente (power logic)**

Las características del transformador de potencial según el sistema son:

RELACION	480/120 ( 4 hilos )	RELACION	480/120 ( 3 hilos )
Capacidad	300 VA	Capacidad	200 VA
VP	480 v	VP	480 v
VS	208 v	VS	120 v

**Tabla A2. 7 Características del Transformador de Potencial (power logic)**

Con estos equipos el monitoreo se lo realiza en los lugares donde se definió el PCC, en las distintas áreas de la Compañía.

Según las pruebas realizadas el PCC adecuado para la medición, es el punto entre las cargas no lineales y su alimentación. La elección incorrecta de este punto de acoplamiento común (PCC), da como resultado limites de armónicos erróneos, lo cual provoca que estos estén fuera del rango marcado por el estándar IEEE – 519.

Para una mejor visualización de los puntos de medición (PCC) se indican los siguientes esquemas en las distintas áreas de la planta.

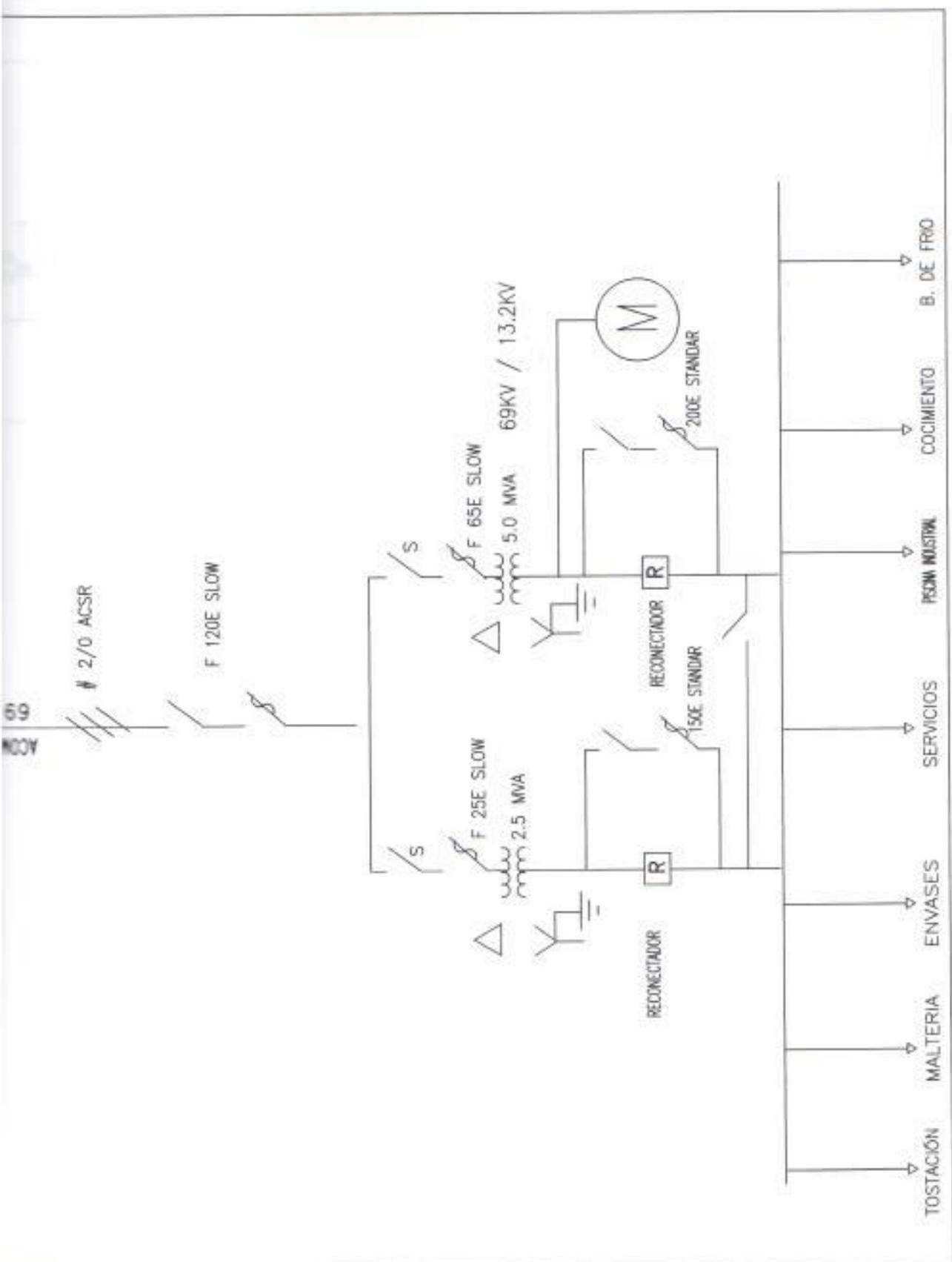


Fig A2. 6 Medición Transformador principal

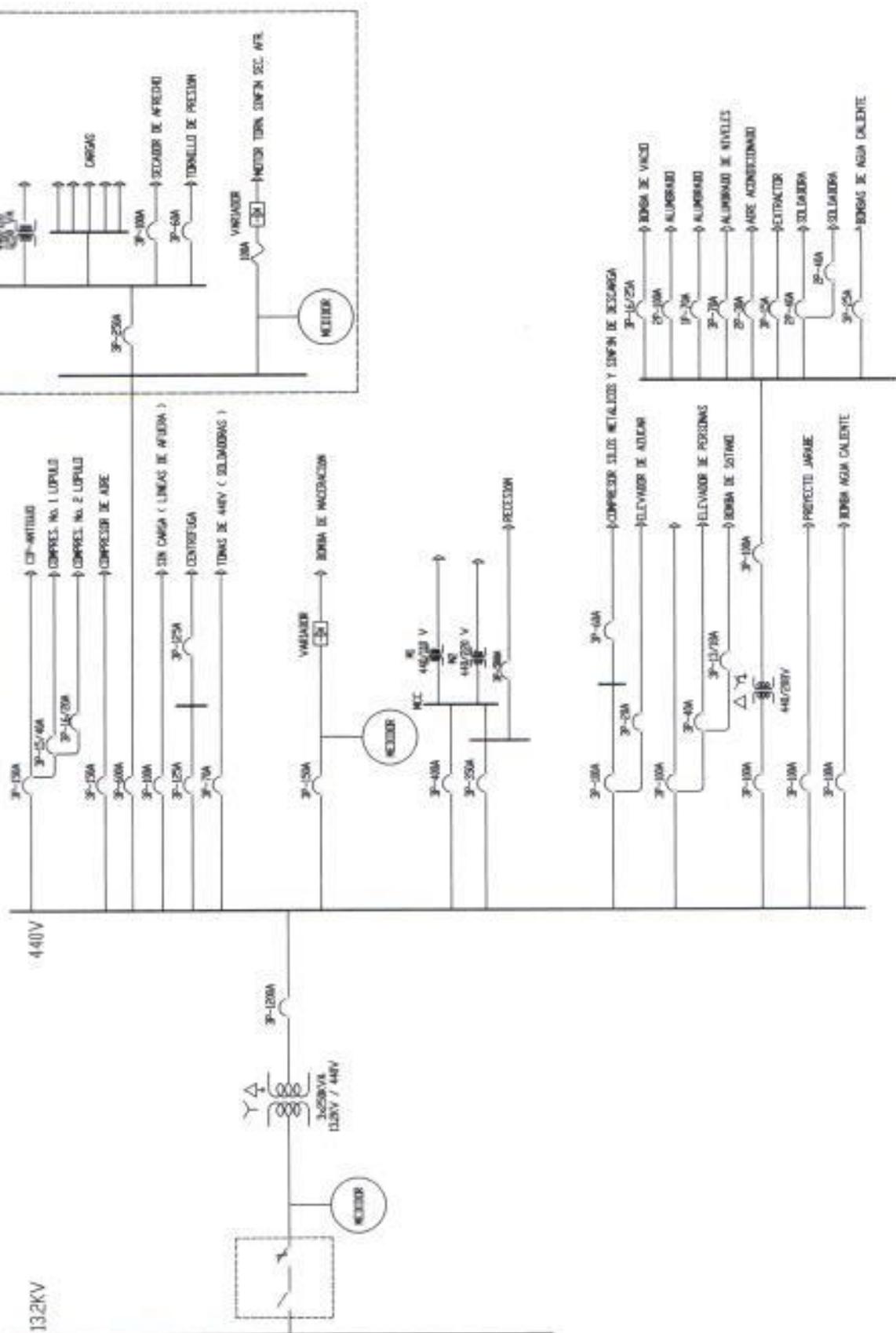


Fig A2. 7 Puntos de medición Cocimiento

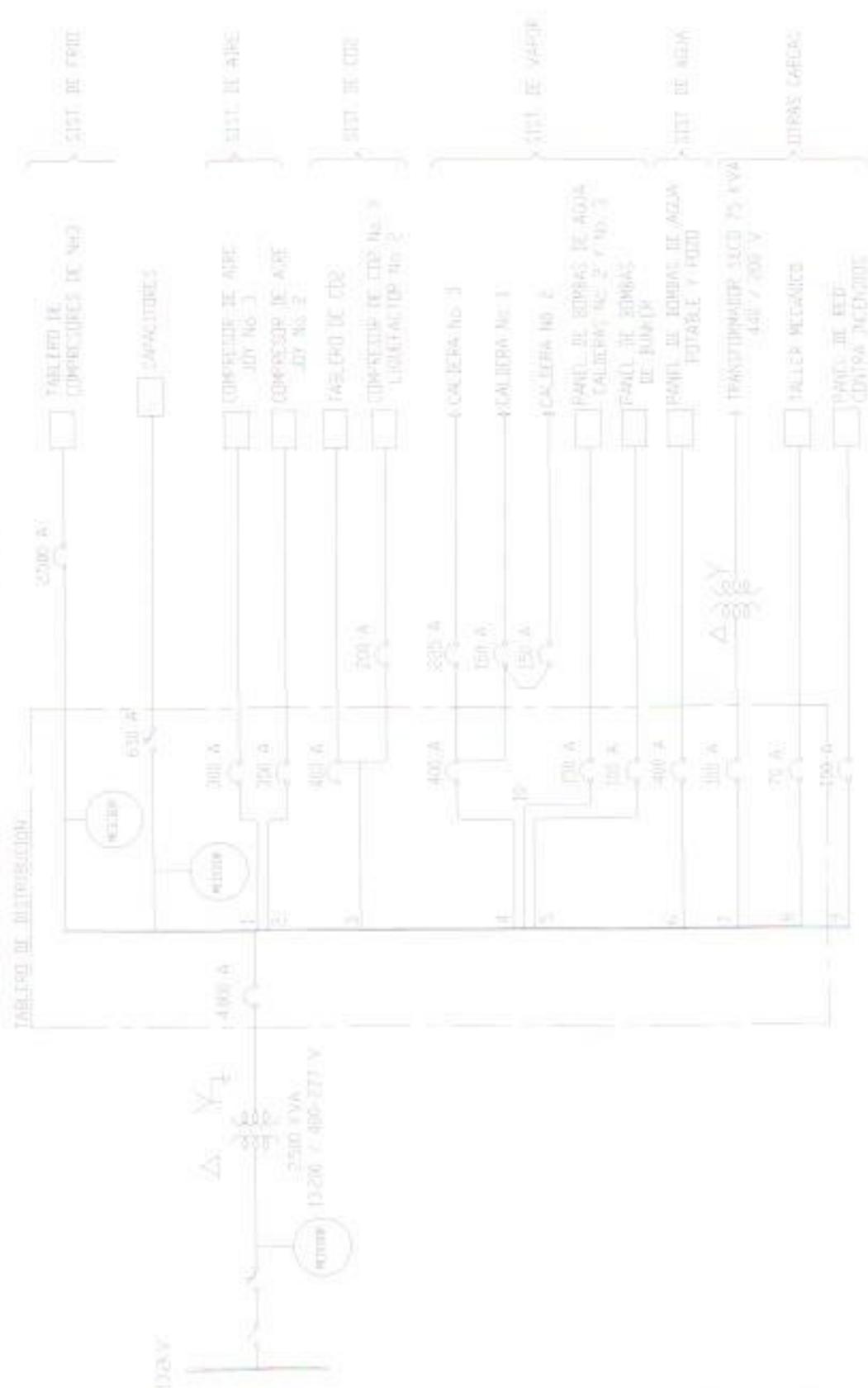


Fig A2. 8 Puntos de medición servicios

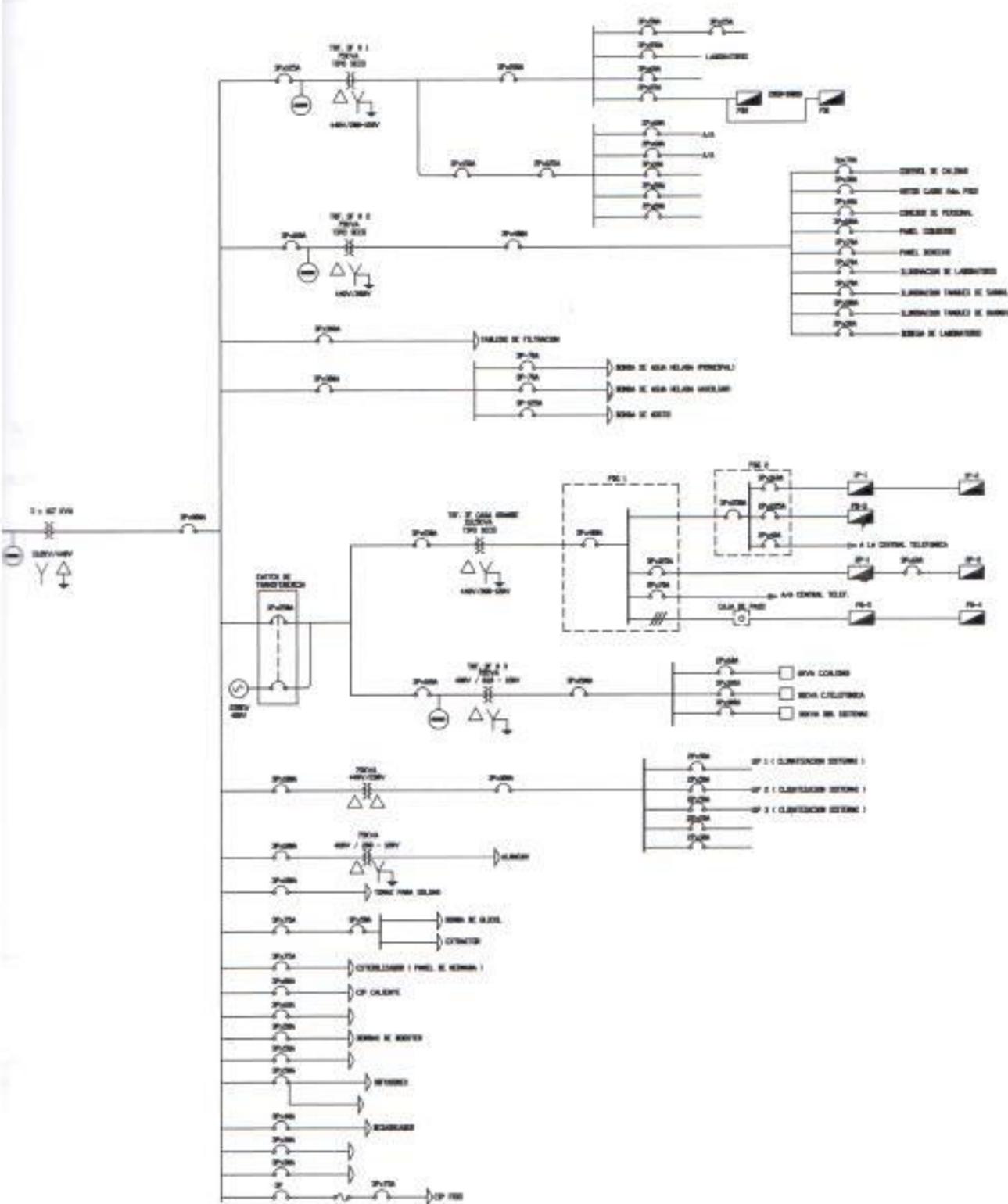


Fig A2. 9 Puntos de medición Bod. Frio y Edif. Admt

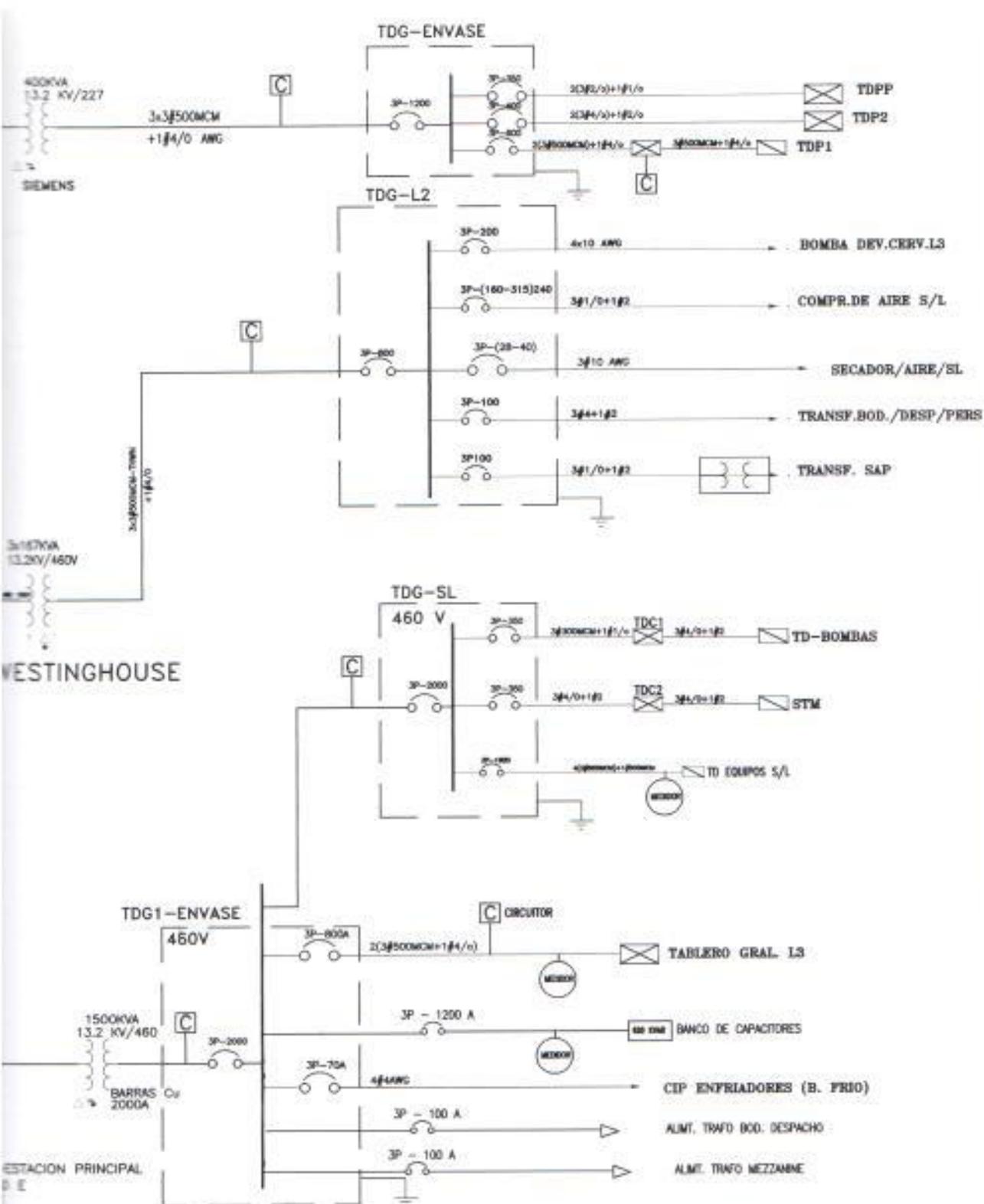


Fig A2. 10 Puntos de medición Envases

Los parámetros utilizados para el monitoreo son los referentes a la calidad de energía y específicamente los involucrados con distorsiones armónicas tanto de voltaje como de corriente, tal como se indica en la Tabulación.

Para bajar la información del power logic y poder procesarla, se utiliza un PC (computador personal) el cual se conecta al puerto del equipo a través del convertidor RS485-RS232.

### **TABULACIÓN DE DATOS**

La tabulación de los datos se la realizó con los parámetros de calidad de energía que están implicados en el estudio. La obtención de datos se realizó con el Software System Manager Standalone versión 3.02 el cual según su debida programación nos da los parámetros involucrados en los disturbios en análisis.

A continuación se muestran los datos tabulados en las distintas áreas de la compañía indicando el punto de medición y la fuente generadora de armónicos.

ÁREA: Cocimiento

EQUIPO: Variador de frecuencia

Tabla A 2.8 Parametros de Var.cocina

Hard Log File 1

de: variador

Print Date: 7/19/2001 17:06

Date/Time	IA	IB	IC	VAB	VBC	VCA	THDIA	THDIB	THDIC	THDVAB	THDVBC	THDVCA	KFA	KFB	KFC	HFTII
07/10/01 02:45:00 PM	0	0	0	273	273	272	N/A	N/A	N/A	1,8	1,5	1,8	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 03:00:00 PM	0	0	0	258	257	257	N/A	N/A	N/A	1,6	1,5	1,6	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 03:15:00 PM	0	0	0	472	471	470	N/A	N/A	N/A	1,6	1,5	1,6	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 03:30:00 PM	0	0	0	472	471	470	N/A	N/A	N/A	1,7	1,5	1,6	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 03:45:00 PM	0	0	0	473	472	471	N/A	N/A	N/A	1,6	1,6	1,6	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 04:00:00 PM	0	0	0	472	472	470	N/A	N/A	N/A	1,5	1,4	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 04:15:01 PM	0	0	0	476	475	474	N/A	N/A	N/A	1,6	1,6	1,6	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 04:30:00 PM	0	0	0	476	475	473	N/A	N/A	N/A	1,7	1,7	1,6	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 04:45:01 PM	49	46	44	476	475	474	71,2	76,7	73	2,6	2,5	1,9	14,2	19,4	14,9	101,2
07/10/01 05:00:00 PM	0	0	0	476	476	474	N/A	N/A	N/A	1,5	1,5	1,5	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 06:15:01 PM	0	0	0	476	476	474	N/A	N/A	N/A	1,7	1,7	1,7	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 06:30:00 PM	0	0	0	475	475	473	N/A	N/A	N/A	1,4	1,5	1,5	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 06:45:00 PM	0	0	0	475	475	473	N/A	N/A	N/A	1,4	1,4	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 06:00:00 PM	0	0	0	477	476	475	N/A	N/A	N/A	1,6	1,6	1,6	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 06:15:00 PM	0	0	0	480	480	478	N/A	N/A	N/A	1,6	1,4	1,5	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 06:30:00 PM	0	0	0	478	478	477	N/A	N/A	N/A	1,5	1,4	1,5	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 06:45:00 PM	0	0	0	473	472	471	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 07:00:00 PM	0	0	0	475	474	472	N/A	N/A	N/A	1,3	1	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 07:15:00 PM	39	38	35	474	473	470	79,6	78,5	82,4	2,8	2,3	1,5	22,8	26,9	15,3	101,7
07/10/01 07:30:00 PM	0	0	0	475	474	472	N/A	N/A	N/A	1,2	1,2	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 07:45:01 PM	0	0	0	475	475	472	N/A	N/A	N/A	1,2	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 08:00:01 PM	0	0	0	477	476	474	N/A	N/A	N/A	1,2	1,1	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 08:15:00 PM	0	0	0	472	471	469	N/A	N/A	N/A	1,2	1,1	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 08:30:00 PM	0	0	0	471	471	468	N/A	N/A	N/A	1,2	1,1	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 08:45:01 PM	0	0	0	472	471	469	N/A	N/A	N/A	1,2	1,2	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 09:00:00 PM	0	0	0	474	473	471	N/A	N/A	N/A	1,2	1,1	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 09:15:00 PM	0	0	0	476	475	472	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 09:30:00 PM	49	49	44	474	474	472	68,5	68,3	73,8	2	2,1	1,5	11,8	13,2	12,5	101,7
07/10/01 09:45:00 PM	0	0	0	478	477	475	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 10:15:00 PM	0	0	0	475	474	472	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 10:30:00 PM	0	0	0	479	478	475	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 10:45:00 PM	0	0	0	477	476	474	N/A	N/A	N/A	1,5	1,3	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 11:00:01 PM	0	0	0	475	475	473	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 11:15:00 PM	0	0	0	477	477	474	N/A	N/A	N/A	1,4	1,4	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 11:30:00 PM	0	0	0	478	478	476	N/A	N/A	N/A	1,5	1,3	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/10/01 11:45:00 PM	0	0	0	476	476	473	N/A	N/A	N/A	1,3	1,3	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 12:00:00 AM	0	0	0	476	476	473	N/A	N/A	N/A	1,6	1,5	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 12:15:00 AM	38	38	33	474	474	472	72,5	81,9	79,8	3	2,7	1,7	14,3	13,9	13,1	101,5
07/11/01 12:45:00 AM	0	0	0	476	476	473	N/A	N/A	N/A	1,3	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 01:00:00 AM	0	0	0	478	477	475	N/A	N/A	N/A	1,3	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 01:15:01 AM	0	0	0	475	475	472	N/A	N/A	N/A	1,2	1,2	1,1	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 01:30:01 AM	0	0	0	474	473	471	N/A	N/A	N/A	1,2	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 01:45:01 AM	0	0	0	474	474	472	N/A	N/A	N/A	1,2	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 02:00:01 AM	0	0	0	475	474	472	N/A	N/A	N/A	1,2	1,1	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 02:15:00 AM	0	0	0	478	478	475	N/A	N/A	N/A	1,3	1,3	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 02:30:01 AM	47	47	41	478	477	474	71,8	89,4	73	2,2	2	1,7	15,2	13,9	11,3	101,4
07/11/01 02:45:00 AM	0	0	0	476	475	473	N/A	N/A	N/A	1,2	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 03:00:00 AM	0	0	0	479	479	476	N/A	N/A	N/A	1,2	1,1	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 03:15:01 AM	0	0	0	480	479	477	N/A	N/A	N/A	1,3	1,1	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 03:30:01 AM	0	0	0	480	479	477	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 03:45:00 AM	0	0	0	480	480	477	N/A	N/A	N/A	1,4	1,3	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 04:00:00 AM	0	0	0	480	480	477	N/A	N/A	N/A	1,4	1,3	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 04:15:00 AM	0	0	0	478	478	476	N/A	N/A	N/A	1,3	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 04:30:00 AM	0	0	0	477	477	475	N/A	N/A	N/A	1,3	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 04:45:00 AM	38	37	33	475	474	472	81,8	78	75,9	2,7	2,5	1,6	15	16,8	14,9	101,5
07/11/01 05:00:01 AM	0	0	0	477	476	474	N/A	N/A	N/A	1,4	1,5	1,5	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 06:15:00 AM	0	0	0	477	476	474	N/A	N/A	N/A	1,5	1,4	1,4	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 06:30:01 AM	0	0	0	475	475	472	N/A	N/A	N/A	1,4	1,2	1,3	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 06:45:00 AM	0	0	0	473	472	470	N/A	N/A	N/A	1,3	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 06:00:01 AM	0	0	0	475	474	472	N/A	N/A	N/A	1,1	1,1	1	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 06:15:01 AM	0	0	0	475	474	472	N/A	N/A	N/A	1,2	1,1	1,1	N/A	N/A	N/A	N/A
07/11/01 06:30:00 AM	0	0	0	477	476	474	N/A	N/A	N/A	1,3	1,2	1,2	N/A	N/A	N/A	N/A

FORMA DE ONDA DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL  
VARIADOR DE FRECUENCIA

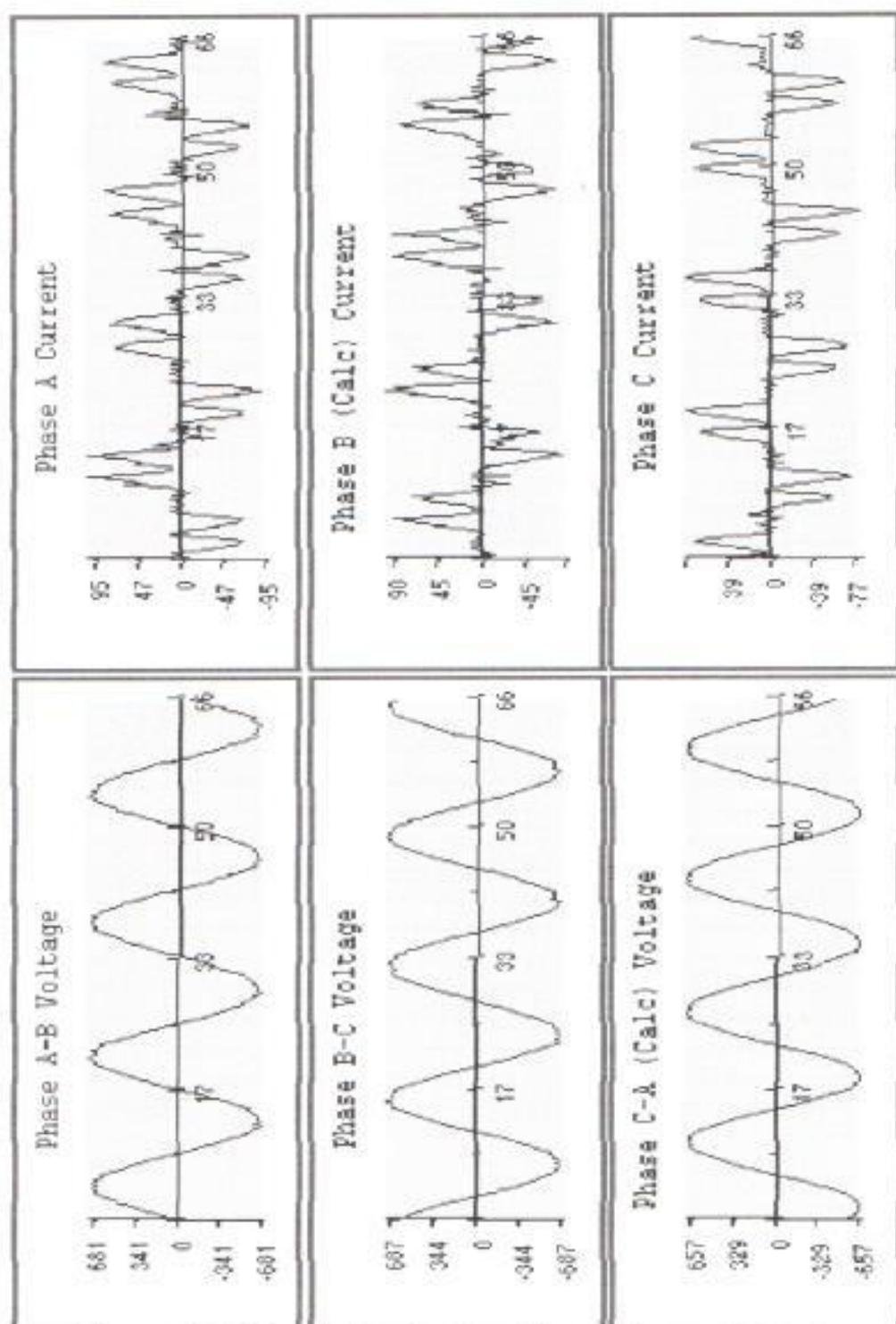


Figura A 2.11 Forma de onda del variador de frecuencia

### Armónicas individuales de corriente del Variador de Frecuencia

Phase A Current	Phase B (Calc) Current	Phase C Current
4 Cycle Waveform: 18-07-2001 8:39:54	4 Cycle Waveform: 18-07-2001 8:39:54	4 Cycle Waveform: 18-07-2001 8:39:54
Fundamental: 30.34	Fundamental: 27.83	Fundamental: 25.81
RMS: 37.56	RMS: 35.03	RMS: 32.37
RMS-H: 22.15	RMS-H: 21.28	RMS-H: 19.53
Peak: 92.48	Peak: 81.71	Peak: 74.78
CF: 2.46	CF: 2.33	CF: 2.30
ASUM: 132.65	ASUM: 141.79	ASUM: 101.43
THD: 73.01	THD: 76.47	THD: 75.66
Harmonics	Harmonics	Harmonics
H1: 30.34	H1: 27.83	H1: 25.82
H2: 0.49	H2: 0.29	H2: 0.25
H3: 2.19	H3: 4.39	H3: 2.20
H4: 0.20	H4: 0.50	H4: 0.64
H5: 17.99	H5: 15.84	H5: 15.99
H6: 0.44	H6: 1.36	H6: 1.01
H7: 9.88	H7: 10.25	H7: 9.29
H8: 0.42	H8: 0.83	H8: 0.48
H9: 0.55	H9: 0.94	H9: 0.39
H10: 0.83	H10: 0.99	H10: 1.07
H11: 3.56	H11: 2.55	H11: 2.98
H12: 0.65	H12: 0.48	H12: 0.48
H13: 2.93	H13: 2.48	H13: 2.15
H14: 0.42	H14: 0.56	H14: 0.13
H15: 0.73	H15: 1.04	H15: 0.36
H16: 0.32	H16: 0.62	H16: 0.32
H17: 1.47	H17: 1.26	H17: 0.54
H18: 0.25	H18: 0.47	H18: 0.28
H19: 0.80	H19: 1.05	H19: 0.56
H20: 0.65	H20: 0.97	H20: 0.47
H21: 0.56	H21: 0.87	H21: 0.31
H22: 0.55	H22: 0.87	H22: 0.34
H23: 0.59	H23: 0.23	H23: 0.37
H24: 0.54	H24: 0.84	H24: 0.30
H25: 0.65	H25: 0.75	H25: 0.23
H26: 0.78	H26: 0.67	H26: 0.10
H27: 0.41	H27: 0.68	H27: 0.40
H28: 0.36	H28: 1.15	H28: 0.81
H29: 0.52	H29: 0.29	H29: 0.31
H30: 0.65	H30: 0.46	H30: 0.44
H31: 0.40	H31: 0.53	H31: 0.44

Tabla A 2.9 Armónicos individuales de Corriente

**AREA: Cocimiento**

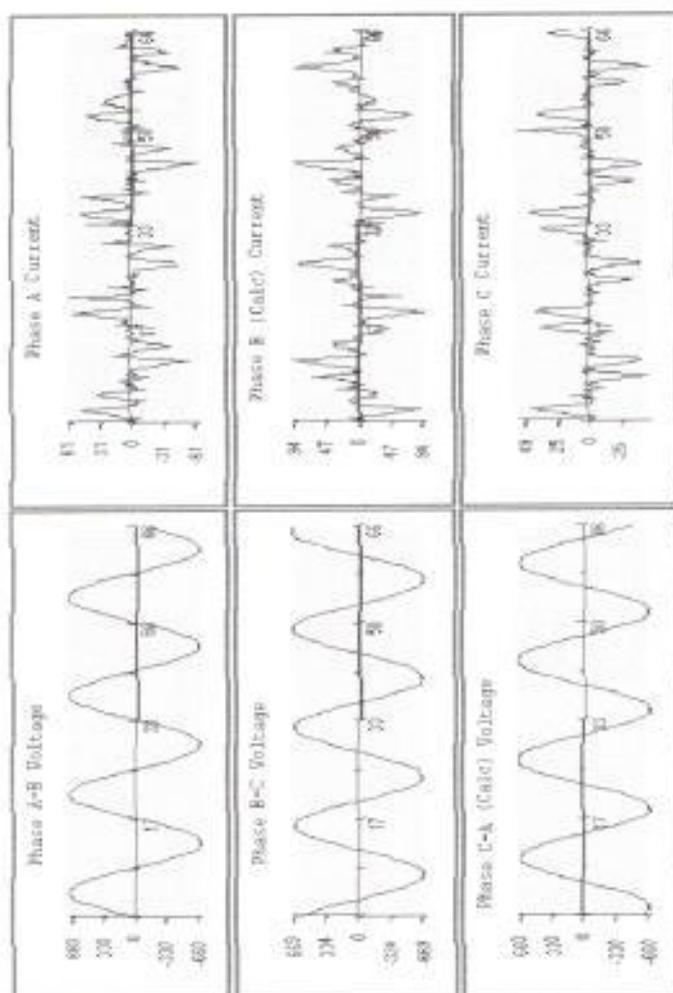
**EQUIPO: Variador de frecuencia (secadores)**

On-Board Log File 1

Current Date: 7/30/2001 16:23

Date/Time	IA	IB	IC	VAB	VBC	VCA	THDVAB	THDVBC	THDVCA	KFA	KFB	KFC	HFT#
1 07/30/01 03:30:00 AM	21	34	18	481	479	481	2.6	2.6	2.3	36.1	23.8	16	40
2 07/30/01 03:45:01 AM	18	31	18	482	481	482	2.9	3	2.3	31.9	22.6	19.1	47.1
3 07/30/01 04:00:00 AM	18	33	18	483	482	484	2.7	2.9	2.5	49.9	26.8	15.1	36.2
4 07/30/01 04:15:00 AM	19	33	18	482	481	482	2.4	2.6	2.2	75.4	46.4	32.1	29
5 07/30/01 04:30:00 AM	20	34	19	479	477	479	2.6	2.5	2.4	49	29.4	15.9	58.1
6 07/30/01 04:45:00 AM	20	34	19	477	475	477	2.3	2.2	2.1	61.1	45.4	32.1	105.1
7 07/30/01 06:00:01 AM	20	35	19	472	470	472	1.9	1.9	1.6	53.4	34.1	36.6	275.4
8 07/30/01 06:15:00 AM	21	37	19	473	471	473	1.9	2.3	2	50	34.9	43.3	523
9 07/30/01 03:00:00 PM	17	30	17	472	472	473	2.1	2	1.8	26.3	12	20.6	48.2
10 07/30/01 03:15:01 PM	17	29	16	471	471	471	2.4	2.3	2.2	31.2	26.4	20.6	51.5
11 07/30/01 03:30:00 PM	17	30	17	470	470	470	1.9	2.1	2	18.5	12.7	32.77	29.5
12 07/30/01 03:45:01 PM	16	28	16	471	471	472	2.2	2.2	1.9	64.1	40.1	7	111.8

**Tabla A 2.10**  
**FORMA DE ONDA DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL**  
**VARIADOR DE FRECUENCIA (SECADORES)**



**Figura A 2.12** Forma de onda del variador de frecuencia

## Armónicas individuales de corriente del variador de secadores

Phase A Current	Phase B (Calc) Current	Phase C Current
4 Cycle Waveform 26-07-2001 17:57:40	4 Cycle Waveform 26-07-2001 17:57:40	4 Cycle Waveform 26-07-2001 17:57:40
Fundamental: 12.43	Fundamental: 22.99	Fundamental: 12.30
RMS: 19.43	RMS: 33.07	RMS: 17.59
RMS-H: 14.94	RMS-H: 23.77	RMS-H: 12.58
Peak: 63.67	Peak: 95.34	Peak: 53.72
CF: 3.27	CF: 2.88	CF: 3.05
THD: 120.17	THD: 103.39	THD: 102.32
H1: 12.43	H1: 23.00	H1: 12.30
H2: 0.65	H2: 0.55	H2: 0.57
H3: 2.92	H3: 4.78	H3: 1.86
H4: 0.24	H4: 0.53	H4: 0.43
H5: 9.15	H5: 16.49	H5: 9.05
H6: 0.29	H6: 0.45	H6: 0.74
H7: 7.95	H7: 12.68	H7: 6.59
H8: 0.19	H8: 0.56	H8: 0.41
H9: 0.77	H9: 1.16	H9: 0.53
H10: 0.63	H10: 0.34	H10: 0.77
H11: 3.23	H11: 4.99	H11: 2.63
H12: 0.63	H12: 0.56	H12: 0.08
H13: 1.44	H13: 1.52	H13: 0.85
H14: 0.36	H14: 0.56	H14: 0.22
H15: 1.19	H15: 1.52	H15: 0.35
H16: 0.47	H16: 0.07	H16: 0.43
H17: 1.26	H17: 2.33	H17: 1.26
H18: 0.76	H18: 0.62	H18: 0.15
H19: 0.34	H19: 0.59	H19: 0.24
H20: 0.80	H20: 0.55	H20: 0.38
H21: 0.60	H21: 0.41	H21: 0.26
H22: 0.52	H22: 0.48	H22: 0.11
H23: 0.01	H23: 0.41	H23: 0.42
H24: 0.91	H24: 0.89	H24: 0.07
H25: 0.56	H25: 0.85	H25: 0.48
H26: 0.32	H26: 0.39	H26: 0.66
H27: 0.58	H27: 0.06	H27: 0.54
H28: 0.61	H28: 0.76	H28: 0.24
H29: 0.92	H29: 0.81	H29: 0.60
H30: 0.39	H30: 0.55	H30: 0.40
H31: 1.49	H31: 2.16	H31: 0.68

Tabla A 2.11 Armónicos individuales de Corriente

ÁREA: Bodega de Frío

EQUIPO: Trafo # 3 alimenta U.P.S ( Sistemas, Control de Calidad, Central Telefónica )

On-Board Log File 1

Device: Trafo #3 (LPS%)

Current Date: 8/15/2001 07:23

Date/Time	IA	IB	IC	VAB	VBC	VCA	THDIA	THDIB	THDIC	TWDVAB	THDVB	THDVCA	KFA	KFB	KFC	HF76
1 08/07/01 05:45:00 PM	26	26	26	474	477	474	44.3	70.9	53.6	1.5	1.8	1.8	10.5	20.3	12.4	104.9
2 08/07/01 06:00:00 PM	26	26	25	474	477	475	54.6	62.7	89.2	1.5	1.8	1.8	24.8	25.5	7.2	101.7
3 08/07/01 06:15:00 PM	24	28	23	473	478	474	77.2	52.7	57.2	1.5	1.8	1.8	23	19.8	8.2	102.4
4 08/07/01 06:30:01 PM	23	23	22	474	477	474	62.2	80.8	70.5	1.4	1.5	1.4	9.6	13.5	10.2	103.7
5 08/07/01 06:45:01 PM	22	21	23	478	481	478	62.6	82.3	45.6	1.5	1.8	1.8	36.8	39.2	9	101
6 08/07/01 07:00:00 PM	21	23	21	475	478	474	62.7	71.5	58.7	1.3	1.4	1.3	26	33	5.2	101.2
7 08/07/01 07:15:00 PM	22	22	23	473	474	471	60.4	64.5	35.7	1.3	1.5	1.4	54.1	81.8	5.8	100.7
8 08/07/01 07:30:01 PM	21	21	21	472	475	471	66.4	66.4	56.6	1.3	1.3	1.3	30.8	34.2	5.2	102.6
9 08/07/01 07:45:00 PM	24	22	24	474	476	473	95.6	73.2	89.5	1.3	1.4	1.3	5.9	4.9	2.5	107.1
10 08/07/01 08:00:00 PM	20	24	19	475	477	474	73.8	70.5	58.6	1.3	1.3	1.3	26.4	34.4	4.3	105.7
11 08/07/01 08:15:01 PM	23	24	26	476	478	474	121.4	75.8	70.1	1.4	1.4	1.4	37	42.3	12.4	64.8
12 08/07/01 08:30:00 PM	22	23	24	476	477	474	106.4	75.2	71.7	1.3	1.4	1.3	27.3	35.6	14.1	69.9
13 08/07/01 08:45:00 PM	24	24	25	476	478	474	122.9	80.3	63.4	1.7	1.7	1.7	33.1	36.5	11.3	95.4
14 08/07/01 09:00:00 PM	23	24	26	476	478	475	108.3	84.6	68.5	1.7	1.8	1.7	13.9	13.6	3.1	65
15 08/07/01 09:15:00 PM	23	24	25	477	478	475	156.6	93.1	75.1	1.7	1.8	1.7	12.8	30.4	14.4	66
16 08/07/01 09:30:00 PM	22	23	24	476	478	475	124.9	70.6	75.9	1.8	1.9	1.8	19.9	31.3	12.9	69.2
17 08/07/01 09:45:00 PM	24	25	26	474	476	473	112	72.2	68.2	1.8	1.9	2	30.6	26.1	3.7	66.3
18 08/07/01 10:00:00 PM	22	24	25	474	476	473	116.3	69.7	67.2	1.7	1.9	1.7	21.4	24.3	9	67.8
19 08/07/01 10:15:00 PM	23	24	25	473	475	471	127.1	77.9	83.6	1.8	1.8	1.8	27.4	42.9	12.8	65.7
20 08/07/01 10:30:00 PM	23	24	25	475	476	474	109.3	82.4	73.1	1.8	1.9	1.9	30.4	40.5	11.6	65.2
21 08/07/01 10:45:00 PM	23	25	26	478	480	477	116.9	70	69.7	1.9	1.9	1.8	15.2	14.9	3.9	64.5
22 08/07/01 11:00:00 PM	24	24	25	478	480	476	122.4	83.8	78.5	2	2.1	2.1	34.3	45.6	9.7	66.6
23 08/07/01 11:15:00 PM	23	23	25	480	482	478	104	81.6	87.6	2	2.1	2	18.8	16.3	3.7	67.9
24 08/07/01 11:30:00 PM	23	24	24	478	480	477	147.4	101.6	68.6	1.5	1.6	1.5	16.8	16.3	2.8	67
25 08/07/01 11:45:01 PM	22	24	24	477	478	475	131.8	94.5	73.2	1.5	1.6	1.5	20.3	22.8	4.6	72.2
26 08/08/01 12:00:00 AM	24	25	25	477	478	476	120.2	58.1	76.9	1.5	1.5	1.5	27.4	21.3	2.7	63.4
27 08/08/01 12:15:00 AM	21	21	27	475	477	474	61.8	90.8	83.6	1.4	1.4	1.4	18.1	25.9	11.3	112.9
28 08/08/01 12:30:00 AM	24	24	25	476	478	475	106.1	76.9	61	1.4	1.4	1.4	11.5	17.5	8.1	64.3
29 08/08/01 12:45:00 AM	22	24	24	476	478	475	122	79.1	69.2	1.3	1.4	1.2	37.9	48.4	12.8	67.5
30 08/08/01 01:00:01 AM	24	23	24	478	478	475	116.1	78.4	61.9	1.3	1.4	1.3	38.2	33.6	3.4	66.4
31 08/08/01 01:15:00 AM	24	24	24	475	477	474	113.5	78.6	67.5	1.3	1.4	1.3	22.8	18.3	2.6	65.1
32 08/08/01 01:30:00 AM	22	23	24	476	477	474	127.7	80.1	69.3	1.4	1.4	1.3	18.6	16.5	2.8	72.4
33 08/08/01 01:45:01 AM	24	24	24	476	477	475	116.3	88.3	70.9	1.3	1.4	1.3	34.6	31.4	6.9	69.1
34 08/08/01 02:00:01 AM	24	24	25	476	478	475	132.7	83.8	63.5	1.4	1.5	1.4	78.5	62.5	2.9	67.2
35 08/08/01 02:15:00 AM	24	25	25	474	475	473	123.9	82	66.2	1.3	1.3	1.3	13.4	15.4	8.4	66.4
36 08/08/01 02:30:00 AM	23	24	24	474	475	473	121.8	77.3	63.7	1.3	1.4	1.3	48	37.5	3.7	66.6
37 08/08/01 02:45:00 AM	22	24	24	474	475	472	132.5	89.6	86.1	1.3	1.4	1.3	17.1	16.4	7.1	67.5
38 08/08/01 03:00:00 AM	24	24	25	474	475	472	130.6	82.6	67.1	1.3	1.3	1.3	44.3	71.2	16.6	66
39 08/08/01 03:15:01 AM	23	24	24	474	476	473	134.5	97.9	82.2	1.4	1.4	1.3	20	21.2	7	67.2
40 08/08/01 03:30:00 AM	23	25	25	474	475	473	117.8	66.5	71.3	1.4	1.4	1.4	33.4	41.1	2.7	66.1
41 08/08/01 03:45:00 AM	23	25	25	474	475	472	130.8	85.2	68.9	1.4	1.4	1.3	14	30.4	7.8	72.9
42 08/08/01 04:00:00 AM	23	25	25	474	478	474	114.6	73.9	71.9	1.4	1.3	1.3	34.3	37.9	7	69.5
43 08/08/01 04:15:01 AM	23	25	24	475	478	474	171.2	100.8	70.7	1.4	1.4	1.2	29.3	23.2	11.9	67.4
44 08/08/01 04:30:00 AM	23	24	24	475	477	474	115.2	82.6	69.7	1.3	1.3	1.3	14.3	25.4	16.2	69.2
45 08/08/01 04:45:00 AM	25	24	24	475	477	474	115.7	92.6	82.7	1.4	1.4	1.3	22.4	34.3	12.8	84.3
46 08/08/01 05:00:00 AM	23	24	25	476	478	475	139.6	82.4	73	1.3	1.3	1.3	23.2	30.8	7.4	67.7
47 08/08/01 05:15:00 AM	24	23	25	476	478	475	124.1	91	74.9	1.4	1.5	1.3	10.3	11.2	7.2	63.9
48 08/08/01 05:30:00 AM	23	24	24	475	477	474	103.8	73	60.2	1.4	1.4	1.4	15.7	16.7	5.6	68.7
49 08/08/01 05:45:01 AM	24	24	24	476	477	474	128.3	87.3	74.1	1.4	1.4	1.3	18.9	20.9	2.2	70.9
50 08/08/01 06:00:00 AM	24	25	24	475	477	474	133.2	91.8	63.6	1.2	1.3	1.2	39.9	43.2	8.7	67.2
51 08/08/01 06:15:00 AM	22	24	24	474	476	473	82.1	69.1	70.5	1.3	1.3	1.2	20.8	18.4	4.3	69.7
52 08/08/01 06:30:00 AM	24	24	25	475	477	474	143.2	84.1	72.9	1.3	1.4	1.2	80.2	84.6	16.1	66.9
53 08/08/01 06:45:00 AM	23	24	25	476	478	475	125.4	82.9	63.2	1.3	1.4	1.3	16.7	14.2	3.7	65.4
54 08/08/01 07:00:00 AM	24	23	25	476	478	476	116.6	101.1	64	1.6	1.7	1.6	44.3	44.3	6.5	107.7
55 08/08/01 07:15:00 AM	22	23	23	474	478	473	82.5	82.8	84	1.5	1.7	1.7	15.5	16.2	7.8	71.3
56 08/08/01 07:30:00 AM	23	24	24	474	476	474	73.8	74.1	62.3	1.7	1.8	1.7	51.5	51.8	4.4	104.3
57 08/08/01 07:45:00 AM	24	24	22	473	476	472	65.5	56.8	67	1.6	1.6	1.7	9.8	15.2	4.3	103.7
58 08/08/01 08:00:01 AM	22	23	23	472	474	472	62.9	110.6	56.9	1.7	1.7	1.8	8.7	23.2	7.7	106
59 08/08/01 08:15:00 AM	24	26	26	471	474	471	95.8	56.3	90.7	1.8	1.7	1.7	14.9	27	9.1	69.2
60 08/08/01 08:30:01 AM	24	23	25	473	475	472	74.7	79.4	66.1	1.7	1.9	1.8	32.4	45.3	12.1	104
61 08/08/01 08:45:01 AM	26	27	25	473	476	473	64.2	49.3	42.8	1.7	1.9	1.8	12.4	16.4	13.2	100.2
62 08/08/01 09:00:00 AM	31	31	29	473	477	473	48	50.4	30.4	1.8	1.8	1.8	13.4	13.8	5.3	96.4
63 08/08/01 09:15:00 AM	30	30	27	474	478	474	46.7	43	38.6	1.7	1.7	1.6	8.3	11.7	2.7	100.3
64 08/08/01 09:30:01 AM	32	30	28	474	477	474	44.8	50.3	39.6	1.7	1.7	1.6	29	46.1	12.1	100.6
65 08/08/01 09:45:00 AM	34	33	29	472	475	473	35.4	34.5	35.7	1.6	1.7	1.6	11.8	17.4	6.4	100.6
66 08/08/01 10:00:00 AM	31	30	28	473	476	473	35.4	48.1	31.9	1.7	1.8	1.7	10.2	10.5	3.1	100.6

Tabla A 2.12 Características del transformador # 3

FORMA DE ONDA DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR # 3

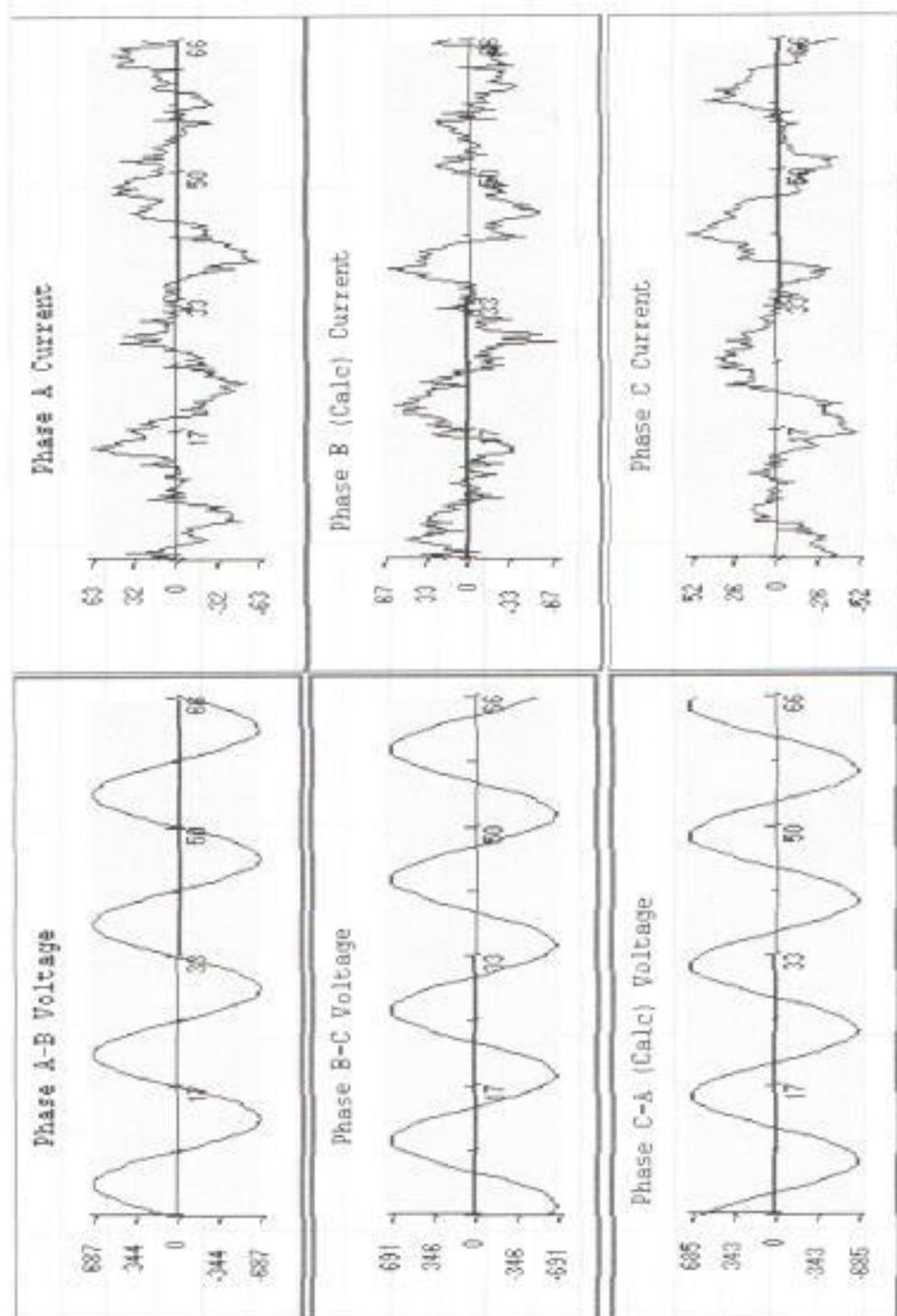


Figura A 2.13

### Armónicas individuales de corriente del Trafo # 3

Phase A Current		Phase B (Calc) Current		Phase C Current	
4 Cycle Waveform 09-08-2001 18:16:25		4 Cycle Waveform 09-08-2001 18:16:25		4 Cycle Waveform 09-08-2001 18:16:25	
Fundamental	17.02	Fundamental	18.59	Fundamental	17.17
RMS	21.83	RMS	23.72	RMS	20.53
RMS-H	13.67	RMS-H	14.74	RMS-H	11.26
Peak	75.46	Peak	82.73	Peak	80.09
CF	3.46	CF	2.64	CF	2.92
ASUM	132.58	ASUM	140.32	ASUM	109.71
THD	80.33	THD	79.30	THD	65.58
Harmonics		Harmonics		Harmonics	
H1	17.02	H1	18.59	H1	17.17
H2	2.23	H2	2.79	H2	1.57
H3	4.52	H3	3.86	H3	0.67
H4	1.81	H4	1.47	H4	1.05
H5	2.91	H5	3.09	H5	2.28
H6	2.30	H6	0.77	H6	3.06
H7	1.23	H7	1.09	H7	0.59
H8	0.54	H8	0.38	H8	0.82
H9	0.09	H9	0.20	H9	0.23
H10	0.94	H10	1.31	H10	0.66
H11	2.03	H11	1.12	H11	1.96
H12	1.34	H12	1.48	H12	0.54
H13	0.70	H13	0.66	H13	0.11
H14	0.46	H14	0.19	H14	0.27
H15	0.39	H15	0.34	H15	0.52
H16	0.78	H16	0.94	H16	0.36
H17	0.94	H17	0.36	H17	0.81
H18	1.13	H18	1.04	H18	0.11
H19	0.95	H19	0.94	H19	0.11
H20	0.22	H20	0.14	H20	0.27
H21	0.39	H21	0.33	H21	0.37
H22	0.30	H22	0.72	H22	0.46
H23	0.34	H23	0.28	H23	0.90
H24	0.73	H24	1.02	H24	0.30
H25	0.77	H25	0.85	H25	0.15
H26	0.62	H26	0.49	H26	0.25
H27	0.87	H27	1.05	H27	0.25
H28	0.38	H28	0.43	H28	0.10
H29	0.70	H29	0.46	H29	0.28
H30	0.18	H30	0.38	H30	0.33
H31	0.41	H31	0.43	H31	0.34

Tabla A 2.13 Armónicos individuales del trafo #3

**AREA: Bodega de Frio**  
**EQUIPO: Trafo # 2 alimentación Control de Calidad**

On-Board Log File 1  
 Device: trafo # 2  
 Current Date: 02/22/2001 07:55

Date/Time	IA	IB	IC	VAB	VBC	VCA	THDIA	THDIB	THDIC	THDVAB	THDVBC	THDVCA	KFA	KFB	KFC	HFTs	
1 08/15/01 07:45:00 AM	23	23	21	475	477	475	80.1	75.1	56.8	1.8	1.9	1.8	25.3	33.7	15.4	101.9	
2 08/15/01 08:00:00 AM	23	23	21	475	475	475	50.9	64.3	55.2	1.7	1.8	1.8	21.3	47.7	10.3	99.9	
3 08/15/01 08:15:00 AM	24	24	22	474	477	474	71.3	63.4	52.1	1.8	1.9	1.9	14.9	28.8	19.5	99.4	
4 08/15/01 08:30:00 AM	26	24	21	475	477	474	70.7	92.8	64.1	1.8	2	1.9	21.3	27.8	3.2	100	
5 08/15/01 10:15:00 AM	46	27	29	472	476	473	19.5	38.5	22.3	1.6	1.8	1.7	4.8	18.7	5.4	100.3	
6 08/15/01 10:30:00 AM	47	28	29	471	475	472	19	36.9	18.8	1.6	1.8	1.8	5.8	14.3	1.1	99.8	
7 08/15/01 10:45:00 AM	54	31	34	470	473	470	17.8	41.4	22.2	1.5	1.8	1.9	3.8	12.5	4.1	100.2	
8 08/15/01 11:00:00 AM	46	27	29	471	475	471	17.8	38.8	22.4	1.6	1.7	1.7	6.7	21.4	4.2	100.8	
9 08/15/01 11:15:00 AM	54	33	33	473	477	474	14.9	31.9	21.9	1.5	1.6	1.7	4.7	11.5	1.1	100.2	
10 08/15/01 11:30:01 AM	46	26	29	470	474	471	18.5	39.9	16.4	1.4	1.5	1.5	3.3	20.1	4.4	100	
11 08/15/01 11:45:01 AM	46	27	29	470	473	469	18.8	36.5	20.5	1.7	1.7	1.8	4.9	14.1	4	98.7	
12 08/15/01 12:00:00 PM	47	28	29	470	473	470	17.4	33.2	33.3	1.6	1.6	1.7	10.1	22.3	3.1	100.7	
13 08/15/01 12:15:01 PM	47	27	31	471	474	471	18.8	39.9	18.9	1.6	1.7	1.7	1	1.1	1	99.8	
14 08/15/01 12:30:00 PM	52	33	35	469	471	468	14.5	29.4	17.1	1.7	1.7	1.8	4.8	11.4	1.1	99.7	
15 08/15/01 12:45:01 PM	53	31	34	471	475	471	14.8	32.7	21.2	1.6	1.8	1.9	2.3	4.5	1.1	100	
16 08/15/01 01:00:00 PM	52	31	32	471	474	471	18.2	36.8	19	1.8	1.9	1.9	1.5	4.9	3.4	100.4	
17 08/15/01 01:15:00 PM	56	36	33	472	475	472	14.1	21.8	15.8	1.8	1.8	1.9	3.9	8.1	1.1	100.9	
18 08/15/01 01:30:01 PM	55	33	33	470	474	471	12	20.4	15.9	1.8	2	1.9	1.9	3.8	1.8	99.3	
19 08/15/01 01:45:00 PM	50	32	29	471	475	471	13.9	27.6	22.4	1.9	2	2	1.1	1.3	1.3	101.3	
20 08/15/01 02:00:00 PM	58	36	34	470	474	470	13	29.6	18.5	1.8	1.8	1.8	1.7	4.3	3.4	100	
21 08/15/01 02:15:00 PM	65	36	41	470	474	470	13.9	30.2	16.3	1.9	2	1.9	1.1	1.4	1.1	99.8	
22 08/15/01 02:30:01 PM	49	30	30	469	473	469	18.8	34.8	16.4	1.8	2	1.9	4.9	11.8	3	100.8	
23 08/15/01 02:45:00 PM	57	38	33	469	473	469	14	25.9	19.3	1.8	1.9	1.9	3.9	7.8	2.9	99.7	
24 08/15/01 03:00:00 PM	49	33	29	470	473	470	19	28	18.7	1.9	2	2	4.3	9.4	1.1	99.9	
25 08/15/01 03:15:00 PM	51	35	30	470	474	470	17.3	30.6	19.4	1.9	2.1	2	2.9	6.8	3.9	99.8	
26 08/15/01 03:30:01 PM	47	31	27	470	474	470	18.8	33.9	19.1	1.9	2	2	4.8	9.4	1.1	99.3	
27 08/15/01 03:45:00 PM	46	29	27	472	475	472	19.5	34.8	22.7	1.9	2	2	2.6	15.3	5.9	100.5	
28 08/15/01 04:00:00 PM	43	28	25	473	476	473	22	37.5	25.3	1.9	2	2.1	2.4	10.4	8.8	100.7	
29 08/15/01 04:15:00 PM	43	29	28	473	476	472	18.1	33.4	23.1	2	2.1	2	3.5	6.2	1.4	99.8	
30 08/15/01 04:30:00 PM	42	29	25	473	477	473	21.9	37.1	24.8	1.8	2.1	2.1	3.6	6.5	1.2	101	
31 08/15/01 04:45:00 PM	42	29	24	472	475	471	20.3	34.3	25.7	2	2.1	2	4.3	11	6	99.7	
32 08/15/01 05:00:00 PM	42	29	29	472	475	471	20.6	37	28.9	1.9	2	2.1	2.8	4.8	1.2	99.5	
33 08/15/01 05:15:00 PM	41	27	24	473	475	472	22	42.3	27.2	2	2.1	2.2	2.1	3.3	1.2	101	
34 08/15/01 05:30:00 PM	42	28	29	475	477	474	19.1	28.9	19.5	2	2.2	2.2	2.1	4.6	8.5	1.4	100.9
35 08/15/01 05:45:00 PM	39	29	21	475	476	474	20.3	29.8	24	2	2.1	2.1	7	11.9	1.1	99.5	
36 08/15/01 06:00:00 PM	39	30	21	475	478	475	22.8	31.4	23.4	1.9	2	1.9	2	2.9	1.1	100.3	
37 08/15/01 06:15:00 PM	38	29	23	475	477	473	23.8	34.6	24.6	1.7	1.7	1.7	4.4	8.1	1.6	99.2	
38 08/15/01 06:30:00 PM	38	29	21	476	478	475	19.8	33.6	29.4	1.7	1.8	1.8	13.5	23.5	1.2	100.8	
39 08/15/01 06:45:00 PM	40	28	21	476	478	475	19.7	34.3	28.2	1.6	1.6	1.7	14.2	28.2	2.9	100.7	
40 08/15/01 07:00:00 PM	46	28	21	475	477	473	20.2	31.7	23.4	1.4	1.4	1.4	3.3	4.5	1.3	100	
41 08/15/01 07:15:00 PM	42	31	23	473	476	472	15.9	29.2	25.5	1.3	1.3	1.4	5.6	18.8	6.8	100.8	
42 08/15/01 07:30:00 PM	48	34	26	473	476	471	15.8	28.4	22	1.4	1.4	1.5	3.2	14.6	10.6	100.2	
43 08/15/01 07:45:00 PM	41	31	21	473	476	471	21.8	27.9	26.3	1.4	1.4	1.4	3.8	8.4	5.4	98.7	
44 08/15/01 08:00:00 PM	42	31	22	474	477	472	23.3	35	26.6	1.4	1.4	1.5	5	8.3	1.1	100.8	
45 08/15/01 08:15:00 PM	41	31	22	475	478	473	19.8	32.3	23.4	1.3	1.3	1.4	2	2.7	1	99.8	
46 08/15/01 08:30:01 PM	48	34	28	474	477	472	17.3	29.8	22.3	1.4	1.4	1.5	3	6.8	5.3	99.4	
47 08/15/01 08:45:01 PM	40	29	22	474	477	472	18.8	32.3	29	1.3	1.4	1.4	2.6	7.5	7.6	99.9	
48 08/15/01 09:00:00 PM	38	28	21	473	476	471	22.4	38	25.1	1.4	1.4	1.5	8.9	21.4	8.9	99.4	
49 08/15/01 09:15:01 PM	42	30	22	473	478	471	17.8	28	25.4	1.5	1.5	1.5	3.3	7.9	7.8	99.8	
50 08/15/01 09:30:00 PM	42	31	21	475	478	473	15.4	28.9	24.1	1.5	1.6	1.5	3.3	5.9	3.3	100.4	
51 08/15/01 09:45:00 PM	40	29	21	474	477	472	22.5	38.1	23.6	1.5	1.5	1.6	6.2	10.8	1.7	99.3	
52 08/15/01 10:00:01 PM	41	30	21	473	476	471	23.3	35.6	29	1.4	1.5	1.5	3.7	13	7.7	100.3	
53 08/15/01 10:15:01 PM	40	29	21	472	475	471	23.9	35.8	23.1	1.6	1.5	1.7	6.2	19.8	7.6	99	
54 08/15/01 10:30:00 PM	41	31	21	475	478	474	27.1	44.7	26.4	1.5	1.6	1.6	8.8	18.7	5.3	98.8	
55 08/15/01 10:45:01 PM	41	29	22	476	479	475	19.9	33	30.9	1.6	1.6	1.7	5.9	18.3	7.5	100.7	
56 08/15/01 11:00:00 PM	41	30	22	476	478	474	18.8	31.8	25.4	1.6	1.6	1.6	11.4	18.5	1.2	100.4	
57 08/15/01 11:15:01 PM	41	30	22	479	482	478	18.1	30.8	25.2	1.6	1.7	1.7	8.3	17	8	99.5	
58 08/15/01 11:30:00 PM	40	30	21	478	481	478	23.4	34.4	21.2	1.7	1.7	1.7	2.6	9	12.8	99.8	
59 08/15/01 11:45:00 PM	42	30	22	479	481	477	23.3	36.6	26.3	1.9	1.9	1.8	8.5	11.9	1.2	100.3	
60 08/16/01 12:00:01 AM	41	31	22	475	478	474	22	37.4	26.8	1.6	1.6	1.5	2.1	3	1.2	99.4	

**Tabla A 2.14 Características del Transf. #2**

FORMA DE ONDA DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR # 2

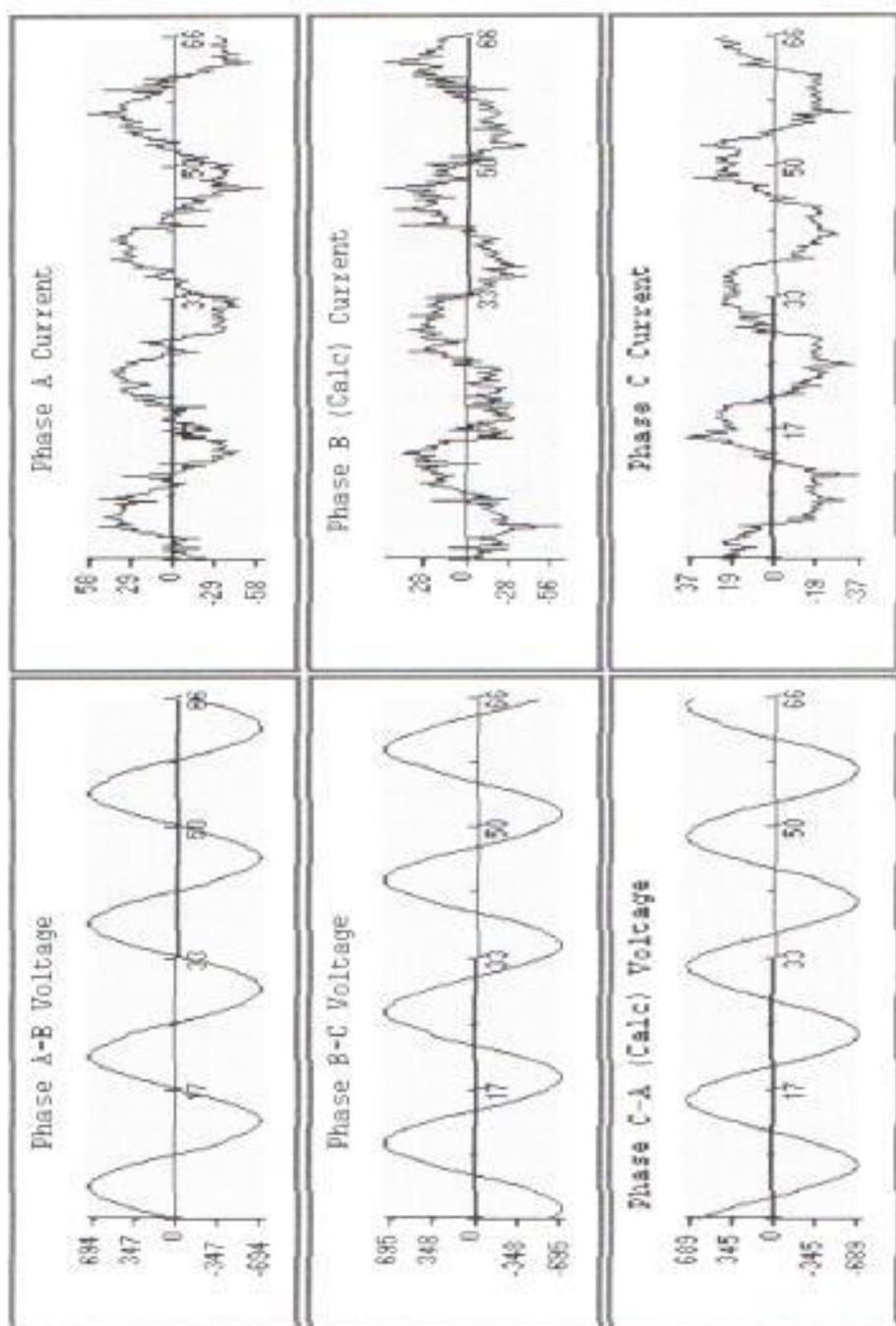


Figura A 2.14 Forma de onda del trafo # 2

### Armónicas individuales de corriente del Trafo #2

Phase A Current	Phase B (Calc) Current	Phase C Current
4 Cycle Waveform 18-08-2001 6:31:21	4 Cycle Waveform 18-08-2001 6:31:21	4 Cycle Waveform 18-08-2001 6:31:21
Fundamental: 23.45	Fundamental: 16.99	Fundamental: 16.57
RMS: 25.47	RMS: 20.03	RMS: 17.47
RMS-H: 9.95	RMS-H: 10.59	RMS-H: 5.54
Peak: 59.91	Peak: 61.73	Peak: 37.81
CF: 2.35	CF: 3.08	CF: 2.16
ASUM: 120.01	ASUM: 121.90	ASUM: 65.53
THD: 42.46	THD: 62.34	THD: 33.42
Harmonics	Harmonics	Harmonics
H1: 23.45	H1: 17.00	H1: 16.57
H2: 0.97	H2: 1.31	H2: 0.37
H3: 2.00	H3: 0.68	H3: 2.26
H4: 0.72	H4: 1.26	H4: 0.57
H5: 3.16	H5: 1.35	H5: 2.06
H6: 0.64	H6: 1.13	H6: 0.60
H7: 0.30	H7: 0.43	H7: 0.49
H8: 0.65	H8: 0.68	H8: 0.04
H9: 0.34	H9: 0.18	H9: 0.25
H10: 0.26	H10: 0.85	H10: 0.59
H11: 0.94	H11: 0.99	H11: 0.53
H12: 1.26	H12: 1.21	H12: 0.09
H13: 0.12	H13: 0.16	H13: 0.27
H14: 0.47	H14: 0.83	H14: 0.44
H15: 0.29	H15: 0.42	H15: 0.21
H16: 0.76	H16: 1.05	H16: 0.38
H17: 1.10	H17: 0.47	H17: 0.69
H18: 1.11	H18: 1.27	H18: 0.15
H19: 0.83	H19: 0.55	H19: 0.42
H20: 0.40	H20: 0.49	H20: 0.47
H21: 0.54	H21: 0.95	H21: 0.40
H22: 1.21	H22: 1.33	H22: 0.39
H23: 0.75	H23: 0.86	H23: 0.38
H24: 0.85	H24: 0.95	H24: 0.11
H25: 0.38	H25: 0.41	H25: 0.38
H26: 0.45	H26: 0.18	H26: 0.32
H27: 0.58	H27: 0.43	H27: 0.20
H28: 1.27	H28: 1.62	H28: 0.55
H29: 1.60	H29: 1.41	H29: 0.72
H30: 0.52	H30: 0.62	H30: 0.35
H31: 1.02	H31: 2.34	H31: 1.45

**Tabla A 2.15** Armónicos individuales trafo #2

**ÁREA: Servicios**  
**EQUIPO: Banco de Capacitores**

On-Board Log File 1

Device: Banco de capacitores

Current Date: 6/19/2001 07:22

Date/Time	IA	IB	IC	IH	VAB	VBC	VCA	THDIA	THDIB	THDIC	THDVAB	THDVBC	THDVCA	KFA	KFB	KFC	HPFD
1 06/07/01 09:45:01 AM	0	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2 06/07/01 09:30:00 PM	0	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3 06/07/01 05:45:00 PM	0	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4 06/07/01 06:00:00 PM	0	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5 06/07/01 06:15:01 PM	0	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6 06/08/01 10:30:00 AM	338	340	344	10	477	478	477	13.1	12	12.9	1.7	1.7	1.8	2.4	2.3	2.3	90
7 06/08/01 10:45:00 AM	338	340	343	11	476	475	477	12.8	11.9	12.8	1.7	1.7	1.8	2.3	2.3	2.3	87.5
8 06/08/01 11:00:00 AM	338	341	346	11	478	477	478	13.8	12.2	13.3	1.7	1.7	1.9	2.3	2.2	2.3	114.8
9 06/08/01 11:15:01 AM	335	338	342	10	474	473	475	12.8	11.7	13.7	1.6	1.6	1.7	2.4	2.3	2.3	86.3
10 06/08/01 11:30:00 AM	338	340	344	11	478	475	477	13.3	12.1	13.4	1.7	1.7	1.8	2.4	2.3	2.6	94.2
11 06/08/01 11:45:01 AM	336	340	342	11	474	472	476	13.2	11.7	13.1	1.6	1.7	1.7	2.5	2.3	2.3	135.9
12 06/08/01 12:00:00 PM	336	338	342	10	475	474	475	14.1	11.8	13.3	1.7	1.7	1.9	2.8	2.2	2.4	96.8
13 06/08/01 12:15:00 PM	335	340	344	10	477	476	478	13.1	11.8	13.8	1.7	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9	105.1
14 06/08/01 12:30:00 PM	337	339	342	11	478	475	478	11.5	10.5	11	1.6	1.6	1.8	1.9	1.9	1.7	87.3
15 06/08/01 12:45:00 PM	337	339	343	10	475	475	476	13.5	12.3	13.7	1.8	1.8	2	2.4	2.1	2.7	98.4
16 06/08/01 01:00:01 PM	340	342	346	10	479	479	480	14.4	13.2	14.8	1.9	1.9	2.1	2.8	2.4	2.8	85.6
17 06/08/01 01:15:01 PM	338	339	343	11	475	474	476	14.3	13	14.3	1.8	1.9	2	2.8	2.2	2.7	85.7
18 06/08/01 01:30:00 PM	335	338	342	10	474	473	475	15.6	12.8	14	1.8	1.9	2	2.3	2.2	2.6	105.3
19 06/08/01 01:45:00 PM	338	340	343	11	475	474	478	13.8	13	14.3	1.9	2	2	2.3	2.3	2.4	108.1
20 06/08/01 02:00:01 PM	335	338	341	11	473	472	474	14.8	13	14.4	1.9	2	2.1	2.3	2.3	2.5	89.2
21 06/08/01 02:15:00 PM	335	338	342	11	473	472	474	14.1	12.8	14.2	1.9	1.9	2	2.4	2.2	2.4	73.1
22 06/08/01 02:30:01 PM	336	338	342	10	473	473	474	15.2	13.4	15.3	1.9	2	2.2	3	2.5	3	102.3
23 06/08/01 02:45:00 PM	337	339	343	10	475	474	476	14.2	12.1	14.2	1.8	1.9	2.1	2.5	2.3	2.5	96.8
24 06/08/01 03:00:00 PM	338	341	345	10	471	476	478	14.1	13.8	15.1	2	2.1	2.3	2.5	2.4	2.7	85
25 06/08/01 03:15:00 PM	340	341	346	11	477	477	478	14.7	13.5	16	2	2.2	2.2	3	2.4	3.1	98.1
26 06/08/01 03:30:00 PM	339	341	345	0	477	476	478	14.4	13.5	15	1.9	2.1	2.3	2.7	2.4	2.6	121.4
27 06/08/01 03:45:00 PM	339	341	346	11	478	477	479	14.3	13.1	14.8	1.9	1.9	2.1	2.7	2.6	2.9	82.9
28 06/08/01 04:00:00 PM	340	342	346	0	480	479	481	15	13.9	15.9	1.9	2.1	2.2	2.8	2.4	3	96.8
29 06/08/01 04:15:00 PM	335	337	340	11	473	472	473	13.8	12.2	13.3	1.7	1.7	1.8	2.3	2.3	2.4	90.9
30 06/08/01 04:30:00 PM	336	341	345	11	475	474	475	20.4	19.1	21	3	3.1	3.2	3.5	3	3.5	118.1
31 06/08/01 04:45:00 PM	342	343	347	10	477	476	478	21.7	19.3	20.8	3.2	3.2	3.4	3.6	3	3.2	108.5
32 06/08/01 05:00:00 PM	341	344	347	10	477	478	478	20.7	19.3	20.7	3.1	3.1	3.3	3.6	2.9	3.4	111.3
33 06/08/01 05:15:01 PM	341	344	348	10	479	478	480	20.3	19	20.5	3	3	3.2	3.5	3	3.0	91.4
34 06/08/01 05:30:00 PM	343	345	348	11	480	478	479	20.3	18.8	20.9	3	3.1	3.3	3.3	3.2	3.5	96.4
35 06/08/01 05:45:00 PM	340	342	346	11	483	481	483	14.5	11.7	14	1.9	1.9	2.2	2.4	2	2.4	80
36 06/08/01 06:00:00 PM	341	343	346	10	483	481	483	15.8	11.5	13.4	1.8	1.8	2.1	2.5	1.9	2.4	101.5
37 06/08/01 06:15:00 PM	340	343	347	11	482	481	483	13.4	10.6	13.6	1.8	1.8	2.1	2.5	1.9	2.4	111.4
38 06/08/01 06:30:01 PM	339	340	344	11	479	478	480	12.5	9.8	12.2	1.9	1.9	1.8	2.0	1.7	2.3	100.5
39 06/08/01 06:45:00 PM	335	337	341	10	475	474	477	10.2	7.9	10.2	1.3	1.4	1.6	1.9	1.5	2	82.5
40 06/08/01 07:00:01 PM	334	335	340	11	475	473	477	8.7	7.7	9.9	1.3	1.4	1.6	1.9	1.4	1.6	110.7
41 06/08/01 07:15:00 PM	337	337	342	10	477	475	479	10	8	9.8	1.3	1.4	1.6	1.7	1.5	1.8	101.2
42 06/08/01 07:30:01 PM	339	338	344	11	478	477	481	9.7	8.2	10.5	1.4	1.5	1.7	1.6	1.6	1.8	94.3
43 06/08/01 07:45:00 PM	339	339	343	11	480	477	481	10	8.6	10.9	1.4	1.6	1.8	1.9	1.4	1.7	98.5
44 06/08/01 08:00:01 PM	342	343	348	11	484	482	486	11.8	9.5	12.1	1.7	1.7	2	1.8	1.5	1.8	100.6
45 06/08/01 08:15:00 PM	344	344	349	10	485	484	488	12.8	9.9	12.8	1.8	1.8	2.2	1.8	1.7	1.9	79.6
46 06/08/01 08:30:01 PM	345	345	350	11	487	485	489	14	10.6	13.4	1.9	2	2.3	1.9	1.7	1.7	105.5
47 06/08/01 08:45:00 PM	346	346	351	10	487	486	489	14	10.9	14	2	2.2	2.5	1.9	1.5	1.9	82.5
48 06/08/01 09:00:01 PM	348	348	351	11	488	488	490	13.6	11	13.6	2	2.1	2.4	1.8	1.6	1.8	87.7
49 06/08/01 09:15:00 PM	348	345	351	11	487	486	489	13.4	11.4	13.5	2	2.2	2.5	1.8	1.7	1.9	147.8
50 06/08/01 09:30:00 PM	344	344	350	10	485	483	488	13.3	11.8	14	2	2.2	2.4	1.8	1.7	1.8	93.7
51 06/08/01 09:45:00 PM	343	343	349	12	483	481	485	14.1	11.3	14.5	2.1	2.3	2.6	1.9	1.6	1.8	115.2
52 06/08/01 10:00:01 PM	345	348	351	10	487	485	489	13.7	11.9	14.2	2.1	2.2	2.5	1.8	1.6	1.9	101.1
53 06/08/01 10:15:00 PM	344	345	350	10	486	484	488	12.2	11.2	13.7	2	2.2	2.6	1.9	1.8	2	100.1
54 06/08/01 10:30:00 PM	342	342	347	11	483	481	485	12.7	11.2	13.7	2	2.2	2.4	1.7	1.5	1.6	86.2
55 06/08/01 10:45:00 PM	347	347	351	11	489	487	490	14	11.4	14.1	2.2	2.3	2.6	1.8	1.7	1.7	92.2
56 06/08/01 11:00:00 PM	345	348	351	11	488	486	489	13.3	10.8	13.9	2	2.2	2.5	1.8	1.6	1.7	99.1
57 06/08/01 11:15:00 PM	348	347	351	11	489	487	490	13	10.7	13.3	2	2.1	2.9	1.7	1.9	1.8	85.2
58 06/08/01 11:30:00 PM	346	348	352	11	490	488	491	12.8	10	12.7	1.9	2	2.3	1.6	1.5	1.6	90.2
59 06/08/01 11:45:01 PM	345	347	350	12	490	488	491	12.1	10.2	12.3	1.9	2	2.3	1.5	1.6	1.6	141
60 06/08/01 12:00:00 AM	346	347	351	10	488	487	489	13.2	11.1	13.2	2.1	2	2.4	1.7	1.7	1.7	82.4

Tabla A 2.16 Características del banco de capacitores

FORMA DE ONDA DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL BANCO DE CAPACITORES SERVICIOS

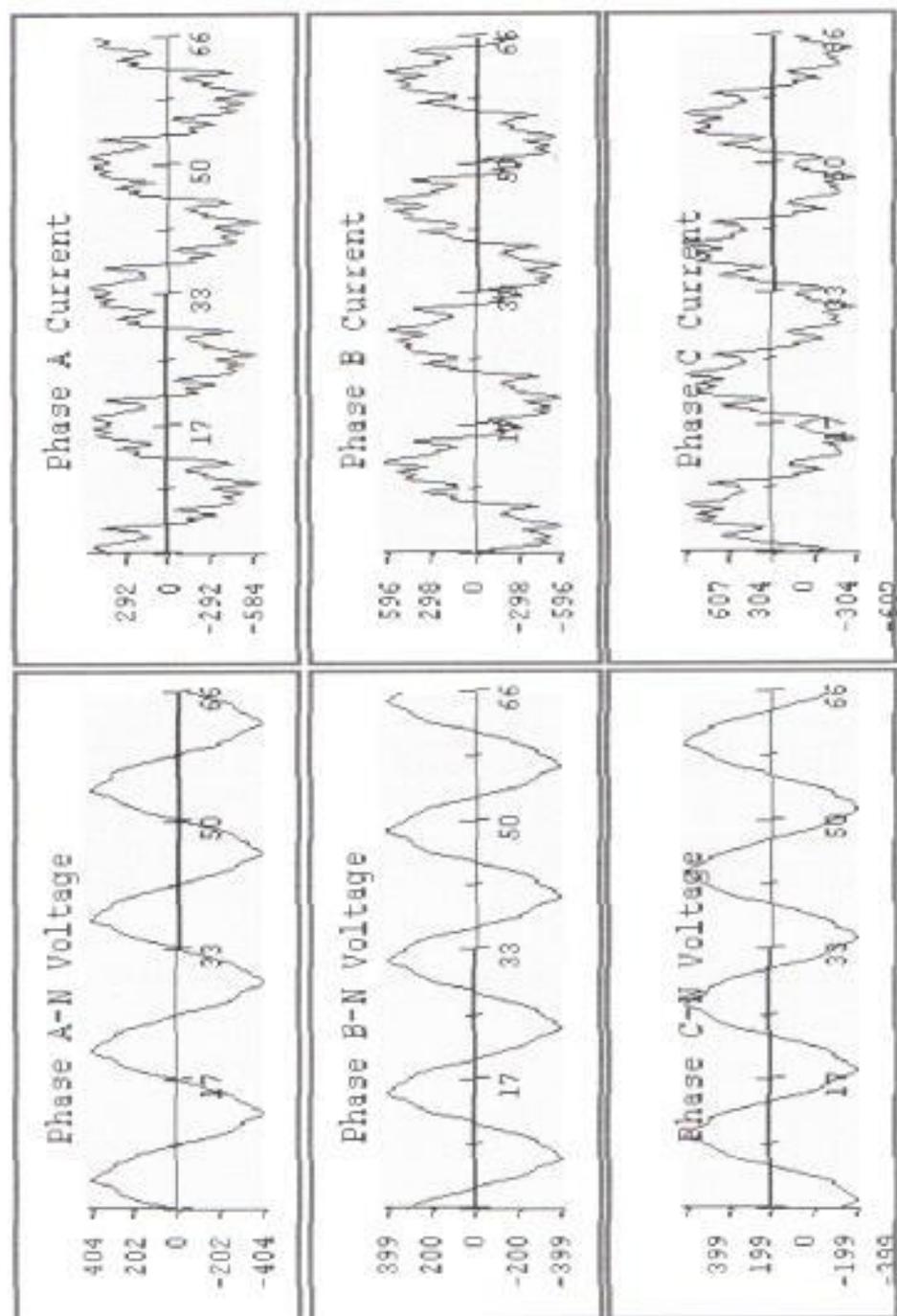


Figura A 2.15 Forma de onda del banco de capacitores

## Armónicos individuales de corriente del Banco de capacitores

Phase A Current	Phase B Current	Phase C Current
4 Cycle Waveform 08-05-2001 16:00:15	4 Cycle Waveform 08-05-2001 16:00:15	4 Cycle Waveform 08-05-2001 16:00:15
Fundamental: 321.81	Fundamental: 324.87	Fundamental: 328.57
RMS: 344.87	RMS: 346.65	RMS: 348.33
RMS-H: 123.98	RMS-H: 118.05	RMS-H: 118.63
Peak: 636.51	Peak: 609.32	Peak: 618.90
CF: 1.84	CF: 1.76	CF: 1.77
ASUM: 782.27	ASUM: 736.36	ASUM: 728.97
THD: 38.52	THD: 36.33	THD: 36.10
Harmonics	Harmonics	Harmonics
H1: 321.81	H1: 324.87	H1: 328.57
H2: 0.24	H2: 1.44	H2: 1.45
H3: 3.91	H3: 2.21	H3: 1.46
H4: 5.67	H4: 5.44	H4: 4.51
H5: 48.65	H5: 51.66	H5: 52.02
H6: 16.63	H6: 8.36	H6: 8.12
H7: 88.54	H7: 85.31	H7: 87.88
H8: 9.33	H8: 7.55	H8: 5.84
H9: 14.39	H9: 5.25	H9: 11.34
H10: 9.08	H10: 1.64	H10: 9.65
H11: 6.98	H11: 7.26	H11: 6.25
H12: 30.87	H12: 13.05	H12: 17.57
H13: 63.14	H13: 52.27	H13: 47.05
H14: 7.36	H14: 10.04	H14: 3.75
H15: 2.57	H15: 3.13	H15: 1.81
H16: 6.04	H16: 7.74	H16: 11.04
H17: 9.75	H17: 13.60	H17: 15.42
H18: 5.60	H18: 5.40	H18: 0.98
H19: 4.10	H19: 7.12	H19: 4.22
H20: 3.35	H20: 5.99	H20: 3.13
H21: 1.86	H21: 2.60	H21: 0.98
H22: 3.97	H22: 4.49	H22: 6.86
H23: 6.78	H23: 10.57	H23: 8.99
H24: 9.65	H24: 4.29	H24: 5.09
H25: 4.05	H25: 6.67	H25: 5.50
H26: 1.75	H26: 3.55	H26: 2.54
H27: 1.28	H27: 0.60	H27: 1.02
H28: 1.65	H28: 0.95	H28: 1.24
H29: 1.75	H29: 3.15	H29: 1.59
H30: 3.44	H30: 0.72	H30: 3.40
H31: 2.55	H31: 4.03	H31: 1.48

**Tabla A 2.17** Armónicos individuales banco de capacitores

# ÁREA: ENVASES

## EQUIPO: Variadores de Línea 3

On-Board Log File 1

Device: Variadores de Frecuencia Línea #3

Current Date: 07/05/2001 08:43:00 a.m.

Date/Time	IA	IB	IC	IN	VAB	VBC	VCA	THDA	THDB	THDC	THDVAB	THDVBC	THDVCA	KFA	KFB	KFC	HF1b
1 06/26/01 09:45:00 AM	382	384	382	16	454	454	454	6.8	6.1	5.8	3.4	3.5	3.4	1.3	1.2	1.2	100.3
2 06/26/01 10:00:01 AM	319	319	319	16	459	459	459	8.6	8	7.8	3.5	3.6	3.5	1.4	1.4	1.4	99.4
3 06/26/01 10:15:00 AM	270	273	275	16	459	459	459	8.9	8.9	7.6	3.5	3.6	3.5	1.4	1.3	1.4	99.1
4 06/26/01 10:30:00 AM	336	340	340	17	456	456	456	7.1	7.3	6.2	3.4	3.5	3.5	1.3	1.2	1.3	99.4
5 06/26/01 10:45:00 AM	324	330	329	16	458	457	458	7.7	7.2	6.4	3.6	3.6	3.5	1.3	1.3	1.3	99.3
6 06/26/01 11:00:00 AM	340	345	344	16	457	456	456	7.6	7.2	6.9	3.5	3.7	3.5	1.3	1.3	1.3	99.4
7 06/26/01 11:15:00 AM	314	317	319	16	459	457	457	8.2	7.7	6.7	3.5	3.6	3.5	1.3	1.4	1.3	99.3
8 06/26/01 11:30:00 AM	338	342	342	17	456	456	456	6.9	6.6	5.9	3.3	3.3	3.2	1.3	1.3	1.3	99.2
9 06/26/01 11:45:00 AM	324	328	328	17	457	456	456	7.4	7.2	6.4	3.3	3.4	3.3	1.3	1.3	1.3	99.3
10 06/26/01 12:00:00 PM	340	344	346	16	456	457	457	7.7	7.1	6.9	3.5	3.6	3.5	1.3	1.3	1.3	99.4
11 06/26/01 12:15:00 PM	265	266	268	16	456	456	456	8.4	7.8	7.1	3.5	3.6	3.5	1.3	1.3	1.3	99.5
12 06/26/01 12:30:00 PM	329	334	333	17	457	457	457	8.5	7.8	6.9	3.6	3.6	3.4	1.4	1.4	1.3	100.1
13 06/26/01 12:45:00 PM	285	288	289	16	457	460	460	8.1	8.5	7	3.5	3.7	3.4	1.4	1.4	1.4	99.6
14 06/26/01 01:00:00 PM	337	341	339	16	459	459	459	8	7.9	7.1	3.5	3.7	3.4	1.3	1.4	1.3	99.4
15 06/26/01 01:15:00 PM	354	362	361	17	457	459	459	7.4	7.6	6.6	3.4	3.5	3.5	1.4	1.3	1.3	99.5
16 06/26/01 01:30:00 PM	316	320	319	17	458	458	458	8.3	8.4	7.6	3.5	3.6	3.5	1.3	1.3	1.3	99.3
17 06/26/01 01:45:00 PM	246	254	254	16	458	457	458	9.8	8.9	7.8	3.5	3.6	3.5	1.4	1.4	1.4	99.8
18 06/26/01 02:00:00 PM	261	264	266	17	459	459	459	9	8.7	8	3.1	3.4	3.2	1.3	1.3	1.3	99.2
19 06/26/01 02:15:00 PM	275	277	277	16	459	456	456	9.2	8.2	7.3	3.5	3.6	3.5	1.3	1.4	1.4	99.1
20 06/26/01 02:30:01 PM	331	341	340	16	459	457	457	7.9	7.5	6.7	3.5	3.5	3.2	1.3	1.3	1.3	99.5
21 06/26/01 02:45:00 PM	263	266	266	16	459	457	458	8	7.9	6.8	3.3	3.5	3.1	1.3	1.3	1.3	99.4
22 06/26/01 03:00:00 PM	268	269	261	17	456	456	457	8.9	7.7	7.4	3.4	3.5	3.2	1.3	1.4	1.4	99.4
23 06/26/01 03:15:00 PM	337	340	339	16	456	459	459	8.4	8.7	7.2	3.6	3.7	3.4	1.3	1.3	1.4	99.4
24 06/26/01 03:30:00 PM	304	307	306	16	456	456	456	9.6	9.4	7.6	3.3	3.5	3.1	1.3	1.4	1.4	99.4
25 06/26/01 03:45:00 PM	318	321	320	16	456	456	456	8	7.7	7	3.5	3.6	3.4	1.4	1.3	1.3	99.1
26 06/26/01 04:00:00 PM	353	359	352	17	457	456	456	8.9	9.2	7.9	3.5	3.6	3.3	1.4	1.3	1.3	99.3
27 06/26/01 04:15:00 PM	351	361	359	17	456	459	459	9	8.5	6.9	3.6	3.7	3.4	1.3	1.4	1.4	99.3
28 06/26/01 04:30:00 PM	362	366	366	16	456	456	456	8.1	7.8	6.9	3.5	3.6	3.4	1.4	1.4	1.3	99.1
29 06/26/01 04:45:00 PM	362	366	364	16	459	459	459	8.7	8.3	6.9	3.6	3.7	3.5	1.4	1.3	1.3	99.2
30 06/26/01 05:00:00 PM	352	355	353	16	457	456	457	8.1	8.3	7.1	3.4	3.6	3.3	1.4	1.3	1.3	99.3
31 06/26/01 05:15:00 PM	327	331	328	16	459	456	458	10	9.5	8.3	3.7	3.8	3.6	1.3	1.3	1.4	99.3
32 06/26/01 05:30:00 PM	339	341	341	17	458	457	458	9.5	8.4	7.4	3.7	3.7	3.6	1.3	1.4	1.4	99.2
33 06/26/01 05:45:00 PM	306	309	308	16	460	459	460	6.9	6.5	5.8	3.3	3.5	3.2	1.3	1.3	1.3	99.5
34 06/26/01 06:00:00 PM	266	269	272	16	462	462	462	8.2	7.9	7.3	3.4	3.6	3.4	1.4	1.3	1.4	99.6
35 06/26/01 06:15:00 PM	342	346	346	16	462	462	461	8.3	8.2	7.2	3.4	3.6	3.5	1.3	1.3	1.4	99.7
36 06/26/01 06:30:00 PM	368	369	369	16	461	461	461	9.5	9.2	8	3.6	3.7	3.5	1.3	1.4	1.4	99.8
37 06/26/01 06:45:01 PM	293	293	291	16	458	457	457	10.4	9.3	8	3.6	3.7	3.6	1.3	1.4	1.3	99.1
38 06/26/01 07:00:00 PM	278	277	275	16	459	454	455	10.4	9.4	7.9	3.4	3.4	3.2	1.3	1.3	1.4	99.3
39 06/26/01 07:15:00 PM	244	242	242	16	459	457	458	7.9	7.1	6.1	3	3.6	3.3	1.3	1.3	1.3	100
40 06/26/01 07:30:00 PM	211	209	211	17	460	457	456	6.7	6	5.1	2.9	2.9	2.4	1.3	1.1	1.1	99.3
41 06/26/01 07:45:00 PM	198	194	197	16	461	459	460	7.6	6.3	6.3	2.8	2.8	2.3	1.4	1.2	1.1	99.6
42 06/26/01 08:00:01 PM	189	187	189	15	462	462	462	9.5	7.4	5.9	2.2	2.2	2.1	1.4	1.2	1.1	99.7
43 06/26/01 08:15:00 PM	203	200	202	16	461	460	461	7.3	6.4	6.4	2.8	2.7	2.7	1.4	1.2	1.3	100.3
44 06/26/01 08:30:00 PM	219	208	210	16	460	459	460	7.1	5.8	5.9	2.7	2.6	2.5	1.3	1.2	1.2	99.2
45 06/26/01 08:45:00 PM	238	232	227	17	461	459	460	6.8	6.1	6.4	3.1	3	2.9	1.3	1.2	1.2	100.3
46 06/26/01 09:00:00 PM	190	187	189	14	462	462	461	6.9	6.9	7	3.1	3.1	3.1	1.3	1.3	1.3	99.9
47 06/26/01 09:15:00 PM	215	213	214	16	460	458	459	9	7.7	7.6	2.6	2.6	2.5	1.3	1.3	1.2	100.1
48 06/26/01 09:30:00 PM	207	205	207	15	462	460	462	8.1	6.7	6.3	3	3.1	3	1.3	1.2	1.2	99.7
49 06/26/01 09:45:00 PM	233	228	231	15	460	459	459	7.8	6.4	6.4	3.1	3.1	3	1.3	1.2	1.1	99.4
50 06/26/01 10:00:00 PM	236	234	235	16	460	459	459	7.7	6.3	5.3	3.1	3	3	1.4	1.1	1.1	99
51 06/26/01 10:15:00 PM	55	56	60	11	462	467	462	32.4	27.7	20.7	3.7	3.7	3.1	6.5	3.7	2.2	93.7
52 06/26/01 10:30:00 PM	29	29	37	15	464	462	464	51.7	44.8	26.7	2.7	2.4	2.5	10.7	9.1	4.1	90.8
53 06/26/01 10:45:00 PM	10	0	11	13	465	462	464	117	N/A	67.3	3	2.8	2.9	297.9	N/A	49.9	N/A
54 06/26/01 11:00:00 PM	0	0	11	0	465	463	464	N/A	N/A	55.9	2.7	2.4	2.6	N/A	N/A	1	N/A
55 06/26/01 11:15:00 PM	0	0	11	0	466	464	466	N/A	N/A	57.1	2.3	2	2.1	N/A	N/A	1	N/A
56 06/26/01 11:30:01 PM	11	0	0	0	466	464	466	141.9	N/A	N/A	2.3	2.2	2.3	370.9	N/A	N/A	N/A
57 06/26/01 11:45:01 PM	11	0	11	14	463	467	463	134.9	N/A	56.8	2.8	2.6	2.7	128.3	N/A	39	N/A
58 06/27/01 12:00:00 AM	10	0	0	0	462	463	462	132.3	N/A	N/A	2.8	2.6	2.8	342.3	N/A	N/A	N/A
59 06/27/01 12:15:00 AM	11	0	11	14	465	463	464	134.9	N/A	54.4	3.1	2.8	2.9	154.8	N/A	0	N/A
60 06/27/01 12:30:00 AM	16	13	13	13	464	462	464	103.9	117.9	103.9	2.9	2.7	2.8	24.9	34.6	43	68.9

Tabla A 2.18 Características del variador de frecuencia línea 3

## FORMA DE ONDA DE VOLTAJE Y CORRIENTE DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA

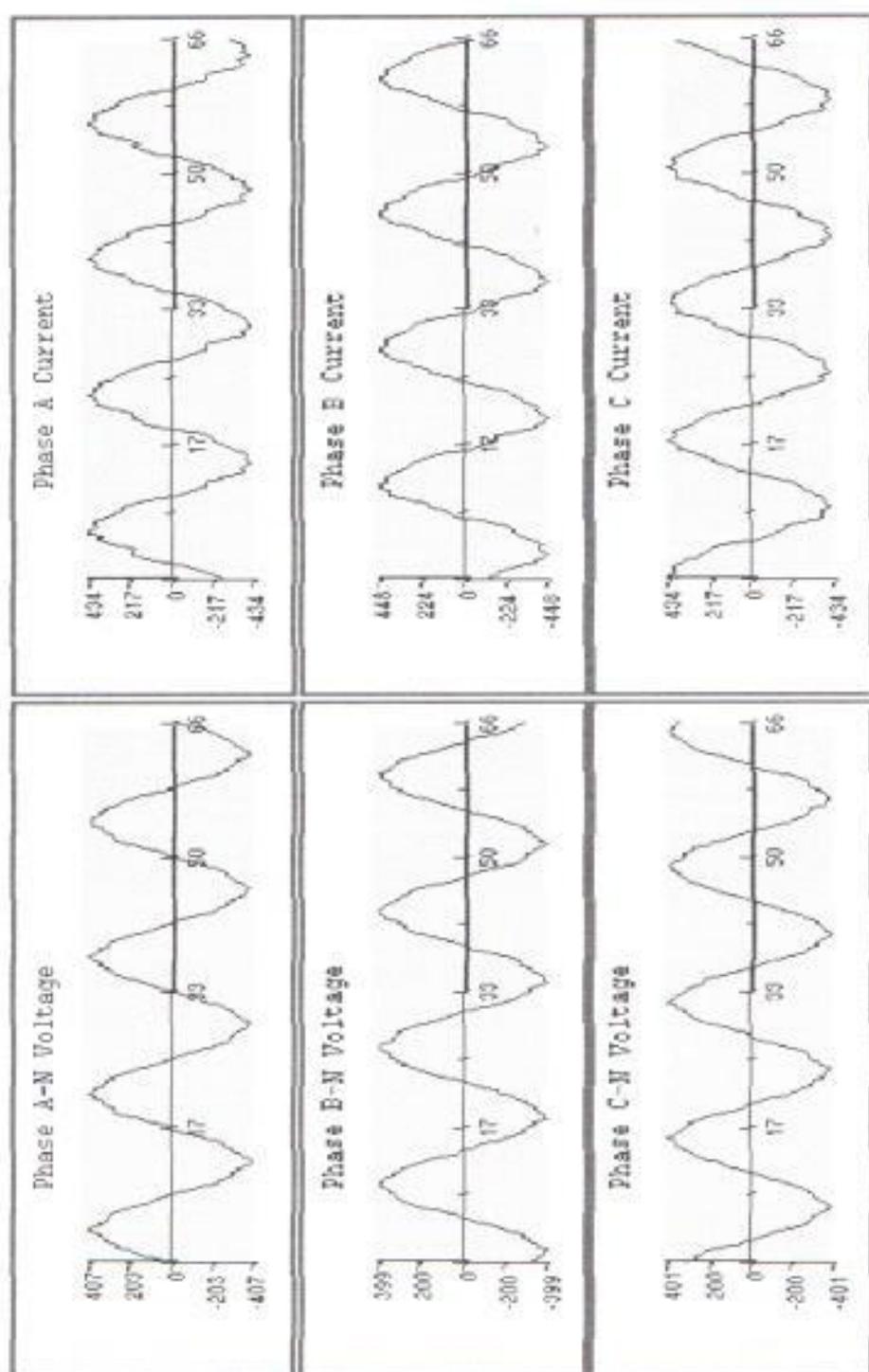


Figura A 2.16 Forma de onda del variador de frecuencia línea 3

### Armónicos individuales de corriente de los variadores de Frecuencia Línea 3

Phase A Current		Phase B Current		Phase C Current	
4 Cycle Waveform: 25-06-2001 10:31:21		4 Cycle Waveform: 25-06-2001 10:31:21		4 Cycle Waveform: 25-06-2001 10:31:21	
Fundamental: 291.53		Fundamental: 295.93		Fundamental: 294.45	
RMS: 292.81		RMS: 296.51		RMS: 295.13	
RMS-H: 25.12		RMS-H: 22.76		RMS-H: 19.85	
Peak: 438.23		Peak: 450.17		Peak: 439.13	
CF: 1.49		CF: 1.51		CF: 1.47	
ASUM: 432.20		ASUM: 394.56		ASUM: 382.93	
THD: 8.61		THD: 7.69		THD: 6.74	
IT: 45500.25		IT: 43685.56			
<b>Harmonics</b>		<b>Harmonics</b>		<b>Harmonics</b>	
H1: 291.53		H1: 295.94		H1: 294.47	
H2: 0.82		H2: 0.44		H2: 0.52	
H3: 5.04		H3: 4.30		H3: 0.30	
H4: 0.59		H4: 0.74		H4: 0.19	
H5: 15.55		H5: 15.77		H5: 10.43	
H6: 0.79		H6: 0.60		H6: 0.45	
H7: 13.68		H7: 10.85		H7: 12.15	
H8: 0.42		H8: 0.41		H8: 0.31	
H9: 2.95		H9: 2.99		H9: 1.08	
H10: 2.02		H10: 0.58		H10: 0.70	
H11: 5.33		H11: 4.10		H11: 4.82	
H12: 0.29		H12: 0.28		H12: 0.28	
H13: 5.85		H13: 7.55		H13: 7.68	
H14: 0.30		H14: 0.60		H14: 0.46	
H15: 1.44		H15: 1.23		H15: 0.94	
H16: 0.70		H16: 0.24		H16: 0.29	
H17: 4.35		H17: 4.39		H17: 5.01	
H18: 0.35		H18: 0.45		H18: 0.31	
H19: 2.02		H19: 2.64		H19: 2.44	
H20: 0.08		H20: 0.10		H20: 0.40	
H21: 0.31		H21: 0.52		H21: 0.45	
H22: 0.24		H22: 0.62		H22: 0.50	
H23: 1.58		H23: 1.21		H23: 1.19	
H24: 0.73		H24: 0.28		H24: 0.31	
H25: 1.59		H25: 1.36		H25: 0.61	
H26: 0.28		H26: 0.13		H26: 0.28	
H27: 0.75		H27: 0.27		H27: 0.16	
H28: 0.33		H28: 0.56		H28: 0.24	
H29: 0.85		H29: 0.97		H29: 0.49	
H30: 0.78		H30: 0.48		H30: 0.51	
H31: 2.52		H31: 1.17		H31: 1.34	

Tabla A 2.19 Armónicos individuales del variador de frecuencia línea 3

## ANEXO 3

### INTERPRETACIÓN GRÁFICA DE LOS ARMÓNICOS MEDIANTE MÉTODOS ESTADÍSTICOS.

#### ÁREA DE COCIMIENTO

#### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Equipo: Variador de Frecuencia

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	29.93	27.59	26.05	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.21	0.66	0.47	H2	0.70	2.39	1.80
H3	2.32	4.94	2.69	H3	7.75	17.91	10.33
H4	1.07	0.85	0.45	H4	3.58	3.44	1.73
H5	19.33	17.46	17.08	H5	64.58	63.28	65.57
H6	0.57	0.73	0.16	H6	1.90	2.65	0.61
H7	9.77	10.59	10.57	H7	32.64	38.38	40.58
H8	0.04	0.21	0.17	H8	0.13	0.76	0.65
H9	1.08	1.54	0.48	H9	3.61	5.55	1.84
H10	0.48	0.52	0.46	H10	1.60	1.88	1.77
H11	3.81	2.39	2.9	H11	12.73	8.66	11.13
H12	0.56	0.28	0.49	H12	1.87	1.01	1.88
H13	2.49	2.42	1.88	H13	8.32	8.77	7.22
H14	0.93	1.27	0.42	H14	3.11	4.60	1.61
H15	0.68	0.73	0.22	H15	2.27	2.65	0.84
H16	0.89	0.93	0.39	H16	2.97	3.37	1.50
H17	0.32	1.7	1.99	H17	1.07	6.16	7.64
H18	0.37	0.75	0.51	H18	1.24	2.72	1.96
H19	1.03	1.36	0.44	H19	3.44	4.93	1.69
H20	0.81	0.98	0.64	H20	2.71	3.55	2.46
H21	0.47	0.52	0.25	H21	1.57	1.88	0.96
H22	0.12	0.19	0.08	H22	0.40	0.69	0.31
H23	1.16	0.28	1.43	H23	3.88	1.01	5.49
H24	0.48	0.74	0.34	H24	1.60	2.68	1.31
H25	0.99	1.18	0.2	H25	3.31	4.28	0.77
H26	0.25	0.49	0.27	H26	0.84	1.78	1.04
H27	0.8	0.82	0.19	H27	2.67	2.25	0.73
H28	0.38	0.51	0.27	H28	1.27	1.85	1.04
H29	1.27	1.17	1.13	H29	4.24	4.24	4.34
H30	0.28	0.38	0.34	H30	0.94	1.38	1.31
H31	1.38	1.44	0.12	H31	4.61	5.22	0.46

Las armónicas de mayor magnitud son la quinta y la séptima, tal como se indicó anteriormente en lo que respecta a variadores de frecuencia.

Datos de Intensidad		
Fase A	Fase B (Calc)	Fase C
Fundamental: 29.93	Fundamental: 27.58	Fundamental: 26.05
RMS: 38.33	RMS: 36.41	RMS: 33.62
RMS-H: 23.94	RMS-H: 23.77	RMS-H: 21.25
Peak: 98.43	Peak: 94.96	Peak: 81.48
CF: 2.56	CF: 2.60	CF: 2.42
THD: 79.99	THD: 86.18	THD: 81.59

Tabla A 3.1 Parámetros de intensidad del variador de frecuencia

## MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE VOLTAJE

Armónicos de Voltaje (V)				% de Armónicos de Voltaje			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	470.1	468.61	467.1	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.85	0.18	0.68	H2	0.18	0.04	0.15
H3	0.74	0.62	1.33	H3	0.16	0.13	0.28
H4	0.18	0.13	0.29	H4	0.04	0.03	0.06
H5	4.03	3.72	3.28	H5	0.86	0.79	0.70
H6	0.35	0.44	0.34	H6	0.07	0.09	0.07
H7	6.6	6.47	6.3	H7	1.40	1.38	1.35
H8	1.28	1.27	0.3	H8	0.27	0.27	0.06
H9	0.57	0.54	0.31	H9	0.12	0.12	0.07
H10	0.88	0.63	0.39	H10	0.19	0.13	0.07
H11	0.74	0.78	1.03	H11	0.16	0.17	0.22
H12	0.73	0.51	0.23	H12	0.16	0.11	0.05
H13	2.2	1.93	0.37	H13	0.47	0.41	0.08
H14	0.78	0.6	0.2	H14	0.17	0.13	0.04
H15	0.81	0.18	0.72	H15	0.17	0.03	0.15
H16	1.3	1.21	0.3	H16	0.28	0.26	0.02
H17	1.89	0.94	1.47	H17	0.40	0.20	0.31
H18	0.73	0.72	0.46	H18	0.16	0.15	0.10
H19	1.48	1.41	0.08	H19	0.31	0.30	0.02
H20	0.85	0.71	0.23	H20	0.18	0.15	0.05
H21	1.38	1.58	0.22	H21	0.29	0.34	0.08
H22	1.66	1.86	0.28	H22	0.35	0.40	0.05
H23	2.01	2.81	0.85	H23	0.43	0.60	0.18
H24	0.29	0.33	0.59	H24	0.06	0.07	0.13
H25	0.8	0.85	0.12	H25	0.17	0.18	0.03
H26	1.51	1.53	0.04	H26	0.32	0.33	0.01
H27	2.41	2.34	0.07	H27	0.51	0.50	0.01
H28	2.38	1.81	0.82	H28	0.51	0.34	0.18
H29	1.1	0.99	0.41	H29	0.23	0.21	0.09
H30	0.75	1.04	0.34	H30	0.16	0.22	0.07
H31	1.43	1.21	0.23	H31	0.30	0.26	0.05

Datos de Voltaje LL		
Fase A-B Voltage	Fase B-C Voltage	Fase C-A (Calc)
Fundamental: 470.10	Fundamental: 468.60	Fundamental: 467.09
RMS: 470.35	RMS: 468.83	RMS: 467.18
RMS-H: 15.47	RMS-H: 14.64	RMS-H: 9.10
Peak: 686.59	Peak: 687.86	Peak: 661.25
CF: 1.45	CF: 1.46	CF: 1.41
THD: 3.29	THD: 3.12	THD: 1.94

Tabla A 3.2 Parámetro de tensión vari. de vel.

## Forma de Onda y Diagrama de barras del Variador de frecuencia

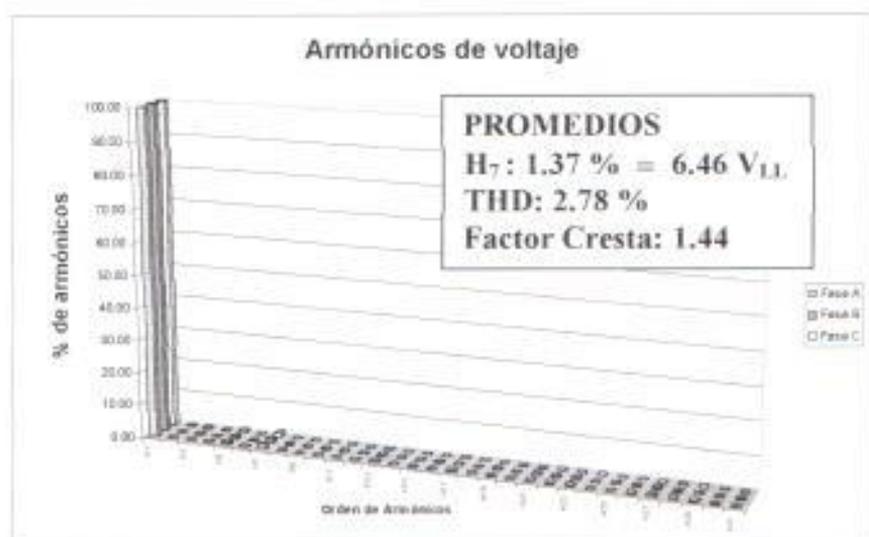
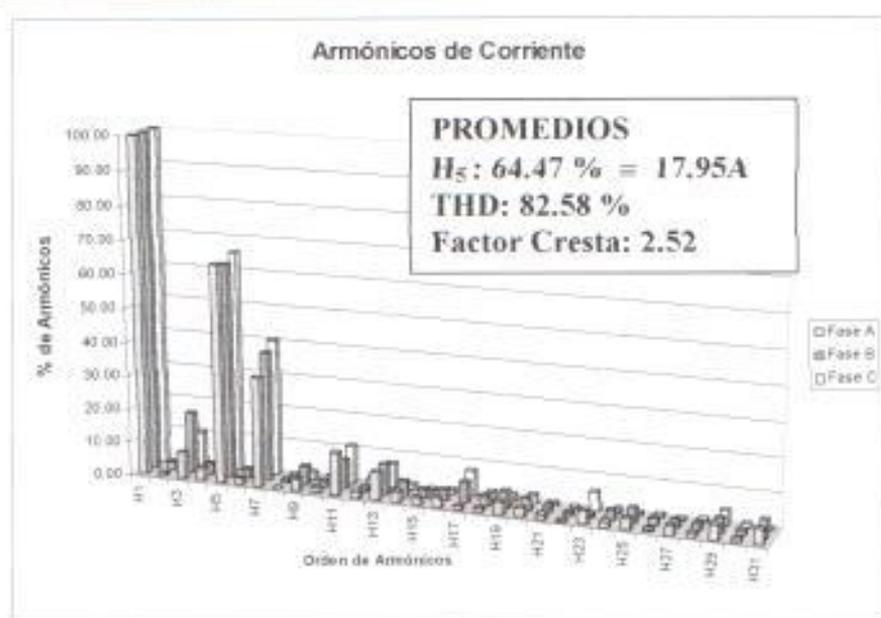
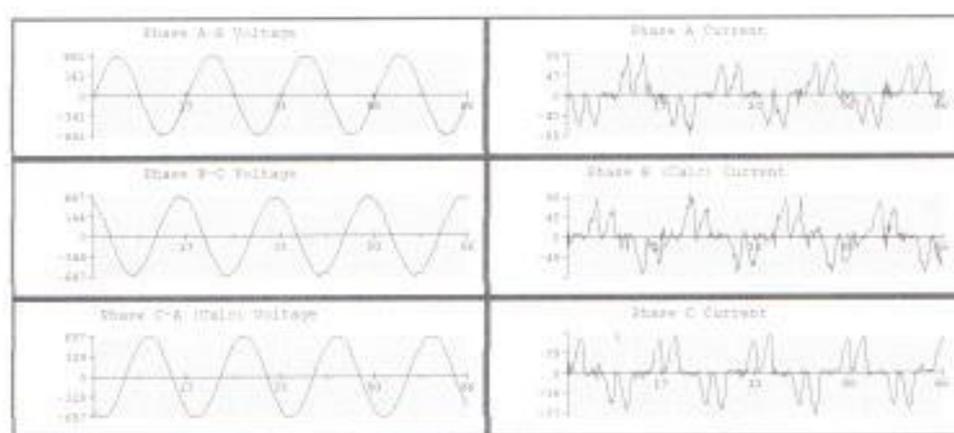


Figura A 3.1 Forma de onda y diagrama de barras Var. Frec.

Equipo: Variador de frecuencia (Secadores)

MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente			% Armónicos Corrient				
Armónico	Fase	Fase	Fase	Armónico	Fase	Fase	Fase
H1	12.43	23	12.3	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.65	0.55	0.67	H2	5.23	2.39	5.45
H3	2.92	4.78	1.86	H3	23.49	20.78	15.12
H4	0.24	0.53	0.43	H4	1.93	2.30	3.50
<b>H5</b>	<b>9.15</b>	<b>16.49</b>	<b>9.05</b>	<b>H5</b>	<b>73.61</b>	<b>71.70</b>	<b>73.58</b>
H6	0.29	0.45	0.74	H6	2.33	1.96	6.02
<b>H7</b>	<b>7.95</b>	<b>12.68</b>	<b>6.59</b>	<b>H7</b>	<b>63.96</b>	<b>55.13</b>	<b>53.58</b>
H8	0.19	0.58	0.41	H8	1.53	2.43	3.33
<b>H9</b>	<b>0.77</b>	<b>1.16</b>	<b>0.53</b>	<b>H9</b>	<b>6.19</b>	<b>5.04</b>	<b>4.31</b>
H10	0.83	0.34	0.77	H10	6.68	1.48	6.26
<b>H11</b>	<b>3.23</b>	<b>4.99</b>	<b>2.63</b>	<b>H11</b>	<b>25.99</b>	<b>21.70</b>	<b>21.38</b>
H12	0.63	0.56	0.08	H12	5.07	2.43	0.65
<b>H13</b>	<b>1.44</b>	<b>1.52</b>	<b>0.85</b>	<b>H13</b>	<b>11.58</b>	<b>6.61</b>	<b>6.91</b>
H14	0.36	0.58	0.22	H14	2.90	2.43	1.79
H15	1.19	1.52	0.35	H15	9.57	6.61	2.85
H16	0.47	0.07	0.43	H16	3.78	0.30	3.50
H17	1.26	2.33	1.26	H17	10.14	10.13	10.24
H18	0.76	0.62	0.15	H18	6.11	2.70	1.22
H19	0.34	0.58	0.24	H19	2.74	2.52	1.95
H20	0.8	0.55	0.38	H20	6.44	2.39	3.09
H21	0.6	0.41	0.26	H21	4.83	1.78	2.11
H22	0.52	0.48	0.11	H22	4.18	2.09	0.89
H23	0.01	0.41	0.42	H23	0.08	1.78	3.41
H24	0.91	0.89	0.07	H24	7.32	3.67	0.57
H25	0.56	0.85	0.48	H25	4.51	3.70	3.90
H26	0.32	0.39	0.66	H26	2.57	1.70	5.37
H27	0.58	0.08	0.54	H27	4.67	0.35	4.39
H28	0.61	0.78	0.24	H28	4.91	3.30	1.95
H29	0.92	0.81	0.6	H29	7.40	3.52	4.88
H30	0.39	0.55	0.4	H30	3.14	2.39	3.25
H31	1.49	2.16	0.68	H31	11.99	9.39	5.53

Al igual que el variador de cocina la medición indica que las armónicas de mayor magnitud son la quinta y la séptima.

Fase A Current		Fase B (Calc)		Fase C Current	
Fundamental:	12.43	Fundamental:	22.99	Fundamental:	12.30
RMS:	19.43	RMS:	33.07	RMS:	17.59
RMS-H:	14.94	RMS-H:	23.77	RMS-H:	12.58
Peak:	63.67	Peak:	95.34	Peak:	53.72
CF:	3.27	CF:	2.88	CF:	3.05
THD:	120.17	THD:	103.39	THD:	102.32

Tabla A 3.3 Parámetro de intensidad Var. De Frec.

Diagrama de Barras y Forma de Onda del variador de Frecuencia (secadores)

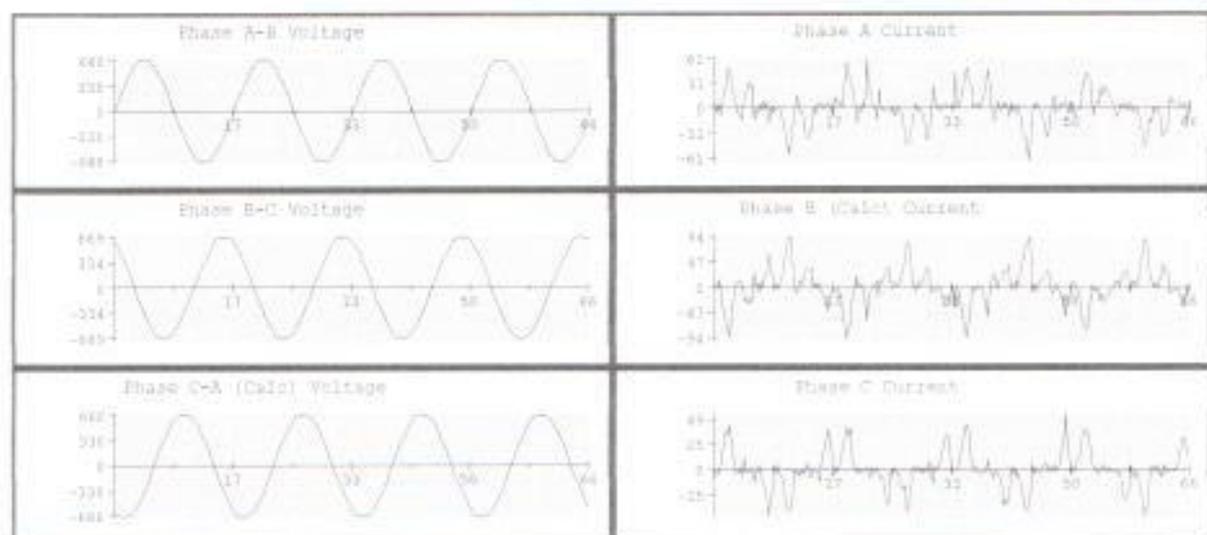
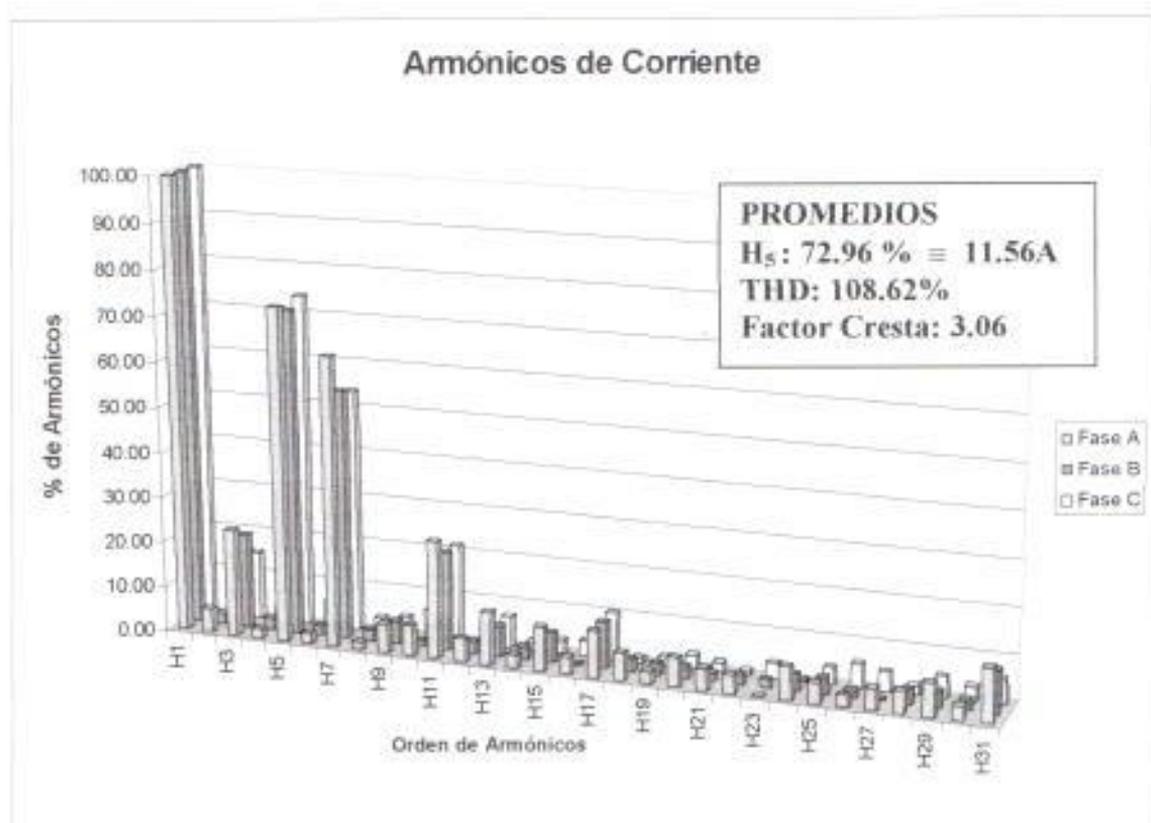


Figura A 3.2 Forma de onda y diagrama de barras Vari. De Frec.

Equipo: Banco de Transformación (S/E del área de Cocina)

MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente(A)				% Armónicos Corriente			
Armónico	Fase A	Fase B	Fase C	Armónico	Fase A	Fase B	Fase C
H1	7.73	7.82	7.67	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.04	0.03	0.06	H2	0.52	0.38	0.78
H3	0.05	0.16	0.18	H3	0.65	2.05	2.35
H4	0.03	0.01	0.03	H4	0.39	0.13	0.39
<b>H5</b>	<b>0.57</b>	<b>0.58</b>	<b>0.6</b>	<b>H5</b>	<b>7.37</b>	<b>7.42</b>	<b>7.82</b>
H6	0.04	0.02	0.01	H6	0.52	0.26	0.13
<b>H7</b>	<b>0.18</b>	<b>0.18</b>	<b>0.19</b>	<b>H7</b>	<b>2.33</b>	<b>2.30</b>	<b>2.48</b>
H8	0.05	0.02	0.03	H8	0.65	0.26	0.39
<b>H9</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.04</b>	<b>H9</b>	<b>0.65</b>	<b>0.77</b>	<b>0.52</b>
H10	0.15	0.14	0.13	H10	1.94	1.79	1.69
<b>H11</b>	<b>0.11</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>H11</b>	<b>1.42</b>	<b>1.15</b>	<b>1.17</b>
H12	0.05	0.01	0.02	H12	0.65	0.13	0.26
<b>H13</b>	<b>0.01</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>	<b>H13</b>	<b>0.13</b>	<b>0.51</b>	<b>0.78</b>
H14	0.03	0	0.03	H14	0.39	0.00	0.39
H15	0.04	0.02	0.02	H15	0.52	0.26	0.26
H16	0.05	0.03	0.04	H16	0.65	0.38	0.52
H17	0.05	0.04	0.1	H17	0.65	0.51	1.30
H18	0.06	0.03	0.03	H18	0.78	0.38	0.39
H19	0.06	0.02	0.06	H19	0.78	0.26	0.78
H20	0.03	0.02	0.03	H20	0.39	0.26	0.39
H21	0.07	0.01	0.02	H21	0.91	0.13	0.26
H22	0.03	0.02	0.01	H22	0.39	0.26	0.13
H23	0.03	0.02	0.01	H23	0.39	0.26	0.13
H24	0.02	0.03	0.04	H24	0.26	0.38	0.52
H25	0.05	0.05	0.06	H25	0.65	0.64	0.78
H26	0.05	0.04	0.01	H26	0.65	0.51	0.13
H27	0.01	0.03	0.04	H27	0.13	0.38	0.52
H28	0.02	0.02	0.01	H28	0.26	0.26	0.13
H29	0.12	0.02	0.02	H29	1.55	0.26	0.26
H30	0.04	0.03	0.05	H30	0.52	0.38	0.65
H31	0.06	0.07	0.03	H31	0.78	0.90	0.39

Como se puede apreciar el armónico de mayor magnitud es el quinto debido a que la carga no lineal de mayor influencia son los variadores de frecuencia en el área.

Tabla A 3.4 Parámetro de int. Banco de Trafo.

Fase A		Fase B		Fase C	
Fundamental:	7.73	Fundamental:	7.81	Fundamental:	7.67
RMS:	7.77	RMS:	7.84	RMS:	7.71
RMS-H:	0.85	RMS-H:	0.70	RMS-H:	0.75
Peak:	12.28	Peak:	11.37	Peak:	12.38
CF:	1.57	CF:	1.44	CF:	1.60
THD:	11.00	THD:	9.01	THD:	9.87

## Medición de Armónicos Individuales de Voltajes del Banco de Transformadores

Armónicos de Voltaje LN (V)				% de Armónicos de Voltaje LN			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	757	7587.6	7586.4	H1	100.0	100.0	100.0
H2	3.68	1.17	2.4	H2	0.05	0.02	0.03
H3	18.7	9.21	20.3	H3	0.25	0.12	0.27
H4	2	2.55	2	H4	0.03	0.03	0.03
<b>H5</b>	<b>81.3</b>	<b>80.7</b>	<b>80.4</b>	<b>H5</b>	<b>1.07</b>	<b>1.06</b>	<b>1.06</b>
H6	2.96	0.65	1.75	H6	0.04	0.01	0.02
H7	66.6	71.8	67	H7	0.88	0.95	0.88
H8	3	2.15	1.87	H8	0.04	0.03	0.02
H9	14.7	10.9	9.78	H9	0.19	0.14	0.13
H10	5.14	4.01	5.63	H10	0.07	0.05	0.07
H11	21.9	18.8	18.7	H11	0.29	0.25	0.25
H12	2.53	1.78	1.22	H12	0.03	0.02	0.02
H13	12.2	15.8	13.4	H13	0.16	0.21	0.18
H14	0.53	1.27	0.82	H14	0.01	0.02	0.01
H15	0.53	0.26	1.83	H15	0.01	0.00	0.02
H16	0.95	0.14	2.4	H16	0.01	0.00	0.03
H17	1.16	4.12	4.15	H17	0.02	0.05	0.05
H18	1.2	0.37	0.89	H18	0.02	0.00	0.01
H19	3.02	3.78	3.17	H19	0.04	0.05	0.04
H20	0.62	1.2	0.95	H20	0.01	0.02	0.01
H21	0.96	1.49	1.71	H21	0.01	0.02	0.02
H22	1.31	0.7	0.37	H22	0.02	0.01	0.00
H23	0.63	0.94	0.74	H23	0.01	0.01	0.01
H24	0.41	0.8	1.02	H24	0.01	0.01	0.01
H25	1.43	1.08	1.2	H25	0.02	0.01	0.02
H26	0.72	0.29	1.09	H26	0.01	0.00	0.01
H27	1.7	1.15	0.73	H27	0.02	0.02	0.01
H28	1.32	0.8	1.34	H28	0.02	0.01	0.02
H29	0.76	2.45	0.66	H29	0.01	0.03	0.01
H30	0.31	0.39	0.99	H30	0.00	0.01	0.01
H31	1.25	0.6	0.84	H31	0.02	0.01	0.01

Fase A		Fase B		Fase C	
Fundamental:	7572.99	Fundamental:	7587.62	Fundamental:	7586.47
RMS:	7573.85	RMS:	7588.49	RMS:	7587.31
RMS-H:	113.75	RMS-H:	114.48	RMS-H:	112.63
Peak:	10683.99	Peak:	10655.68	Peak:	10677.01
CF:	1.41	CF:	1.40	CF:	1.40
THD:	1.50	THD:	1.50	THD:	1.48

Tabla A 3.5 Parámetro de tensión Banco de transformación

## Forma de Onda y Diagrama de barras del Banco de Transformadores

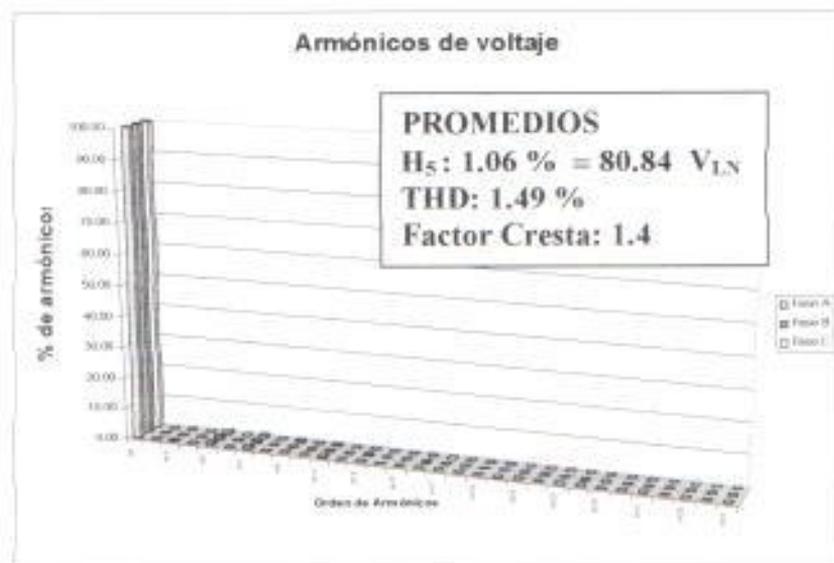
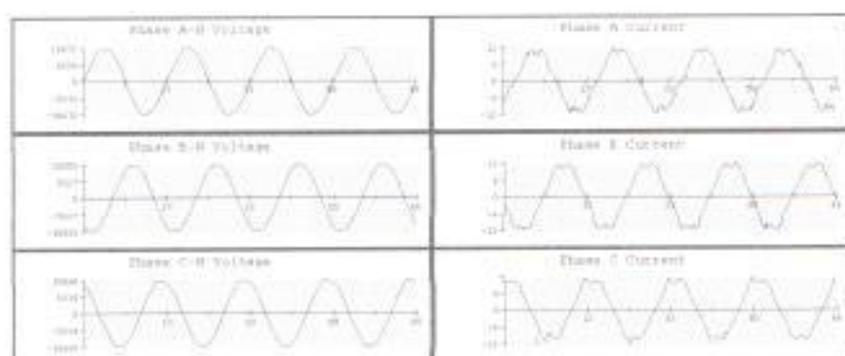


Figura A 3.3 Forma de onda y diagrama de barras Banco trafo.

## ÁREA DE BODEGA DE FRÍO Y EDIF. ADMINISTRATIVO

Equipo: Transformador (#1)

### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

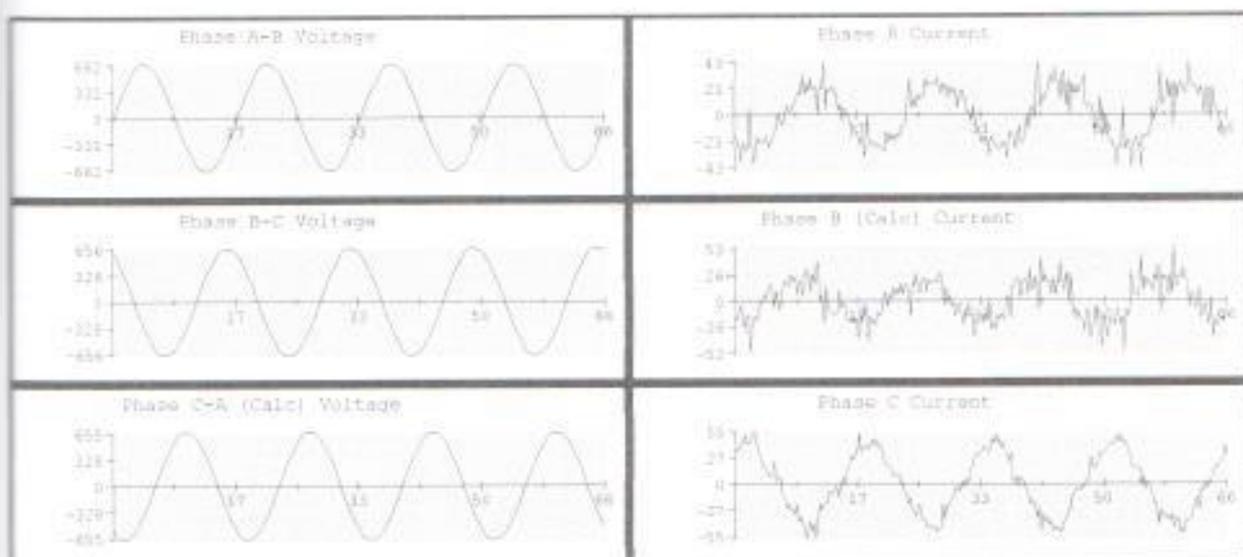
Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	18.22	15.28	29.33	H1	100.00	100.00	100.00
H2	1.01	1.26	0.27	H2	5.54	8.25	0.92
<b>H3</b>	<b>2.04</b>	<b>3.72</b>	<b>2.48</b>	<b>H3</b>	<b>11.20</b>	<b>24.35</b>	<b>8.46</b>
H4	0.87	0.56	0.32	H4	4.77	3.66	1.09
<b>H5</b>	<b>0.71</b>	<b>2.52</b>	<b>2.87</b>	<b>H5</b>	<b>3.90</b>	<b>16.49</b>	<b>9.79</b>
H6	0.9	0.62	0.64	H6	4.94	4.06	2.18
<b>H7</b>	<b>0.78</b>	<b>0.69</b>	<b>0.16</b>	<b>H7</b>	<b>4.28</b>	<b>4.52</b>	<b>0.55</b>
H8	0.2	0.35	0.21	H8	1.10	2.29	0.72
<b>H9</b>	<b>0.48</b>	<b>0.67</b>	<b>0.3</b>	<b>H9</b>	<b>2.63</b>	<b>4.38</b>	<b>1.02</b>
H10	0.37	0.23	0.27	H10	2.03	1.51	0.92
<b>H11</b>	<b>0.87</b>	<b>1.45</b>	<b>0.67</b>	<b>H11</b>	<b>4.77</b>	<b>9.49</b>	<b>2.28</b>
H12	0.34	0.63	0.29	H12	1.87	4.12	0.99
<b>H13</b>	<b>0.59</b>	<b>0.79</b>	<b>0.2</b>	<b>H13</b>	<b>3.24</b>	<b>5.17</b>	<b>0.66</b>
H14	0.75	0.97	0.45	H14	4.12	6.35	1.53
H15	0.22	0.35	0.49	H15	1.21	2.29	1.67
H16	0.95	0.82	0.71	H16	5.21	5.37	2.42
H17	1.07	1.15	0.26	H17	5.87	7.53	0.89
H18	0.69	0.87	0.18	H18	3.79	5.69	0.61
H19	0.55	0.54	0.06	H19	3.02	3.53	0.20
H20	0.32	0.45	0.3	H20	1.76	2.95	1.02
H21	1.51	2.02	0.53	H21	8.29	13.22	1.81
H22	0.39	1.37	1.05	H22	2.14	8.97	3.58
H23	0.48	0.54	0.06	H23	2.63	3.53	0.20
H24	1.04	1.23	0.19	H24	5.71	8.05	0.65
H25	0.49	0.85	0.43	H25	2.69	5.56	1.47
H26	0.97	1.61	0.63	H26	5.32	10.54	2.15
H27	0.85	1.27	0.49	H27	4.67	8.31	1.67
H28	1.06	1.02	0.09	H28	5.82	6.68	0.31
H29	0.84	1.04	0.48	H29	4.61	6.81	1.64
H30	0.61	0.99	0.73	H30	3.35	6.48	2.49
H31	0.92	1.16	0.45	H31	5.05	7.59	1.53

La medición nos muestra que la armónica de mayor magnitud es la tercera, esto es debido a que las cargas no lineales que abastece este transformador son equipos electrónicos como computadoras, impresoras, fax, etc.

**Tabla A 3.6 Parámetros de intensidad trafo #1**

Fase A Current		Fase B (Calc) Current		Fase C Current	
Fundamental	18.22	Fundamental	15.27	Fundamental	29.32
RMS	20.22	RMS	19.07	RMS	30.02
RMS-H	8.77	RMS-H	11.41	RMS-H	6.44
Peak	43.59	Peak	53.43	Peak	54.92
CF	2.15	CF	2.80	CF	1.82
<b>THD:</b>	<b>48.16</b>	<b>THD:</b>	<b>74.73</b>	<b>THD:</b>	<b>21.95</b>

## Diagrama de Barras y Forma de Onda del Transformador # 1



### Armónicos de Corriente

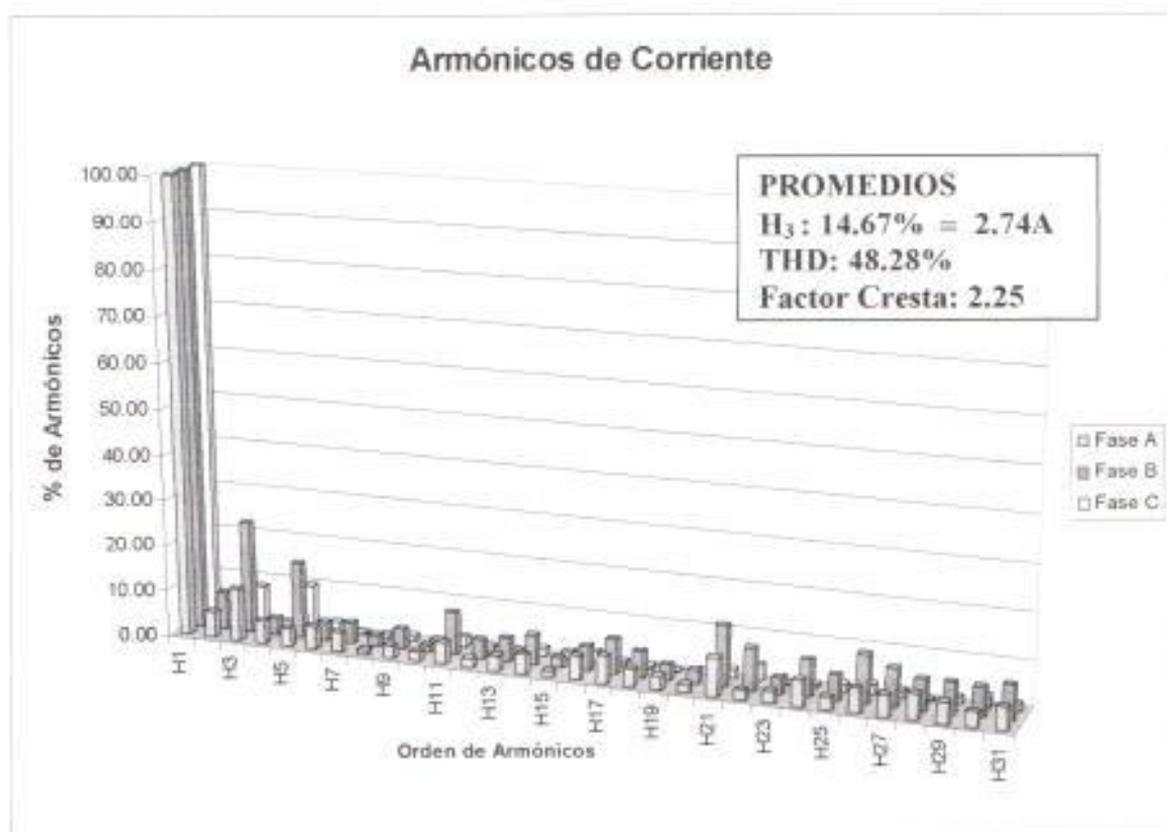


Figura A 3.4 Forma de onda y diagrama de barras Trafo. # 1

Fuente: Transformador # 2

### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

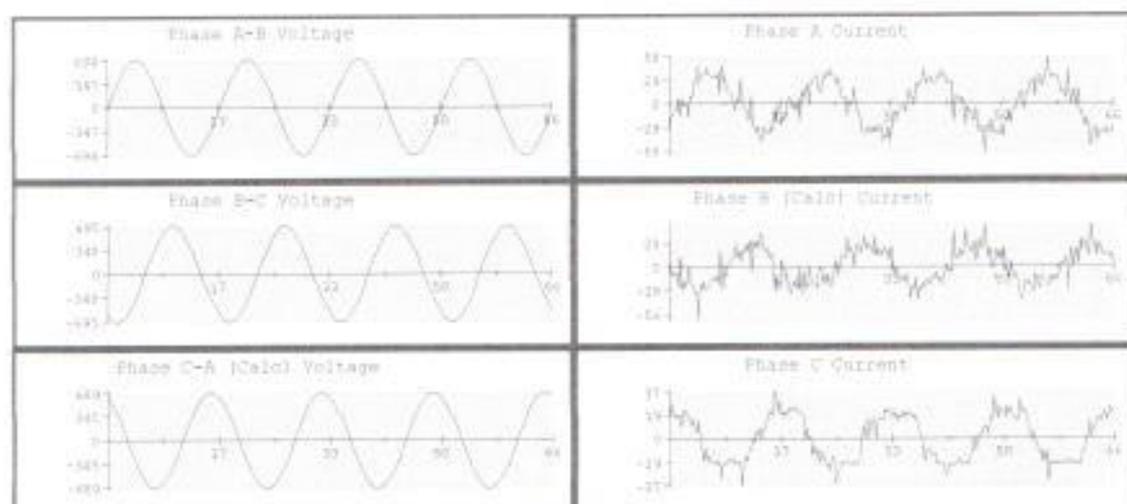
Armónicos Corriente(A)				% Armónico Corriente			
Armónico	FaseA	FaseB	FaseC	Armónico	FaseA	FaseB	FaseC
H1	17.95	18.65	17.32	H1	100.00	100.00	100.00
H2	1.37	0.56	1.02	H2	6.77	3.09	4.78
<b>H3</b>	<b>2.08</b>	<b>0.75</b>	<b>1.35</b>	<b>H3</b>	<b>11.59</b>	<b>4.02</b>	<b>7.79</b>
H4	1.05	0.79	0.26	H4	5.85	4.24	1.50
<b>H5</b>	<b>4.43</b>	<b>3.93</b>	<b>3.34</b>	<b>H5</b>	<b>24.68</b>	<b>21.07</b>	<b>19.28</b>
H6	1.67	0.6	1.42	H6	9.30	3.22	8.20
H7	0.66	1.13	0.7	H7	3.68	6.06	4.04
H8	0.58	0.51	0.35	H8	3.23	2.73	2.02
H9	0.88	1.08	0.23	H9	4.79	5.79	1.33
H10	0.94	1.05	0.91	H10	5.24	5.63	5.25
H11	0.88	0.97	0.9	H11	4.90	5.20	5.20
H12	0.64	0.5	0.15	H12	3.57	2.68	0.87
H13	0.5	0.92	0.9	H13	2.79	4.93	5.20
H14	0.22	0.38	0.54	H14	1.23	2.04	3.12
H15	0.95	1.32	0.38	H15	5.29	7.08	2.19
H16	0.47	0.41	0.07	H16	2.62	2.20	0.40
H17	0.86	0.93	0.71	H17	4.79	4.99	4.10
H18	0.37	1.02	0.69	H18	2.06	5.47	3.98
H19	0.48	0.75	0.44	H19	2.67	4.02	2.54
H20	1.33	1.13	0.28	H20	7.41	6.06	1.62
H21	0.4	0.31	0.7	H21	2.23	1.66	4.04
H22	0.83	1.34	0.52	H22	4.62	7.18	3.00
H23	1.45	1.55	0.27	H23	8.08	8.31	1.56
H24	0.6	1.06	0.46	H24	3.34	5.68	2.66
H25	0.35	0.42	0.34	H25	1.95	2.25	1.96
H26	0.8	0.92	0.12	H26	4.46	4.93	0.69
H27	0.57	0.4	0.32	H27	3.18	2.14	1.85
H28	0.52	0.7	0.24	H28	2.90	3.75	1.39
H29	0.93	1.12	0.45	H29	5.18	6.01	2.60
H30	0.55	0.92	0.37	H30	3.06	4.93	2.14
H31	1.23	2.16	0.94	H31	6.85	11.58	5.43

La medición nos indica que los armónicos de mayor magnitud son el tercero y el quinto esto es por la influencia de cargas no lineales tales como PC's, UPS's.

Fase A Current	Fase B (Calc) Current	Fase C Current
Fundamental: 26.09	Fundamental: 19.27	Fundamental: 13.52
RMS: 27.80	RMS: 22.14	RMS: 14.58
RMS-H: 9.60	RMS-H: 10.90	RMS-H: 5.43
Peak: 76.40	Peak: 67.51	Peak: 36.09
CF: 2.74	CF: 3.04	CF: 2.47
THD: 36.83	THD: 56.59	THD: 40.18

Tabla A 3.7 Parámetro de intensidad trafo # 2

## Forma de Onda y Diagrama de Barras del transformador # 2



## Armónicos de Corriente

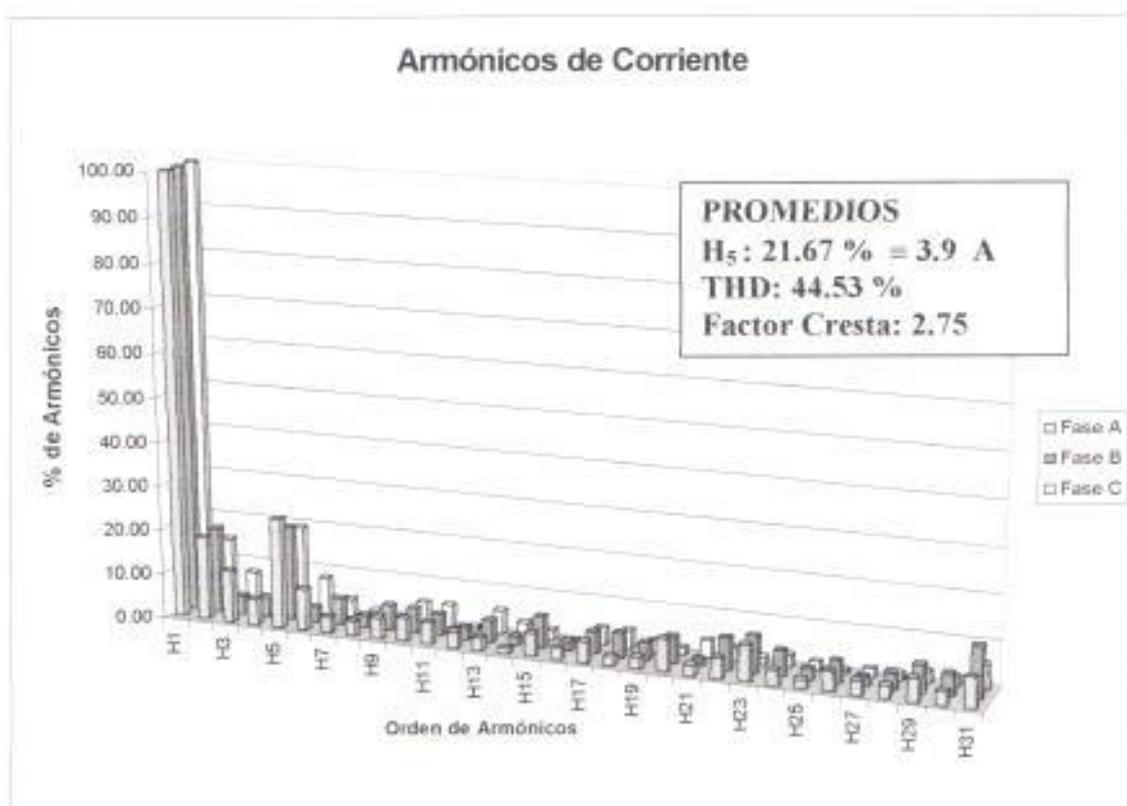


Figura A 3.5 Forma de onda y diagrama de barras trafo #2

Fuente: Transformador # 3 (alimenta UPS's )

### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	19.03	19.89	18.22	H1	100.00	100.00	100.00
H2	1.77	1.48	0.53	H2	9.30	7.44	2.91
<b>H3</b>	<b>2.63</b>	<b>2.28</b>	<b>0.53</b>	<b>H3</b>	<b>13.82</b>	<b>11.46</b>	<b>2.91</b>
H4	1.91	1.39	0.87	H4	10.04	6.99	4.77
<b>H5</b>	<b>4.72</b>	<b>5.16</b>	<b>3.38</b>	<b>H5</b>	<b>24.80</b>	<b>25.94</b>	<b>18.55</b>
H6	0.61	0.62	0.43	H6	3.21	3.12	2.36
H7	0.04	0.45	0.47	H7	0.21	2.26	2.58
H8	0.75	1.08	0.4	H8	3.94	5.43	2.20
H9	0.17	0.3	0.18	H9	0.89	1.51	0.88
H10	0.07	0.47	0.39	H10	0.37	2.36	2.14
H11	1.67	2.2	1.25	H11	8.78	11.06	6.86
H12	1.12	1.11	0.06	H12	5.89	5.58	0.33
H13	0.72	0.56	0.59	H13	3.78	2.82	3.24
H14	0.59	0.45	0.16	H14	3.10	2.26	0.88
H15	1.45	1.9	0.52	H15	7.62	9.55	2.85
H16	0.65	0.83	0.41	H16	3.42	4.17	2.25
H17	1.16	0.96	0.48	H17	6.10	4.93	2.63
H18	1.08	1.73	0.66	H18	5.69	8.70	3.62
H19	0.84	0.65	0.41	H19	4.41	3.27	2.25
H20	1.19	0.5	0.89	H20	6.25	2.51	3.79
H21	0.58	0.6	0.28	H21	3.05	3.02	1.54
H22	0.89	0.98	0.18	H22	4.66	4.93	0.99
H23	0.3	0.67	0.41	H23	1.58	3.37	2.25
H24	0.3	0.65	0.48	H24	1.58	3.27	2.63
H25	0.78	0.78	0.09	H25	4.10	3.92	0.49
H26	0.64	0.96	0.33	H26	3.36	4.83	1.81
H27	0.15	0.36	0.28	H27	0.79	1.81	1.54
H28	0.94	0.69	0.26	H28	4.94	3.47	1.43
H29	0.32	0.35	0.31	H29	1.68	1.76	1.70
H30	0.62	0.72	0.17	H30	3.26	3.62	0.93
H31	0.93	0.5	0.51	H31	4.89	2.51	2.80

La medición nos indica que los armónicos mas representativos son el tercero y el quinto, esto es por la causa de que el trafo alimenta a UPS's, PC's ( fuentes conmutadas).

Fase A Current	Fase B (Calc) Current	Phase C Current
Fundamental: 19.03	Fundamental: 19.88	Fundamental: 18.21
RMS: 24.07	RMS: 25.37	RMS: 21.98
RMS-H: 14.74	RMS-H: 15.75	RMS-H: 12.30
Peak: 64.20	Peak: 69.74	Peak: 54.86
CF: 2.66	CF: 2.74	CF: 2.49
THD: 77.45	THD: 79.21	THD: 67.51

Tabla A 3.8 Parámetro de intensidad Trafo #3

## Forma de Onda y Diagrama de Barras del Transformador # 3

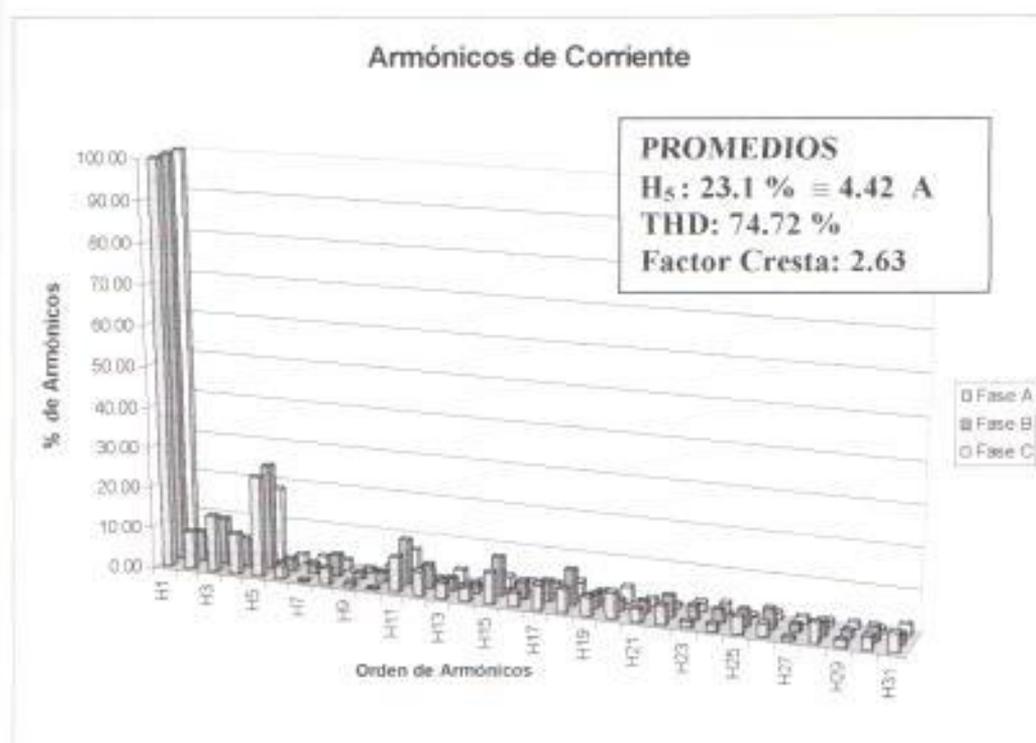
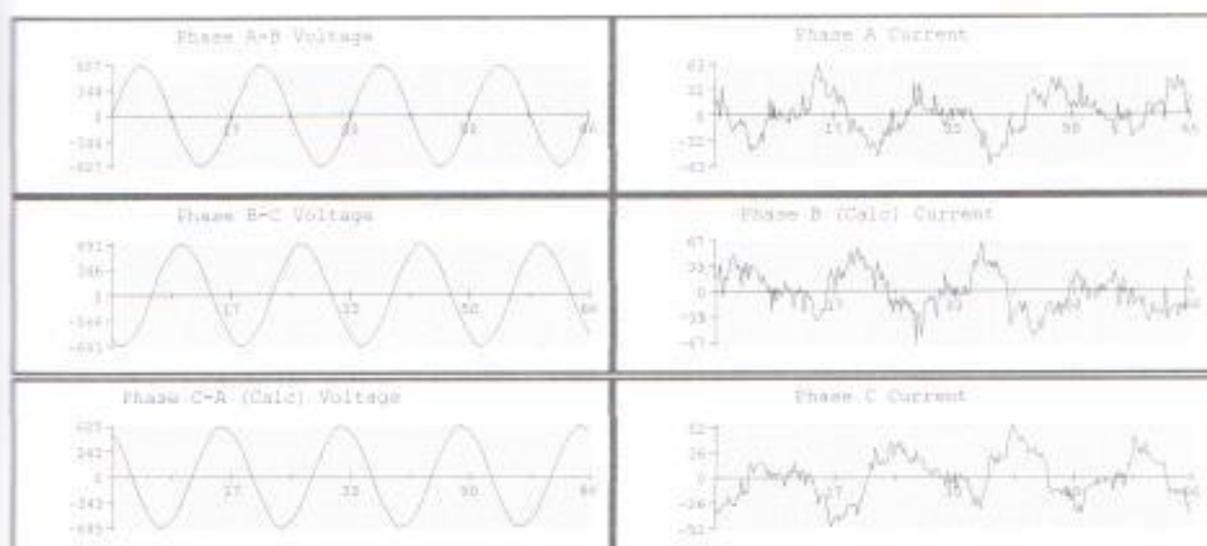


Figura A 3.6 Forma de onda y diagrama de barras Trafo #3

**Equipo: Banco de Transformadores Principal del Área.**  
**MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE**

Armónicos de Corriente				% Armónico Corriente			
Armónico	FaseA	FaseB	FaseC	Armónico	FaseA	FaseB	FaseC
H1	14.0	14.0	12.9	H1	100.0	100.0	100.0
H2	0.06	0.11	0.16	H2	0.43	0.78	1.23
H3	<b>0.22</b>	<b>0.16</b>	<b>0.1</b>	<b>H3</b>	<b>1.57</b>	<b>1.14</b>	<b>0.77</b>
H4	0.04	0.03	0.04	H4	0.28	0.21	0.31
H5	0.12	0.03	0.1	<b>H5</b>	<b>0.85</b>	<b>0.21</b>	<b>0.77</b>
H6	0.01	0.04	0.04	H6	0.07	0.28	0.31
H7	0.04	0.1	0.06	H7	0.28	0.71	0.46
H8	0.02	0.09	0.05	H8	0.14	0.64	0.39
H9	0.08	0.03	0.05	H9	0.57	0.21	0.39
H10	0.05	0.01	0.01	H10	0.36	0.07	0.08
H11	0.1	0.01	0.09	H11	0.75	0.11	0.65
H12	0.02	0.04	0.03	H12	0.14	0.28	0.23
H13	0.03	0.05	0.02	H13	0.21	0.36	0.15
H14	0.07	0.04	0.02	H14	0.50	0.28	0.15
H15	0.04	0.03	0.03	H15	0.28	0.21	0.23
H16	0.10	0.03	0.03	H16	0.75	0.21	0.23
H17	0.01	0.05	0.01	H17	0.07	0.36	0.08
H18	0.03	0.02	0.02	H18	0.21	0.14	0.15
H19	0.02	0.01	0.02	H19	0.14	0.07	0.15
H20	0.01	0.01	0.04	H20	0.07	0.07	0.31
H21	0.13	0.01	0.01	H21	0.93	0.07	0.08
H22	0.1	0.02	0.04	H22	0.71	0.14	0.31
H23	0.06	0.01	0.02	H23	0.43	0.07	0.15
H24	0.04	0.02	0.01	H24	0.28	0.14	0.08
H25	0.06	0.03	0.02	H25	0.43	0.21	0.15
H26	0.03	0.02	0.03	H26	0.21	0.14	0.23
H27	0.03	0.02	0.04	H27	0.21	0.14	0.31
H28	0.02	0.01	0.05	H28	0.14	0.07	0.39
H29	0.06	0.02	0.05	H29	0.43	0.14	0.39
H30	0.07	0.03	0.03	H30	0.50	0.21	0.23
H31	0.06	0	0.03	H31	0.43	0.00	0.23

Con esta medición esta claro que según las armónicas de mayor magnitud (3, 5) las cargas no lineales que predominan son las fuentes Conmutadas es decir UPS's, PC's y equipos electrónicos en general.

Fase A		Fase B		Fase C	
Fundamental:	14.04	Fundamental:	14.07	Fundamental:	12.95
RMS:	14.05	RMS:	14.08	RMS:	12.98
RMS-H:	0.67	RMS-H:	0.40	RMS-H:	0.47
Peak:	21.81	Peak:	20.74	Peak:	19.63
CF:	1.55	CF:	1.47	CF:	1.51
THD:	4.78	THD:	2.86	THD:	3.66

**Tabla A 3.9 Parámetro de intensidad del banco de Trafo.**

**MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE VOLTAJE EN EL  
BANCO DE TRANSFORMADORES**

Armónicos de Voltaje LN (V)				% de Armónicos de Voltaje LN			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	7570.54	7596.17	7585.47	H1	100.00	100.00	100.00
H2	3.61	3.33	2.42	H2	0.05	0.04	0.03
H3	17.46	7.67	22.4	H3	0.23	0.10	0.30
H4	0.34	2.07	3.49	H4	0.00	0.03	0.05
<b>H5</b>	<b>78.92</b>	<b>79.05</b>	<b>78.7</b>	<b>H5</b>	<b>1.04</b>	<b>1.04</b>	<b>1.04</b>
H6	3.05	0.94	0.71	H6	0.04	0.01	0.01
H7	64.98	68.44	62.12	H7	0.86	0.90	0.82
H8	2.48	0.77	0.59	H8	0.03	0.01	0.01
H9	17.28	10.32	13.99	H9	0.23	0.14	0.18
H10	2.21	2.69	2.03	H10	0.03	0.04	0.03
H11	22.4	16.09	16.3	H11	0.30	0.21	0.21
H12	1.73	2.87	0.62	H12	0.02	0.04	0.01
H13	13.87	17.54	15.13	H13	0.18	0.23	0.20
H14	1.1	0.74	0.44	H14	0.01	0.01	0.01
H15	0.17	1.2	2.6	H15	0.00	0.02	0.03
H16	1	1.79	1.47	H16	0.01	0.02	0.02
H17	1.48	4.56	3.07	H17	0.02	0.06	0.04
H18	1.88	0.82	0.45	H18	0.02	0.01	0.01
H19	5.09	3.37	2.96	H19	0.07	0.04	0.04
H20	1.17	0.41	1.99	H20	0.02	0.01	0.03
H21	3.14	0.34	1.75	H21	0.04	0.00	0.02
H22	2.99	1.87	1.15	H22	0.04	0.02	0.02
H23	0.5	1.06	1.37	H23	0.01	0.01	0.02
H24	0.18	1.47	1.57	H24	0.00	0.02	0.02
H25	0.94	1.12	0.5	H25	0.01	0.01	0.01
H26	0.79	1.58	0.69	H26	0.01	0.02	0.01
H27	1.05	1.2	1.31	H27	0.01	0.02	0.02
H28	1.73	1.27	0.89	H28	0.02	0.02	0.01
H29	1.57	0.62	0.29	H29	0.02	0.01	0.00
H30	1.28	1.4	0.76	H30	0.02	0.02	0.01
H31	0.57	0.86	1.09	H31	0.01	0.01	0.01

La medición indica que el armónico que predomina e influye en la tensión es el quinto debido a las cargas no lineales que alimenta.

Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental: 7570.54	Fundamental: 7596.16	Fundamental: 7585.46
RMS: 7571.33	RMS: 7596.95	RMS: 7586.22
RMS-H: 109.55	RMS-H: 109.13	RMS-H: 107.32
Peak: 10689.17	Peak: 10684.63	Peak: 10675.72
CF: 1.41	CF: 1.40	CF: 1.40
THD: 1.44	THD: 1.43	THD: 1.41

**Tabla A 3.10 Parámetro de tensión del Banco de trafo.**

## Forma de Onda y Diagramas de Barras del Banco de Transformadores

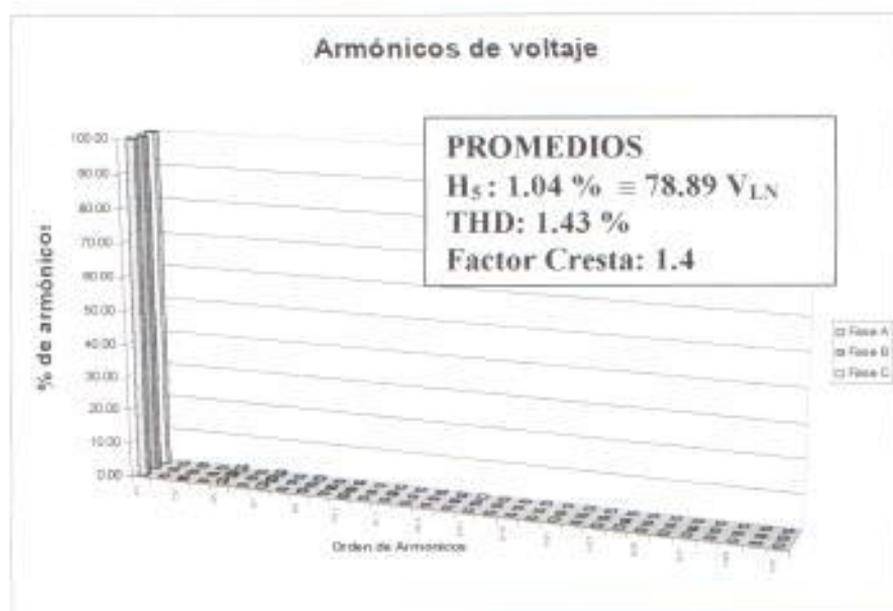
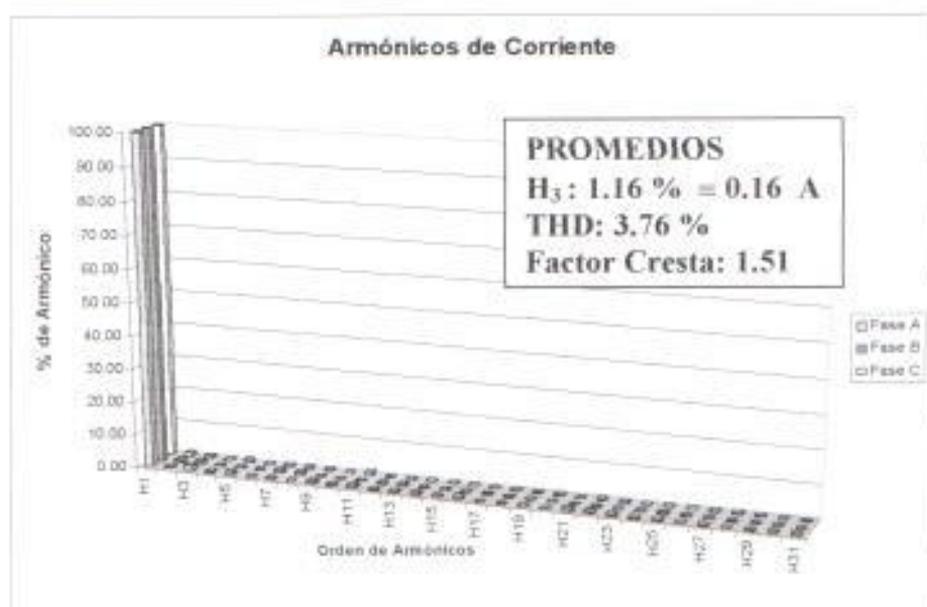
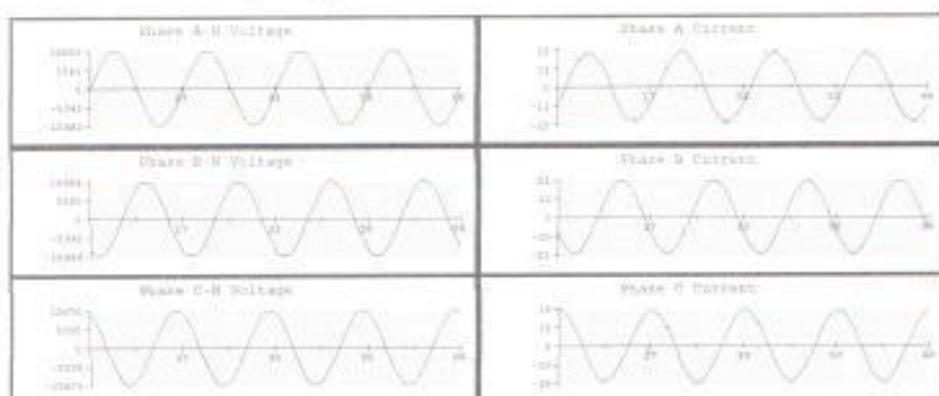


Figura A 3.7 Forma de onda y diagrama de barras Banco Trafo

## ÁREA DE SERVICIOS

Equipo: Banco de Capacitores

### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente				% Armónicos de			
Armónico	Fase	Fase	Fase	Armónico	Fase	Fase	Fase
H1	323.0	325.6	329.1	H1	100.0	100.0	100.0
H2	2.85	0.75	1.53	H2	0.88	0.23	0.46
H3	3.66	2.66	1.63	H3	1.13	0.82	0.50
H4	5.53	5.54	4.48	H4	1.71	1.70	1.36
H5	47.1	50.7	51.6	H5	14.5	15.5	15.6
H6	16.0	4.07	11.6	H6	4.96	1.25	3.53
<b>H7</b>	<b>85.9</b>	<b>81.3</b>	<b>85.8</b>	<b>H7</b>	<b>26.6</b>	<b>24.9</b>	<b>26.0</b>
H8	8.91	10.8	1.77	H8	2.76	3.32	0.54
H9	16.9	8.67	11.7	H9	5.24	2.66	3.56
H10	7.26	6.49	10.9	H10	2.25	1.99	3.32
H11	13.9	18.9	17.9	H11	4.31	5.81	5.44
H12	28.0	2.33	26.2	H12	8.69	0.72	7.98
H13	51.7	51.4	44.2	H13	16.0	15.8	13.4
H14	7.19	10.4	6.36	H14	2.23	3.22	1.93
H15	4.09	1.31	4.82	H15	1.27	0.40	1.46
H16	7.64	6.87	9.64	H16	2.36	2.11	2.93
H17	10.0	14.0	11.5	H17	3.11	4.32	3.52
H18	5.54	2.06	4.07	H18	1.71	0.63	1.24
H19	6.72	11.3	6.8	H19	2.08	3.49	2.07
H20	3.11	4.7	4.81	H20	0.96	1.44	1.46
H21	3.08	4.29	1.93	H21	0.95	1.32	0.59
H22	5.19	5.19	6.53	H22	1.61	1.59	1.98
H23	8.7	13.3	8.98	H23	2.69	4.10	2.73
H24	7.3	0.39	6.78	H24	2.26	0.12	2.06
H25	4.04	6.87	5.92	H25	1.25	2.11	1.80
H26	1.42	3.33	1.77	H26	0.44	1.02	0.54
H27	1.31	1.69	0.74	H27	0.41	0.52	0.22
H28	1.48	1.1	1.28	H28	0.46	0.34	0.39
H29	2.41	4.03	1.88	H29	0.75	1.24	0.57
H30	4.66	1.33	4.43	H30	1.44	0.41	1.35
H31	3.68	5.19	3.25	H31	1.14	1.59	0.99

	Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental:	323.05	325.61	329.11
RMS:	345.02	345.65	349.93
RMS-H:	121.15	115.98	118.91
Peak:	635.93	600.31	618.65
CF:	1.84	1.73	1.76
THD:	37.50	35.62	36.13

Tabla A 3.10 Parámetros de Intensidad del banco de capacitores (servicios)

## Forma de Onda y Diagrama de Barras en el Banco de Capacitores

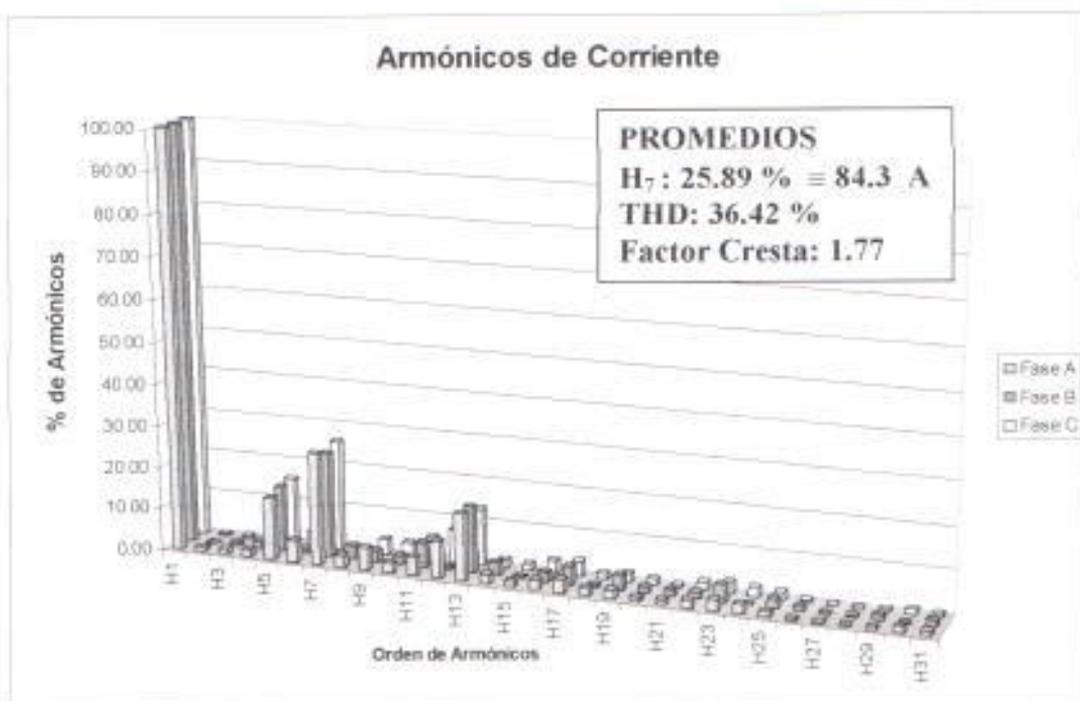
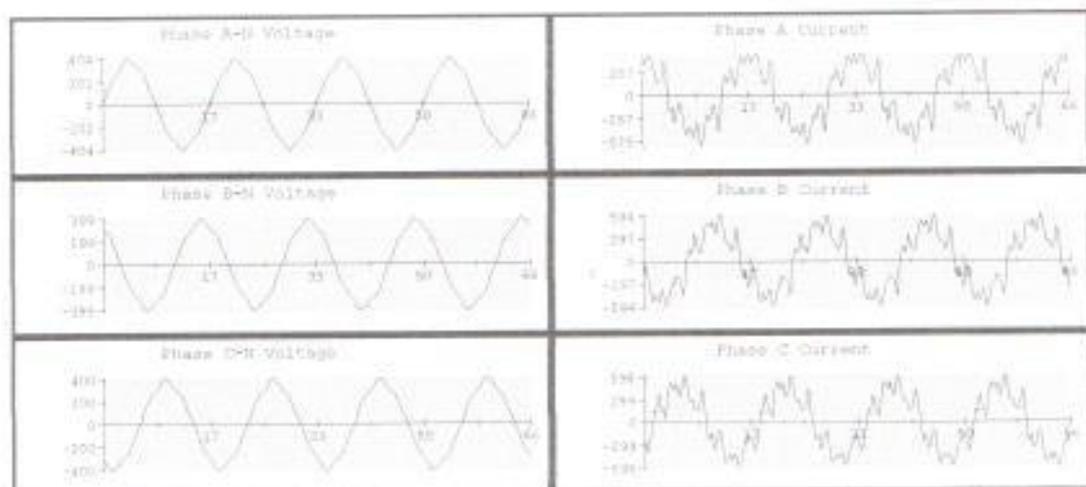


Figura A 3.8 Forma de Onda y Diagrama de Barras banco capac. servicios

**Equipo: Arrancadores de Estado Sólido ( Refrigeración )**

**MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE**

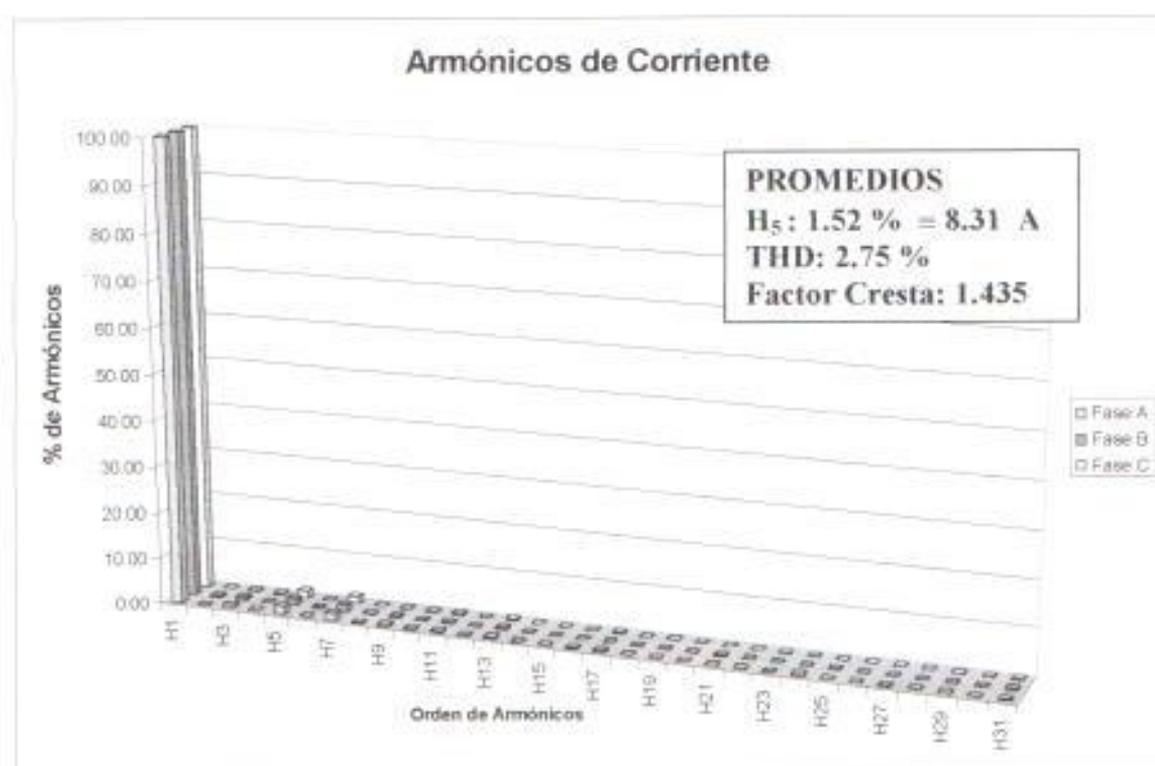
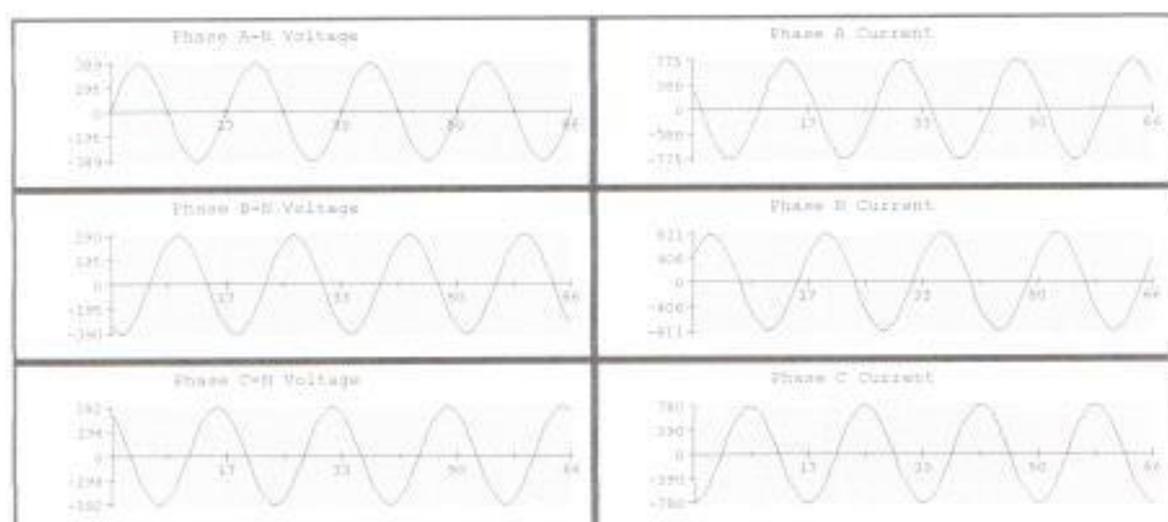
Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	534.36	559.17	542.23	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.51	0.58	0.7	H2	0.10	0.10	0.13
H3	3.84	3.42	1.3	H3	0.72	0.61	0.24
H4	0.92	0.69	0.88	H4	0.17	0.12	0.16
<b>H5</b>	<b>9.13</b>	<b>8.67</b>	<b>7.13</b>	<b>H5</b>	<b>1.71</b>	<b>1.55</b>	<b>1.31</b>
H6	0.49	0.99	0.95	H6	0.09	0.18	0.18
H7	8.14	8.67	8.6	H7	1.52	1.55	1.59
H8	0.69	0.4	0.42	H8	0.13	0.07	0.08
H9	1.82	2.08	1	H9	0.34	0.37	0.18
H10	0.86	0.48	0.36	H10	0.16	0.09	0.07
H11	1.31	1.38	1.58	H11	0.25	0.25	0.29
H12	0.72	0.56	0.58	H12	0.13	0.10	0.11
H13	2.48	2.53	2.34	H13	0.46	0.45	0.43
H14	0.92	0.27	0.63	H14	0.17	0.05	0.12
H15	0.31	0.13	0.09	H15	0.06	0.02	0.02
H16	0.48	0.11	0.3	H16	0.09	0.02	0.06
H17	2.05	0.99	1.14	H17	0.38	0.18	0.21
H18	0.52	0.24	0.13	H18	0.10	0.04	0.02
H19	0.69	0.49	0.84	H19	0.13	0.09	0.15
H20	0.79	0.17	0.24	H20	0.15	0.03	0.04
H21	0.74	0.51	0.25	H21	0.14	0.09	0.05
H22	0.71	0.18	0.05	H22	0.13	0.03	0.01
H23	0.53	0.12	0.15	H23	0.10	0.02	0.03
H24	1.37	0.15	0.3	H24	0.26	0.03	0.06
H25	0.2	0.13	0.34	H25	0.04	0.02	0.06
H26	0.35	0.27	0.26	H26	0.07	0.05	0.05
H27	0.62	0.34	0.37	H27	0.12	0.06	0.07
H28	0.96	0.01	0.53	H28	0.18	0.00	0.10
H29	0.69	0.62	0.4	H29	0.13	0.11	0.07
H30	0.28	0.16	0.54	H30	0.05	0.03	0.10
H31	1.37	1.92	1.94	H31	0.26	0.34	0.36

Estos equipos según la medición registrada, la armónica que mayor magnitud es la quinta.

**Tabla A 3.11**

Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental: 534.36	Fundamental: 559.16	Fundamental: 542.22
RMS: 534.61	RMS: 559.36	RMS: 542.40
RMS-H: 16.45	RMS-H: 14.91	RMS-H: 13.76
Peak: 778.14	Peak: 811.44	Peak: 780.83
CF: 1.45	CF: 1.45	CF: 1.43
THD: 3.07	THD: 2.66	THD: 2.53

## Forma de onda y diagrama de barras de los Arrancadores de Estado Sólido



**Figura A 3.9** Forma de Onda y Diagrama de Barras Arranc Estado Sólido

## Equipo: Transformador Principal de Servicios

### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	75.64	77.29	74.48	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.16	0.16	0.26	H2	0.21	0.21	0.35
H3	0.1	0.17	0.09	H3	0.13	0.22	0.12
H4	0.11	0.1	0.18	H4	0.15	0.13	0.24
<b>H5</b>	<b>0.49</b>	<b>0.47</b>	<b>0.5</b>	<b>H5</b>	<b>0.65</b>	<b>0.61</b>	<b>0.67</b>
H6	0.13	0.1	0.06	H6	0.17	0.13	0.08
H7	0.34	0.32	0.25	H7	0.45	0.41	0.34
H8	0.06	0.04	0.04	H8	0.08	0.05	0.05
H9	0.12	0.02	0.1	H9	0.16	0.03	0.13
H10	0.06	0.03	0.03	H10	0.08	0.04	0.04
<b>H11</b>	<b>0.74</b>	<b>0.54</b>	<b>0.68</b>	<b>H11</b>	<b>0.98</b>	<b>0.70</b>	<b>0.91</b>
H12	0.07	0.02	0.02	H12	0.09	0.03	0.03
H13	0.15	0.14	0.23	H13	0.20	0.18	0.31
H14	0.04	0.03	0.02	H14	0.05	0.04	0.03
H15	0.03	0.03	0.08	H15	0.04	0.04	0.11
H16	0.02	0.03	0.03	H16	0.03	0.04	0.04
H17	0.26	0.1	0.19	H17	0.34	0.13	0.26
H18	0.01	0.02	0.03	H18	0.01	0.03	0.04
H19	0.07	0.07	0.06	H19	0.09	0.09	0.08
H20	0.08	0.02	0.02	H20	0.11	0.03	0.03
H21	0.04	0.01	0.05	H21	0.05	0.01	0.07
H22	0.09	0.05	0.01	H22	0.12	0.06	0.01
H23	0.06	0.07	0.01	H23	0.08	0.09	0.01
H24	0.03	0.02	0.03	H24	0.04	0.03	0.04
H25	0.04	0.03	0.03	H25	0.05	0.04	0.04
H26	0.03	0.01	0.02	H26	0.04	0.01	0.03
H27	0.04	0.01	0.09	H27	0.05	0.01	0.12
H28	0.06	0.02	0.01	H28	0.08	0.03	0.01
H29	0.09	0.02	0.01	H29	0.12	0.03	0.01
H30	0.04	0.02	0.03	H30	0.05	0.03	0.04
H31	0.09	0.01	0.03	H31	0.12	0.01	0.04

La medición indica que los armónicos de mayor magnitud son el onceavo y el quinto, esto se da principalmente por los arrancadores de estado sólido que son la principal carga no lineal.

Fase A		Fase B		Fase C	
Fundamental:	75.64	Fundamental:	77.29	Fundamental:	74.47
RMS:	75.65	RMS:	77.30	RMS:	74.48
RMS-H:	1.39	RMS-H:	1.13	RMS-H:	1.26
Peak:	108.80	Peak:	110.07	Peak:	106.33
CF:	1.43	CF:	1.42	CF:	1.42
THD:	1.83	THD:	1.46	THD:	1.69

**Tabla A 3.12** Parámetros de Intensidad Transformador Principal (servicios)

## MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE VOLTAJE

Armónicos de Voltaje LN (V)				% de Armónicos de Voltaje LN			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	7588.54	7598.63	7598.79	H1	100.00	100.00	100.00
H2	3.21	1.56	3.54	H2	0.04	0.02	0.05
H3	18.09	9.16	21.74	H3	0.24	0.12	0.29
H4	0.46	2.58	2.93	H4	0.01	0.03	0.04
<b>H5</b>	<b>81.58</b>	<b>83.96</b>	<b>80.69</b>	<b>H5</b>	<b>1.08</b>	<b>1.10</b>	<b>1.06</b>
H6	3.28	2.18	0.34	H6	0.04	0.03	0.00
H7	63.73	69.68	62.51	H7	0.84	0.92	0.82
H8	2.8	0.56	2.14	H8	0.04	0.01	0.03
H9	15.16	13.36	12.97	H9	0.20	0.18	0.17
H10	1.14	0.68	2.13	H10	0.02	0.01	0.03
H11	21.91	22.38	18.45	H11	0.29	0.29	0.24
H12	0.91	2.11	0.35	H12	0.01	0.03	0.00
H13	16.26	20.47	15.73	H13	0.21	0.27	0.21
H14	1.4	1.42	1.63	H14	0.02	0.02	0.02
H15	1.37	1.28	3.99	H15	0.02	0.02	0.05
H16	2.51	1.38	0.5	H16	0.03	0.02	0.01
H17	5.46	0.52	7.18	H17	0.07	0.01	0.09
H18	0.21	1.43	0.75	H18	0.00	0.02	0.01
H19	5.57	4.31	4.46	H19	0.07	0.06	0.06
H20	2.67	0.91	1.12	H20	0.04	0.01	0.01
H21	0.43	0.76	0.87	H21	0.01	0.01	0.01
H22	0.48	1.46	1.05	H22	0.01	0.02	0.01
H23	1.17	0.64	2.2	H23	0.02	0.01	0.03
H24	0.82	0.9	0.47	H24	0.01	0.01	0.01
H25	1.33	1.64	0.47	H25	0.02	0.02	0.01
H26	0.56	1.57	2.27	H26	0.01	0.02	0.03
H27	1.28	1.19	0.79	H27	0.02	0.02	0.01
H28	0.12	1.31	0.47	H28	0.00	0.02	0.01
H29	1.35	1.61	0.69	H29	0.02	0.02	0.01
H30	1.81	1.11	0.73	H30	0.02	0.01	0.01
H31	0.22	0.92	1.04	H31	0.00	0.01	0.01

En la medición se puede apreciar que el armónico predominante es el quinto, esto es por el armónico de corriente (quinto) que se genera en esta área.

Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental: 7588.54	Fundamental: 7598.63	Fundamental: 7598.78
RMS: 7589.39	RMS: 7599.54	RMS: 7599.61
RMS-H: 113.50	RMS-H: 118.02	RMS-H: 112.03
Peak: 10734.82	Peak: 10739.00	Peak: 10734.86
CF: 1.41	CF: 1.41	CF: 1.41
THD: 1.49	THD: 1.55	THD: 1.47

Tabla A 3.13 Parámetros de Tensión Transformador Principal (servicios)

## Forma de Onda y Diagramas de Barras del Transformador Principal

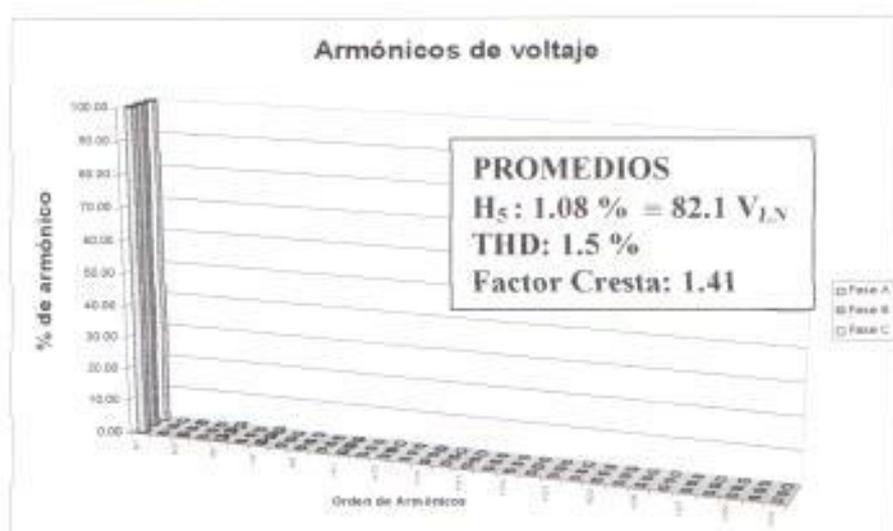
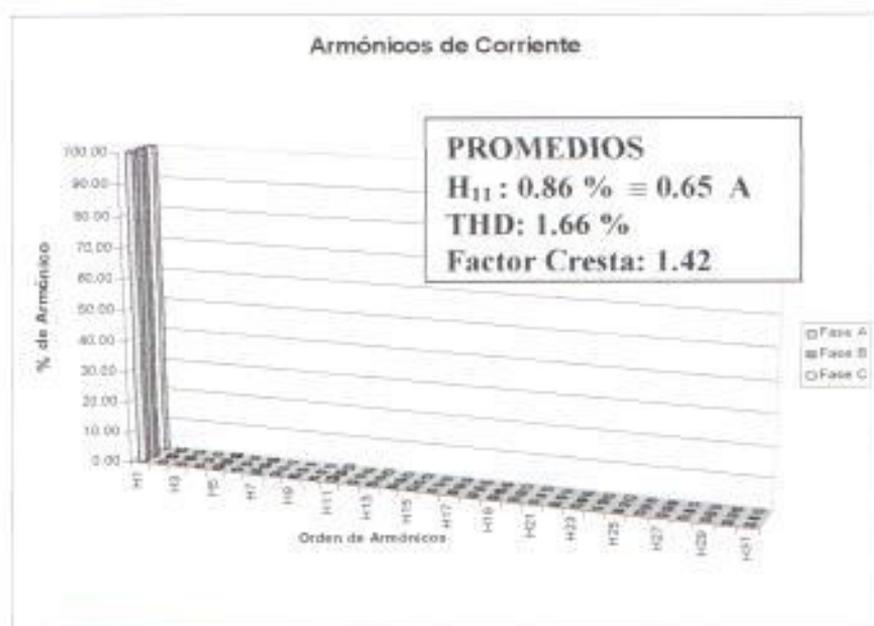
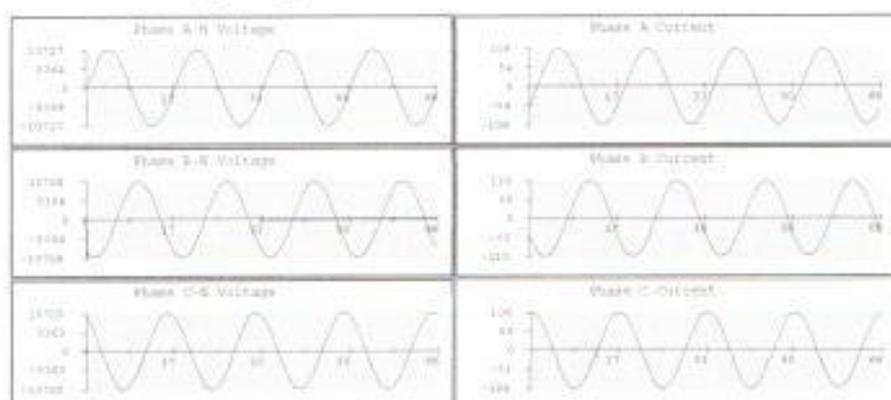


Figura A 3.10 Forma de Onda y Diagrama de Barras Trafo Principal servicios

## ÁREA DE ENVASES

Equipo: Variadores de frecuencia Línea 3

### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	345.6	351.23	349.79	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.83	0.09	0.36	H2	0.24	0.03	0.10
H3	4.64	4.72	1.37	H3	1.34	1.34	0.39
H4	0.71	0.4	0.6	H4	0.21	0.11	0.17
<b>H5</b>	<b>16.61</b>	<b>19.13</b>	<b>14.59</b>	<b>H5</b>	<b>4.81</b>	<b>5.45</b>	<b>4.17</b>
H6	0.46	0.32	0.37	H6	0.13	0.09	0.11
<b>H7</b>	<b>12.1</b>	<b>10.62</b>	<b>12.5</b>	<b>H7</b>	<b>3.50</b>	<b>3.02</b>	<b>3.57</b>
H8	0.67	0.26	0.7	H8	0.19	0.07	0.20
H9	2.83	1.98	0.78	H9	0.82	0.56	0.22
H10	0.29	0.12	0.39	H10	0.08	0.03	0.11
H11	4.14	3.57	3.34	H11	1.20	1.02	0.95
H12	0.57	0.27	0.08	H12	0.16	0.08	0.02
H13	5.27	6.22	6.26	H13	1.52	1.77	1.79
H14	0.36	0.22	0.53	H14	0.10	0.06	0.15
H15	0.46	1.18	0.5	H15	0.13	0.34	0.14
H16	0.6	0.33	0.61	H16	0.17	0.09	0.17
H17	5.02	5.31	5.04	H17	1.45	1.51	1.44
H18	0.52	0.45	0.69	H18	0.15	0.13	0.20
H19	3.03	3.67	3.28	H19	0.88	1.04	0.94
H20	0.61	0.25	0.28	H20	0.18	0.07	0.08
H21	1.52	0.52	0.77	H21	0.44	0.15	0.22
H22	1.2	0.36	0.37	H22	0.35	0.10	0.11
H23	1.35	0.36	0.93	H23	0.39	0.10	0.27
H24	0.78	0.24	0.16	H24	0.23	0.07	0.05
H25	1.39	1.24	1.31	H25	0.40	0.35	0.37
H26	0.3	0.03	0.65	H26	0.09	0.01	0.19
H27	1.1	0.86	0.71	H27	0.32	0.24	0.20
H28	0.25	0.4	0.6	H28	0.07	0.11	0.17
H29	1.17	0.48	1.01	H29	0.34	0.14	0.29
H30	0.99	0.32	0.78	H30	0.29	0.09	0.22
H31	0.27	0.93	1.6	H31	0.08	0.26	0.46

En esta área se aprecia que los armónicos en consideración son el quinto y séptimo, tal como se lo estipulo anteriormente, en lo concerniente a variadores de frecuencia.

Fase A Current		Fase B Current		Fase C Current	
Fundamental:	345.59	Fundamental:	351.23	Fundamental:	349.79
RMS:	346.47	RMS:	352.10	RMS:	350.49
RMS-H:	24.60	RMS-H:	24.79	RMS-H:	22.11
Peak:	526.40	Peak:	529.12	Peak:	526.00
CF:	1.51	CF:	1.50	CF:	1.50
THD:	7.11	THD:	7.05	THD:	6.32

**Tabla A 3.14** Parámetros de Intensidad Varid de frecuencia Línea 3 (envases)

## MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE VOLTAJE

Armónicos de Voltaje ( $V_{Ln}$ )				% de Armónicos de Voltaje			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	264.31	264.95	264.12	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.6	0.54	0.66	H2	0.23	0.20	0.25
H3	0.75	0.42	0.51	H3	0.28	0.16	0.19
H4	0.51	0.5	0.52	H4	0.19	0.19	0.20
H5	1.67	1.23	1.44	H5	0.63	0.46	0.55
H6	0.94	0.86	0.85	H6	0.36	0.32	0.32
H7	<b>7.94</b>	<b>8.81</b>	<b>8.65</b>	H7	<b>3.00</b>	<b>3.33</b>	<b>3.28</b>
H8	0.65	0.6	0.6	H8	0.25	0.23	0.23
H9	0.42	1.26	0.49	H9	0.16	0.48	0.19
H10	0.82	0.7	0.89	H10	0.31	0.26	0.34
H11	1.32	1.75	0.39	H11	0.50	0.66	0.15
H12	0.67	0.55	0.65	H12	0.25	0.21	0.25
H13	0.66	1.18	0.04	H13	0.25	0.45	0.02
H14	0.56	0.48	0.55	H14	0.21	0.18	0.21
H15	0.2	0.24	0.36	H15	0.08	0.09	0.14
H16	0.24	0.21	0.29	H16	0.09	0.08	0.11
H17	0.67	0.7	0.85	H17	0.25	0.26	0.32
H18	0.59	0.53	0.59	H18	0.22	0.20	0.22
H19	0.57	0.28	0.66	H19	0.22	0.11	0.25
H20	0.39	0.44	0.33	H20	0.15	0.17	0.12
H21	0.52	0.56	0.77	H21	0.20	0.21	0.29
H22	0.56	0.53	0.54	H22	0.21	0.20	0.20
H23	0.33	0.1	0.14	H23	0.12	0.04	0.05
H24	0.4	0.49	0.42	H24	0.15	0.18	0.16
H25	0.17	0.17	0.42	H25	0.06	0.06	0.16
H26	0.53	0.44	0.47	H26	0.20	0.17	0.18
H27	0.17	0.21	0.23	H27	0.06	0.08	0.09
H28	0.26	0.24	0.29	H28	0.10	0.09	0.11
H29	0.76	1.27	1	H29	0.29	0.48	0.38
H30	0.72	0.77	0.65	H30	0.27	0.29	0.25
H31	0.58	0.7	0.55	H31	0.22	0.26	0.21

El armónico de tensión que predomina es el séptimo, lo que quiere decir que el armónico que más incide en corriente es el del mismo orden.

Fase A-N Voltage		Fase B-N Voltage		Fase C-N Voltage	
Fundamental:	264.30	Fundamental:	264.95	Fundamental:	264.12
RMS:	264.50	RMS:	265.17	RMS:	264.33
RMS-H:	10.10	RMS-H:	10.93	RMS-H:	10.57
Peak:	394.00	Peak:	401.27	Peak:	399.64
CF:	1.48	CF:	1.51	CF:	1.51
THD:	3.82	THD:	4.12	THD:	4.00

Tabla A 3.15 Parámetros de Tensión Varid de frecuencia Línea 3 (servicios)

### Forma de Onda y Diagrama de Barras de la Línea 3

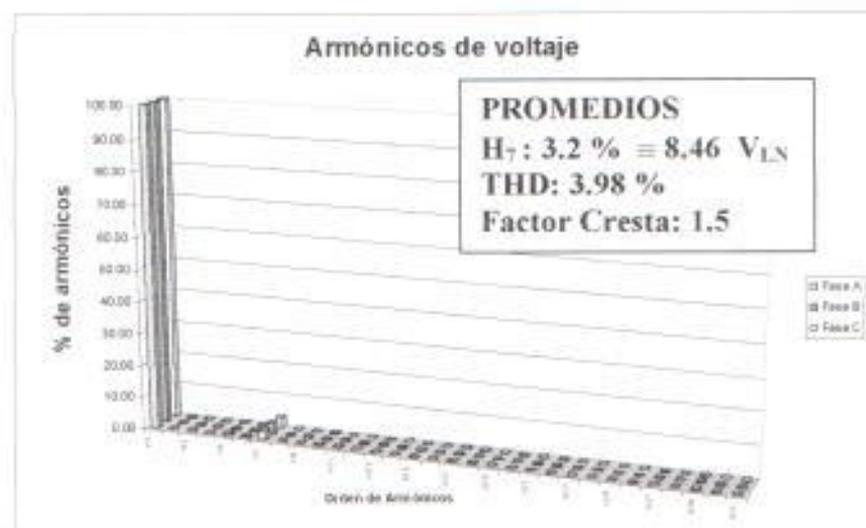
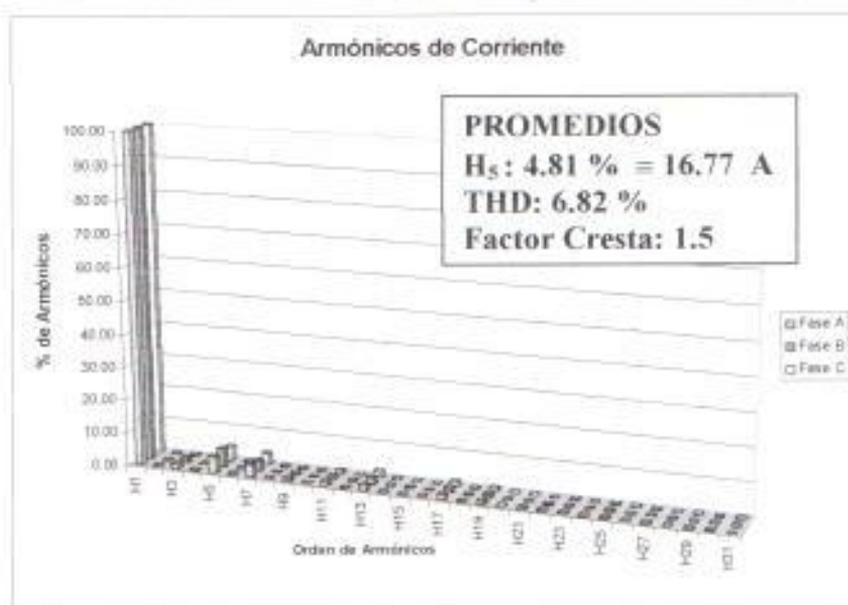
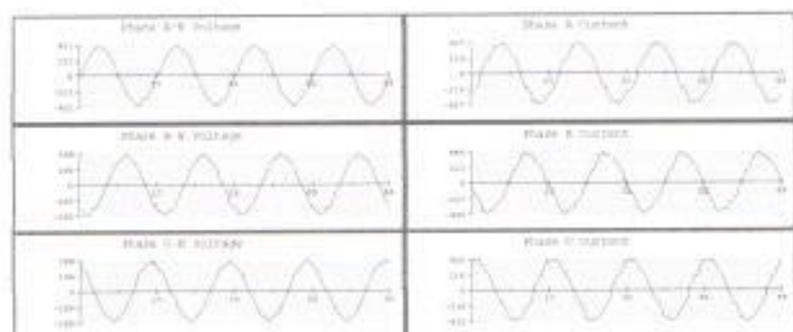


Figura A 3.11 Forma de Onda y Diagrama de Barras Vari.frec. Línea 3 envase

Equipo: Variadores de frecuencia ( Super Línea)

MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	758.81	766.43	755.5	H1	100.00	100.00	100.00
H2	2.02	1.48	1.41	H2	0.27	0.19	0.19
H3	12.73	6.09	7.86	H3	1.68	0.79	1.04
H4	1.53	0.55	0.59	H4	0.20	0.07	0.08
<b>H5</b>	<b>43.72</b>	<b>47.76</b>	<b>44.67</b>	<b>H5</b>	<b>5.76</b>	<b>6.23</b>	<b>5.91</b>
H6	1.56	0.69	1.03	H6	0.21	0.09	0.14
H7	6.97	1.72	5.28	H7	0.92	0.22	0.70
H8	0.24	1.4	1.44	H8	0.03	0.18	0.19
H9	5.27	3.25	4.01	H9	0.69	0.42	0.53
H10	1.13	1.17	1.28	H10	0.15	0.15	0.17
<b>H11</b>	<b>23.49</b>	<b>19.63</b>	<b>23.12</b>	<b>H11</b>	<b>3.10</b>	<b>2.56</b>	<b>3.06</b>
H12	0.03	0.65	1.21	H12	0.00	0.08	0.16
<b>H13</b>	<b>14.68</b>	<b>13.16</b>	<b>13.68</b>	<b>H13</b>	<b>1.92</b>	<b>1.72</b>	<b>1.81</b>
H14	0.57	0.25	0.23	H14	0.08	0.03	0.03
H15	2.17	1.23	2.14	H15	0.29	0.16	0.28
H16	0.96	0.66	0.6	H16	0.13	0.09	0.08
H17	2.32	2.05	1.57	H17	0.31	0.27	0.21
H18	0.96	0.2	0.11	H18	0.13	0.03	0.01
H19	3.38	3.72	2.07	H19	0.45	0.49	0.27
H20	0.18	0.41	0.48	H20	0.02	0.05	0.06
H21	1.54	1.17	1.47	H21	0.20	0.15	0.19
H22	0.32	0.53	0.22	H22	0.04	0.07	0.03
H23	2.86	1.91	1.51	H23	0.38	0.25	0.20
H24	0.87	0.18	0.32	H24	0.11	0.02	0.04
H25	1.15	0.51	1.02	H25	0.15	0.07	0.14
H26	0.43	0.34	0.4	H26	0.06	0.04	0.05
H27	1.8	1.12	1.76	H27	0.24	0.15	0.23
H28	0.41	0.32	0.14	H28	0.05	0.04	0.02
H29	1.2	0.84	1.3	H29	0.16	0.11	0.17
H30	1.06	0.32	0.24	H30	0.14	0.04	0.03
H31	1.02	1.72	1.71	H31	0.13	0.22	0.23

Los Armónicos que predominan según la medición realizada son el quinto, treceavo y onceavo en su orden por magnitud.

Tabla A 3.16 Parámetros de corriente del Varid de frecuencia Super línea

Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental: 758.80	Fundamental: 766.43	Fundamental: 755.49
RMS: 760.80	RMS: 768.36	RMS: 757.41
RMS-H: 55.05	RMS-H: 54.40	RMS-H: 53.87
Peak: 1128.71	Peak: 1166.14	Peak: 1143.87
CF: 1.48	CF: 1.51	CF: 1.51
THD: 7.25	THD: 7.09	THD: 7.13

## MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE VOLTAJE

Armónicos de Voltaje LN (V)				% de Armónicos de Voltaje LN			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	263.18	262.62	261.75	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.49	0.49	0.54	H2	0.19	0.19	0.21
H3	0.26	0.66	0.08	H3	0.10	0.25	0.03
H4	0.27	0.13	0.18	H4	0.10	0.05	0.07
<b>H5</b>	<b>5.42</b>	<b>4.66</b>	<b>4.05</b>	<b>H5</b>	<b>2.06</b>	<b>1.77</b>	<b>1.55</b>
H6	0.11	0.11	0.47	H6	0.04	0.04	0.18
<b>H7</b>	<b>7.54</b>	<b>7.68</b>	<b>7.89</b>	<b>H7</b>	<b>2.86</b>	<b>2.92</b>	<b>3.01</b>
H8	0.38	0.15	0.39	H8	0.14	0.06	0.15
H9	0.81	0.98	0.39	H9	0.31	0.37	0.15
H10	0.58	0.53	0.51	H10	0.22	0.20	0.19
H11	1.34	1.75	0.85	H11	0.51	0.67	0.32
H12	0.45	0.25	0.54	H12	0.17	0.10	0.21
H13	1.03	1.42	0.46	H13	0.39	0.54	0.18
H14	0.33	0.18	0.23	H14	0.13	0.07	0.09
H15	0.19	0.39	0.49	H15	0.07	0.15	0.19
H16	0.16	0.34	0.1	H16	0.06	0.13	0.04
H17	1.16	1.12	1.45	H17	0.44	0.43	0.55
H18	0.73	0.67	0.68	H18	0.28	0.26	0.26
H19	0.26	0.45	0.31	H19	0.10	0.17	0.12
H20	0.07	0.21	0.11	H20	0.03	0.08	0.04
H21	0.19	0.23	0.47	H21	0.07	0.09	0.18
H22	0.46	0.41	0.47	H22	0.17	0.16	0.18
H23	0.67	0.76	1.07	H23	0.25	0.29	0.41
H24	0.28	0.34	0.18	H24	0.11	0.13	0.07
H25	0.17	0.13	0.27	H25	0.06	0.05	0.10
H26	0.42	0.27	0.26	H26	0.16	0.10	0.10
H27	0.52	0.2	0.37	H27	0.20	0.08	0.14
H28	0.59	0.44	0.74	H28	0.22	0.17	0.28
H29	0.36	0.32	0.35	H29	0.14	0.12	0.13
H30	1.22	1.38	1.21	H30	0.46	0.53	0.46
H31	0.72	0.28	0.67	H31	0.27	0.11	0.26

El armónico de tensión que predomina es el séptimo y quinto en orden de magnitud, ya que las mayores cargas no lineales son los variadores de frecuencia.

Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental: 263.17	Fundamental: 262.62	Fundamental: 261.74
RMS: 263.41	RMS: 262.84	RMS: 261.96
RMS-H: 11.07	RMS-H: 10.85	RMS-H: 10.63
Peak: 403.67	Peak: 405.23	Peak: 391.82
CF: 1.53	CF: 1.54	CF: 1.49
THD: 4.20	THD: 4.13	THD: 4.06

Tabla A 3.17 Parámetros de Tensión del Varid de frecuencia Super línea

## Forma de Onda y Diagrama de barras de Super Linea

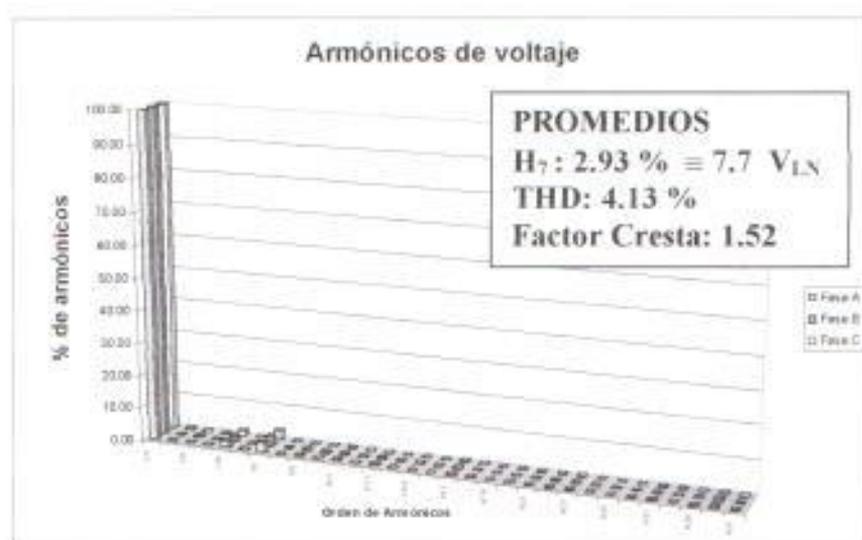
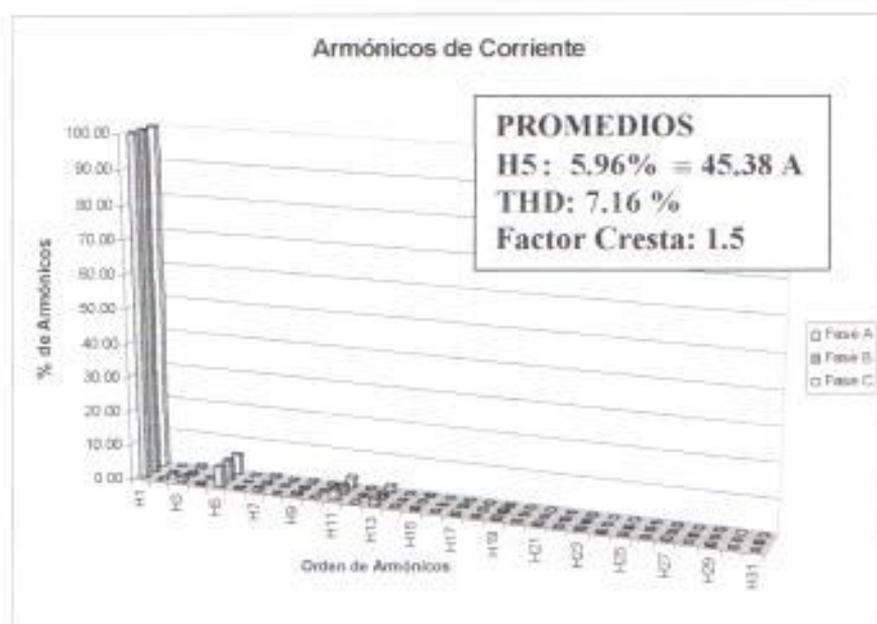
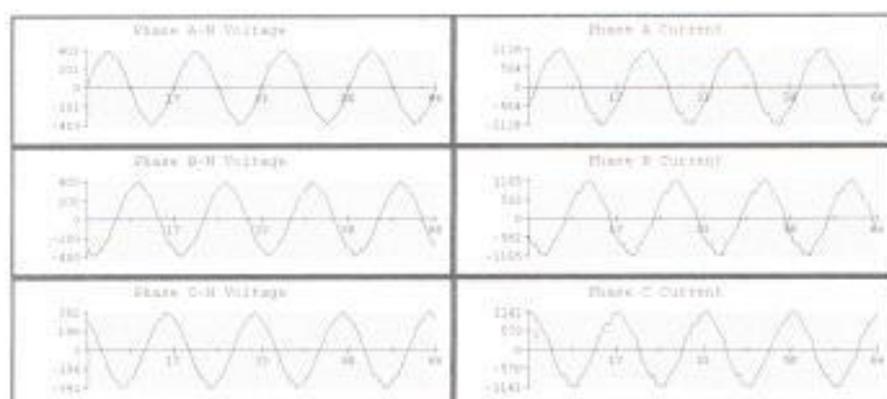


Figura A 3.12 Forma de Onda y Diagrama de Barras Vari.frec Sup.Linea enva

Equipo: Banco de Capacitores

MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

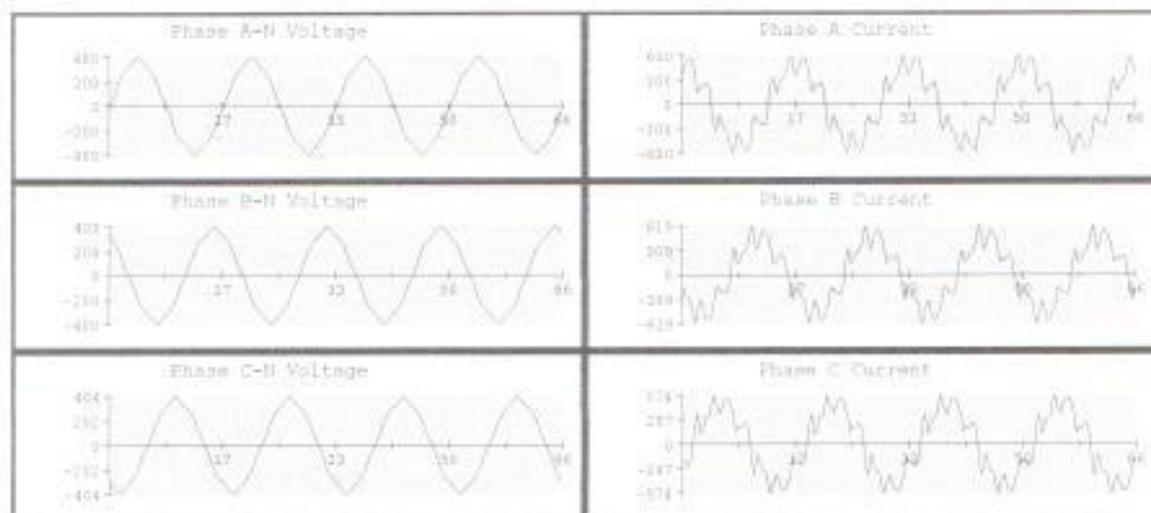
Armónicos de Corriente				% Armónico Corriente			
Armónico	FaseA	FaseB	FaseC	Armónico	FaseA	FaseB	FaseC
H1	348.19	340.05	341.2	H1	100.0	100.0	100.0
H2	0.33	0.24	0.3	H2	0.09	0.07	0.09
H3	1.23	0.93	1.78	H3	0.35	0.27	0.52
H4	0.73	0.74	0.42	H4	0.21	0.22	0.12
H5	22.1	23.3	23.3	H5	6.37	6.86	6.85
H6	2.14	0.68	1.05	H6	0.61	0.20	0.31
<b>H7</b>	<b>89.7</b>	<b>85.2</b>	<b>84.2</b>	<b>H7</b>	<b>25.7</b>	<b>25.0</b>	<b>24.6</b>
H8	1.42	0.76	0.69	H8	0.41	0.22	0.20
H9	3.97	8.01	7.05	H9	1.14	2.36	2.07
H10	0.62	1.21	0.02	H10	0.18	0.36	0.01
<b>H11</b>	<b>20.6</b>	<b>27.2</b>	<b>28.5</b>	<b>H11</b>	<b>5.94</b>	<b>8.00</b>	<b>8.35</b>
H12	1.4	1.17	1.44	H12	0.40	0.34	0.42
<b>H13</b>	<b>33.6</b>	<b>33.7</b>	<b>36.9</b>	<b>H13</b>	<b>9.66</b>	<b>9.93</b>	<b>10.8</b>
H14	0.18	0.6	0.2	H14	0.05	0.18	0.06
H15	2.62	2.35	4.33	H15	0.75	0.69	1.27
H16	1.27	0.8	0.71	H16	0.36	0.24	0.21
H17	7.03	3.42	6.91	H17	2.02	1.01	2.02
H18	1.34	1.05	0.81	H18	0.38	0.31	0.24
H19	6.34	10.1	6.7	H19	1.82	2.98	1.96
H20	0.22	0.24	0.46	H20	0.06	0.07	0.13
H21	1.35	2.54	1.25	H21	0.39	0.75	0.37
H22	0.34	0.23	0.19	H22	0.10	0.07	0.06
H23	4.26	4.34	3.9	H23	1.22	1.28	1.14
H24	0.64	0.39	0.27	H24	0.18	0.11	0.08
H25	1.72	1.65	0.51	H25	0.49	0.49	0.15
H26	0.89	0.34	0.7	H26	0.26	0.10	0.21
H27	1.24	0.92	0.44	H27	0.36	0.27	0.13
H28	0.14	0.32	0.49	H28	0.04	0.09	0.14
H29	2.27	1	2.34	H29	0.65	0.29	0.69
H30	0.49	0.35	0.55	H30	0.14	0.10	0.16
H31	2.47	1.52	0.49	H31	0.71	0.45	0.14

En la medición se puede apreciar que el armónico de mayor magnitud que esta percibiendo el banco de capacitores es el séptimo.

	Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental:	348.18	340.05	341.29
RMS:	362.69	354.36	355.69
RMS-H:	101.53	99.70	100.20
Peak:	608.69	621.60	576.67
CF:	1.67	1.75	1.62
THD:	29.16	29.32	29.36

Tabla A 3.18 Parámetros de corriente del Banco de capacitores (envases)

## Forma de Onda y Diagrama de Barras del Banco de Capacitores



### Armónicos de Corriente

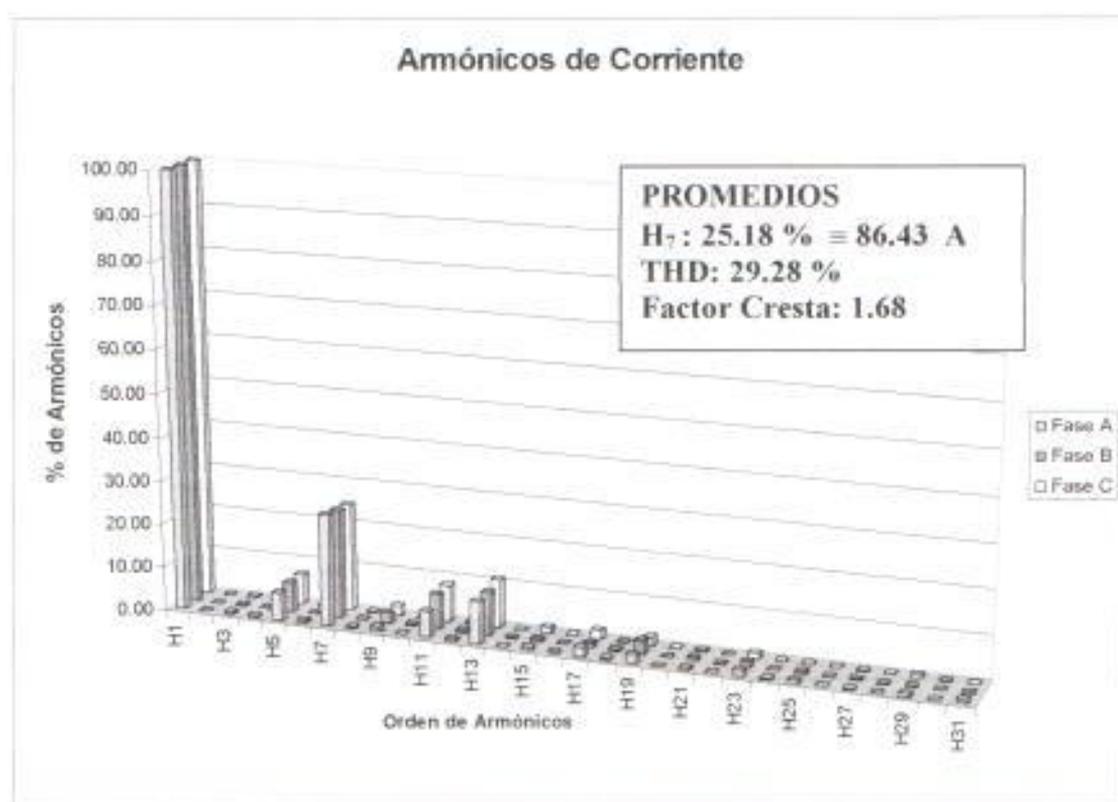


Figura A 3.13 Forma de Onda y Diagrama de Barras Banco Capacitor envases

**Equipo: Celdas de Alta Tensión (alimentación)**

**MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE**

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	44.4	43.86	43.81	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.08	0.06	0.14	H2	0.18	0.14	0.32
H3	0.41	0.61	0.47	H3	0.92	1.39	1.07
H4	0.03	0.01	0.02	H4	0.07	0.02	0.05
<b>H5</b>	<b>2.53</b>	<b>2.43</b>	<b>2.53</b>	<b>H5</b>	<b>5.70</b>	<b>5.54</b>	<b>5.77</b>
H6	0.08	0.04	0.07	H6	0.18	0.09	0.16
<b>H7</b>	<b>2.68</b>	<b>2.32</b>	<b>2.3</b>	<b>H7</b>	<b>6.04</b>	<b>5.29</b>	<b>5.25</b>
H8	0.04	0.01	0.02	H8	0.09	0.02	0.05
H9	0.16	0.11	0.22	H9	0.36	0.25	0.50
H10	0.03	0.03	0.05	H10	0.07	0.07	0.11
H11	1.21	0.91	1.18	H11	2.73	2.07	2.69
H12	0.04	0.03	0.03	H12	0.09	0.07	0.07
H13	0.58	0.47	0.46	H13	1.31	1.07	1.05
H14	0.04	0.03	0.07	H14	0.09	0.07	0.16
H15	0.01	0.05	0.04	H15	0.02	0.11	0.09
H16	0.01	0.02	0.03	H16	0.02	0.05	0.07
H17	0.13	0.05	0.17	H17	0.29	0.11	0.39
H18	0.03	0.02	0.02	H18	0.07	0.05	0.05
H19	0.07	0.03	0.11	H19	0.16	0.07	0.25
H20	0.07	0.01	0.03	H20	0.16	0.02	0.07
H21	0.06	0.03	0.01	H21	0.14	0.07	0.02
H22	0.04	0.05	0.02	H22	0.09	0.11	0.05
H23	0.09	0.02	0.03	H23	0.20	0.05	0.07
H24	0.03	0.03	0.02	H24	0.07	0.07	0.05
H25	0.03	0.02	0.03	H25	0.07	0.05	0.07
H26	0.06	0.01	0.08	H26	0.14	0.02	0.18
H27	0.03	0.02	0.02	H27	0.07	0.05	0.05
H28	0.04	0.03	0.02	H28	0.09	0.07	0.05
H29	0.01	0.03	0.02	H29	0.02	0.07	0.05
H30	0.02	0.03	0.03	H30	0.05	0.07	0.07
H31	0.05	0.03	0.03	H31	0.11	0.07	0.07

El armónico que predomina según la medición es el séptimo, a más del quinto y onceavo en su orden de magnitud.

	Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental:	44.39	Fundamental: 43.85	Fundamental: 43.81
RMS:	44.57	RMS: 44.00	RMS: 43.97
RMS-H:	3.99	RMS-H: 3.59	RMS-H: 3.71
Peak:	70.10	Peak: 67.66	Peak: 70.21
CF:	1.57	CF: 1.53	CF: 1.59
THD:	8.99	THD: 8.19	THD: 8.48

**Tabla A 3.19 Parámetros de corriente de las celdas de alta tensión (envases)**

## MEDICIÓN DE ARMÓNICAS INDIVIDUALES DE VOLTAJE

Armónicos de Voltaje LN (V)				% de Armónicos de Voltaje LN			
Armónicos	Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN	Armónicos	Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN
H1	7464.91	7473.48	7475.11	H1	100.00	100.00	100.00
H2	2.62	2.54	1.73	H2	0.04	0.03	0.02
H3	11.56	3.2	21.28	H3	0.15	0.04	0.28
H4	1.95	3.57	1.5	H4	0.03	0.05	0.02
H5	88.67	91.4	89.33	H5	1.19	1.22	1.20
H6	3.75	1.2	2	H6	0.05	0.02	0.03
<b>H7</b>	<b>98.33</b>	<b>97.13</b>	<b>97.93</b>	<b>H7</b>	<b>1.32</b>	<b>1.30</b>	<b>1.31</b>
H8	1.22	0.44	0.99	H8	0.02	0.01	0.01
H9	4.83	5.33	8.97	H9	0.06	0.07	0.12
H10	1.9	2.47	1.68	H10	0.03	0.03	0.02
H11	75.6	71.78	68.16	H11	1.01	0.96	0.91
H12	1.9	2.62	0.35	H12	0.03	0.04	0.00
H13	7.57	2.76	4.83	H13	0.10	0.04	0.06
H14	1.35	0.38	3.03	H14	0.02	0.01	0.04
H15	1.19	2.11	4.15	H15	0.02	0.03	0.06
H16	0.58	1.22	0.86	H16	0.01	0.02	0.01
H17	10.13	4.89	12.33	H17	0.14	0.07	0.16
H18	1.03	0.54	1.97	H18	0.01	0.01	0.03
H19	4.87	4.64	3.76	H19	0.07	0.06	0.05
H20	1.01	1.09	1.63	H20	0.01	0.01	0.02
H21	2.43	0.4	1.73	H21	0.03	0.01	0.02
H22	0.97	0.38	1.85	H22	0.01	0.01	0.02
H23	1.36	0.82	0.81	H23	0.02	0.01	0.01
H24	0.69	0.62	0.36	H24	0.01	0.01	0.00
H25	2.1	0.91	1.17	H25	0.03	0.01	0.02
H26	1.3	1.2	0.84	H26	0.02	0.02	0.01
H27	0.73	0.32	1.64	H27	0.01	0.00	0.02
H28	0.38	0.9	1.1	H28	0.01	0.01	0.01
H29	0.93	0.67	1.04	H29	0.01	0.01	0.01
H30	1.47	0.55	0.81	H30	0.02	0.01	0.01
H31	1.36	0.7	1.23	H31	0.02	0.01	0.02

Como se puede apreciar el armónico de tensión que es mayor en magnitud al resto es el séptimo al igual que el armónico de corriente que es el que le genera.

Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN
Fundamental: 7464.90	Fundamental: 7473.48	Fundamental: 7475.10
RMS: 7466.50	RMS: 7475.04	RMS: 7476.66
RMS-H: 154.57	RMS-H: 152.86	RMS-H: 152.56
Peak: 10400.18	Peak: 10386.75	Peak: 10455.83
CF: 1.39	CF: 1.38	CF: 1.39
THD: 2.07	THD: 2.04	THD: 2.04

Tabla A 3.20 Parámetros de Tensión de las celdas de alta tensión (envases)

## Forma de Onda y diagrama de barras de las Celdas de Alta Tensión

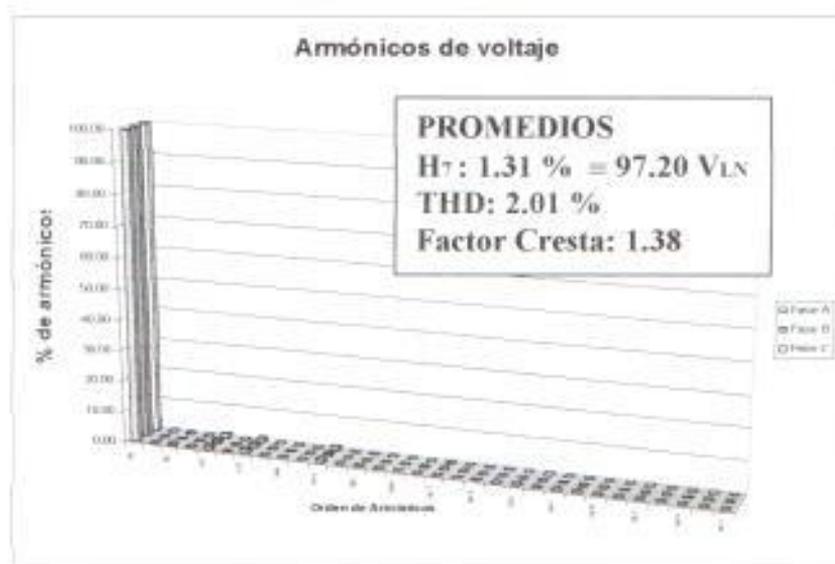
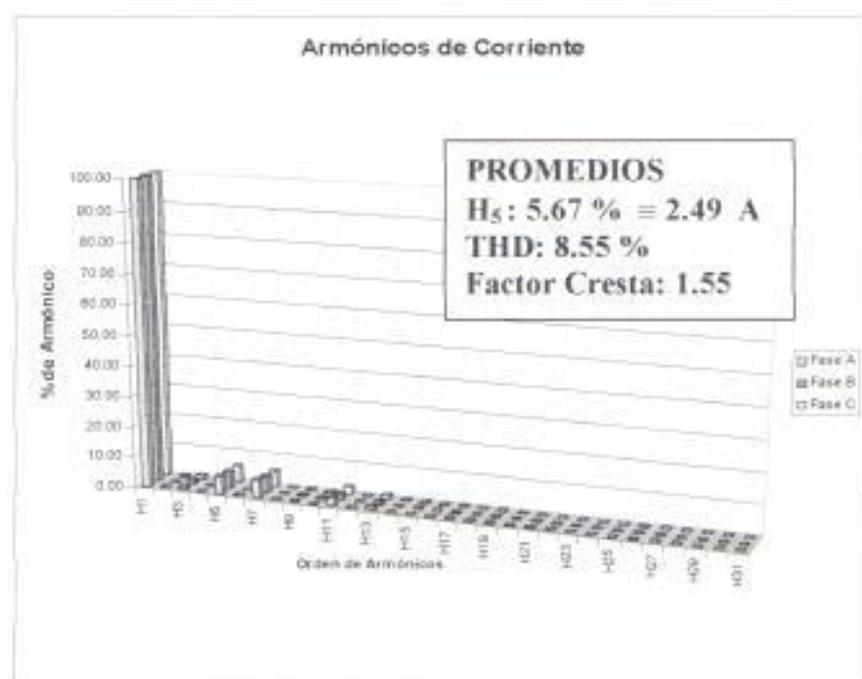
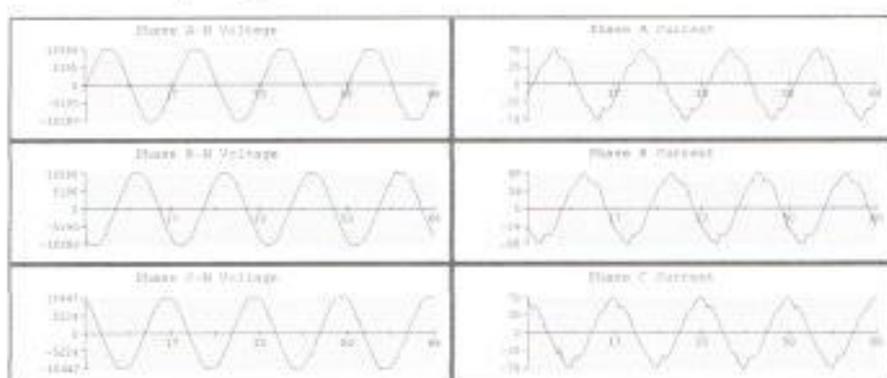


Figura A 3.14

## ÁREA DE PISCINA INDUSTRIAL

Equipo: Transformador Seco ( alimt. Preventas )

### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente				% Armónico Corriente			
Armónico	FaseA	FaseB	FaseC	Armónico	FaseA	FaseB	FaseC
H1	19.6	23.0	9.63	H1	100.0	100.0	100.0
H2	0.46	0.49	0.42	H2	2.35	2.13	4.36
H3	0.92	1.07	1.19	H3	4.69	4.64	12.3
H4	0.51	0.18	0.13	H4	2.60	0.78	1.35
<b>H5</b>	<b>0.53</b>	<b>1.25</b>	<b>1.35</b>	<b>H5</b>	<b>2.70</b>	<b>5.43</b>	<b>14.0</b>
H6	1.39	0.17	0.09	H6	7.09	0.74	0.93
H7	0.59	0.77	0.29	H7	3.01	3.34	3.01
H8	0.2	0.24	1.07	H8	1.02	1.04	11.1
H9	0.62	0.76	0.31	H9	3.16	3.30	3.22
H10	0.31	0.33	0.35	H10	1.58	1.43	3.63
H11	0.8	0.69	0.06	H11	4.08	2.99	0.62
H12	0.45	0.09	0.19	H12	2.29	0.39	1.97
H13	0.27	0.05	0.58	H13	1.38	0.22	6.02
H14	0.36	0.24	0.3	H14	1.84	1.04	3.12
H15	0.33	0.22	0.1	H15	1.68	0.95	1.04
H16	0.86	0.36	0.13	H16	4.39	1.56	1.35
H17	1.07	0.46	0.28	H17	5.46	2.00	2.91
H18	0.69	0.41	0.43	H18	3.52	1.78	4.47
H19	0.62	0.31	0.43	H19	3.16	1.35	4.47
H20	0.72	0.35	0.35	H20	3.67	1.52	3.63
H21	0.41	0.38	0.18	H21	2.09	1.65	1.87
H22	0.79	0.24	0.43	H22	4.03	1.04	4.47
H23	0.35	0.15	0.47	H23	1.78	0.65	4.88
H24	0.38	0.2	0.36	H24	1.94	0.87	3.74
H25	0.48	0.33	0.21	H25	2.45	1.43	2.18
H26	0.61	0.11	0.3	H26	3.11	0.48	3.12
H27	0.53	0.34	0.3	H27	2.70	1.48	3.12
H28	0.19	0.37	0.49	H28	0.97	1.61	5.09
H29	0.74	0.63	0.49	H29	3.77	2.73	5.09
H30	0.46	0.29	0.66	H30	2.35	1.26	6.85
H31	0.78	0.54	0.99	H31	3.98	2.34	10.2

La armónica predominante es la quinta ya que este transformador alimenta a cargas no lineales tales como; UPS, lámparas fluorescentes,

Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental: 19.61	Fundamental: 23.04	Fundamental: 9.62
RMS: 20.93	RMS: 23.40	RMS: 11.04
RMS-H: 7.31	RMS-H: 4.12	RMS-H: 5.41
Peak: 47.55	Peak: 41.03	Peak: 29.05
CF: 2.27	CF: 1.75	CF: 2.63
THD: 37.29	THD: 17.90	THD: 56.23

Tabla A 3.21 Parámetros de corriente del Transf. Seco (piscina industrial)

## Forma de onda y Diagrama de Barras del Transformador Seco

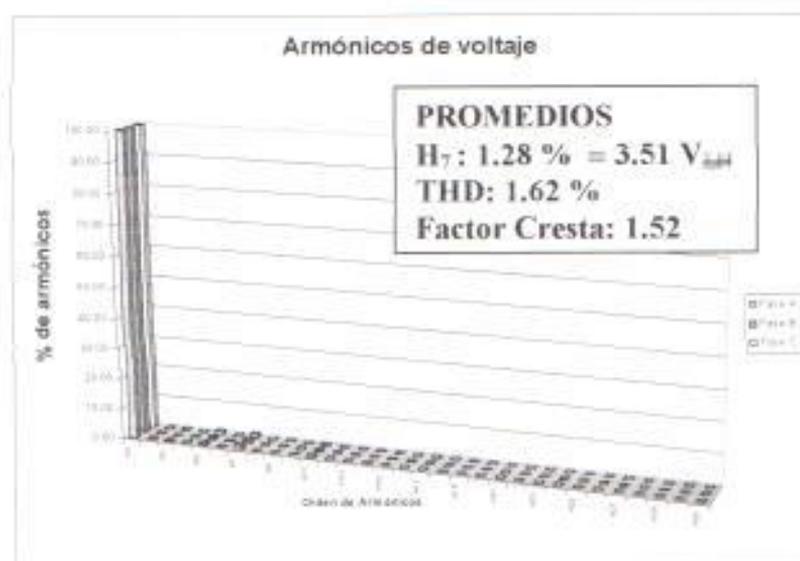
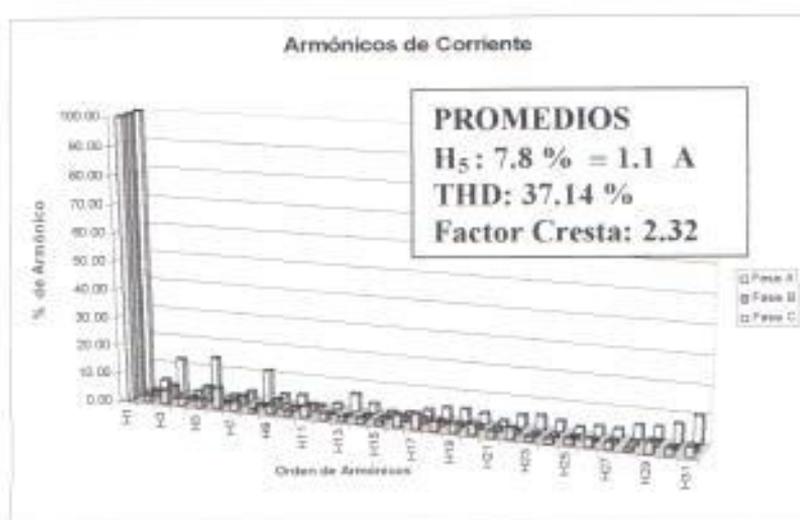
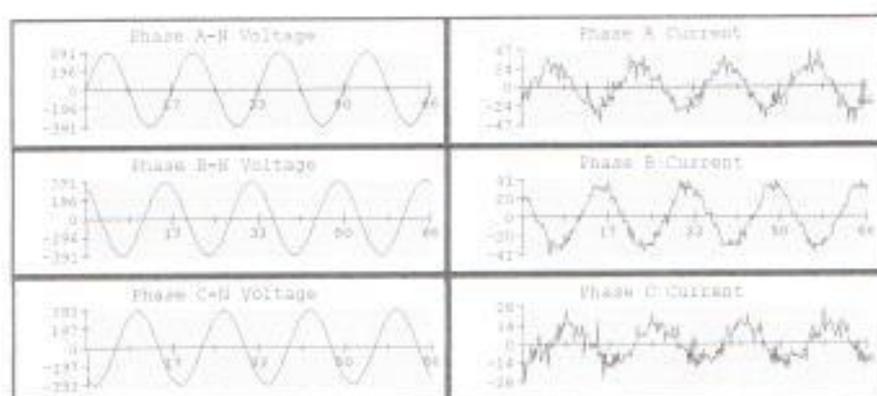


Figura A 3.15

### Equipo: Transformador Principal

#### MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	0.48			H1	100.00		
H2	0.08			H2	16.67		
<b>H3</b>	<b>0.1</b>			<b>H3</b>	<b>20.83</b>		
H4	0.02			H4	4.17		
<b>H5</b>	<b>0.07</b>			<b>H5</b>	<b>14.58</b>		
H6	0.06			H6	12.50		
<b>H7</b>	<b>0.07</b>			<b>H7</b>	<b>14.58</b>		
H8	0.03			H8	6.25		
H9	0.01			H9	2.08		
H10	0.03			H10	6.25		
H11	0.03			H11	6.25		
H12	0.05			H12	10.42		
H13	0.04			H13	8.33		
H14	0.05			H14	10.42		
H15	0.05			H15	10.42		
H16	0.02			H16	4.17		
H17	0.02			H17	4.17		
H18	0.05			H18	10.42		
H19	0.07			H19	14.58		
H20	0.02			H20	4.17		
H21	0.02			H21	4.17		
H22	0.01			H22	2.08		
H23	0.03			H23	6.25		
H24	0.07			H24	14.58		
H25	0.03			H25	6.25		
H26	0.04			H26	8.33		
H27	0.03			H27	6.25		
H28	0.02			H28	4.17		
H29	0.02			H29	4.17		
H30	0.05			H30	10.42		
H31	0.04			H31	8.33		

En una muestra de la medición realizada los resultados indican que el armónico de corriente mayor en magnitud es el tercero, lo cual indica que las cargas no lineales en mayor proporción son los equipos electrónicos como PC's, impresoras, fax y además de las luminarias constituidas con luminarias fluorescentes.

Fase A	
Fundamental:	0.47
RMS:	0.72
RMS-H:	0.55
Peak:	2.93
CF:	4.02
THD:	115.95

#### A 3.22 Parámetros de corriente del Transf.Principal (piscina industrial)

## MEDICIÓN DE ARMÓNICAS INDIVIDUALES DE VOLTAJE

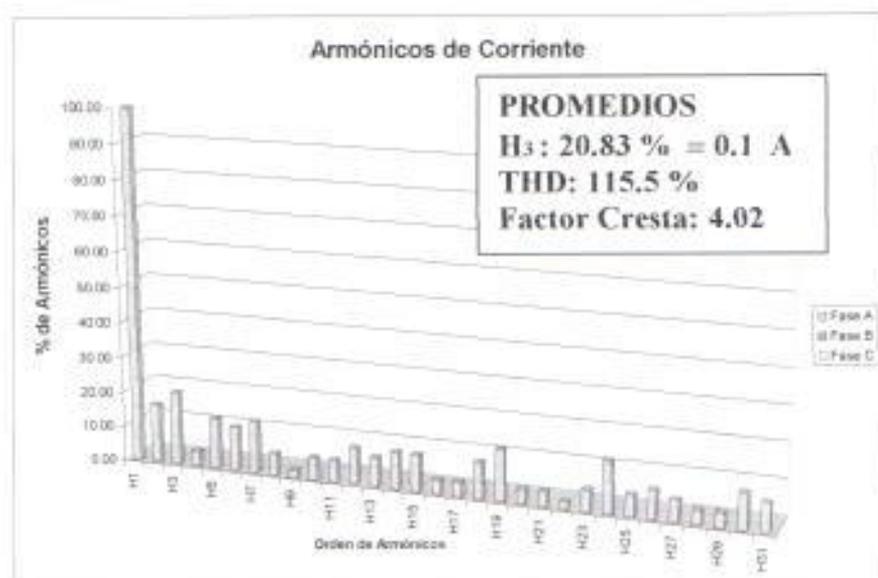
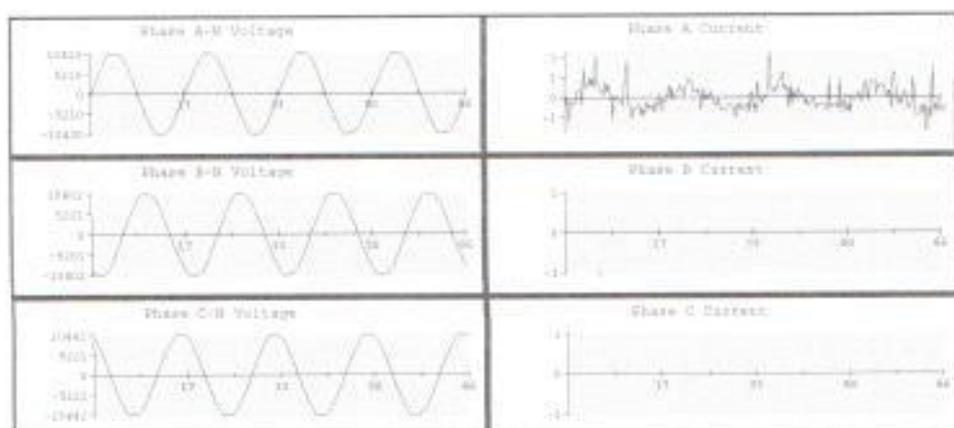
Armónicos de Voltaje LN (V)				% de Armónicos de Voltaje LN			
Armónicos	Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN	Armónicos	Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN
H1	7465.5	7479.46	7478.25	H1	100.00	100.00	100.00
H2	3.5	2.34	7.84	H2	0.05	0.03	0.10
H3	13.86	2.63	16.46	H3	0.19	0.04	0.22
H4	1.02	2.22	2.32	H4	0.01	0.03	0.03
H5	96.85	97.75	96.75	H5	1.30	1.31	1.29
H6	0.95	3.05	1.8	H6	0.01	0.04	0.02
<b>H7</b>	<b>99.9</b>	<b>100.06</b>	<b>99.57</b>	<b>H7</b>	<b>1.34</b>	<b>1.34</b>	<b>1.33</b>
H8	2.21	0.31	1.27	H8	0.03	0.00	0.02
H9	6.26	8.87	9.17	H9	0.08	0.12	0.12
H10	1.68	3.89	3.04	H10	0.02	0.05	0.04
H11	73.07	70.43	66.96	H11	0.98	0.94	0.90
H12	1.78	0.95	1.26	H12	0.02	0.01	0.02
H13	7.69	3.6	3.68	H13	0.10	0.05	0.05
H14	0.84	0.3	1.01	H14	0.01	0.00	0.01
H15	0.36	2.09	3.22	H15	0.00	0.03	0.04
H16	1.18	1.86	0.51	H16	0.02	0.02	0.01
H17	13.07	3.49	13.45	H17	0.18	0.05	0.18
H18	1.1	0.92	1.1	H18	0.01	0.01	0.01
H19	5.09	3.1	4.58	H19	0.07	0.04	0.06
H20	0.7	1.38	1.24	H20	0.01	0.02	0.02
H21	0.93	1.55	1.57	H21	0.01	0.02	0.02
H22	1.29	0.71	0.7	H22	0.02	0.01	0.01
H23	1.8	0.87	0.69	H23	0.02	0.01	0.01
H24	0.95	0.72	0.84	H24	0.01	0.01	0.01
H25	1.61	0.7	1.22	H25	0.02	0.01	0.02
H26	1.82	0.23	0.95	H26	0.02	0.00	0.01
H27	1.78	0.78	0.79	H27	0.02	0.01	0.01
H28	0.24	0.47	0.85	H28	0.00	0.01	0.01
H29	0.63	0.67	0.33	H29	0.01	0.01	0.00
H30	0.91	0.55	0.4	H30	0.01	0.01	0.01
H31	0.55	0.15	0.87	H31	0.01	0.00	0.01

Los armónicos de tensión en mayor proporción son el séptimo y quinto en su orden de magnitud lo que indica que las cargas no lineales que predominan en el área son UPS's y lámparas fluorescentes.

Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN
Fundamental: 7465.50	Fundamental: 7479.46	Fundamental: 7478.24
RMS: 7467.23	RMS: 7481.16	RMS: 7479.93
RMS-H: 160.87	RMS-H: 159.27	RMS-H: 158.65
Peak: 10433.38	Peak: 10417.34	Peak: 10453.30
CF: 1.39	CF: 1.39	CF: 1.39
THD: 2.15	THD: 2.12	THD: 2.12

Tabla A 3.23 Parámetros de Tensión del Transf.Principal (piscina industrial)

## Forma de Onda y Diagrama de barras del Transformador Principal



ra A 3.16 Forma de Onda y Diagrama de Barras Trafo Princ.Pisc.Industria

**AREA: S/E PRINCIPAL**

**Equipo: Transformador Principal**

**MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE**

Armónicos de Corriente ( A )				% Armónicos de Corriente			
Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C	Armónicos	Fase A	Fase B	Fase C
H1	103.48	105.24	100.54	H1	100.00	100.00	100.00
H2	0.27	0.19	0.43	H2	0.26	0.18	0.43
H3	0.1	0.5	0.29	H3	0.10	0.48	0.29
H4	0.11	0.17	0.24	H4	0.11	0.16	0.24
H5	1.46	1.31	1.51	H5	1.41	1.24	1.50
H6	0.22	0.18	0.02	H6	0.21	0.17	0.02
H7	<b>3.18</b>	<b>3.19</b>	<b>3.14</b>	H7	<b>3.07</b>	<b>3.03</b>	<b>3.12</b>
H8	0.17	0.06	0.13	H8	0.16	0.06	0.13
H9	0.44	0.44	0.57	H9	0.43	0.42	0.57
H10	0.05	0.08	0.12	H10	0.05	0.08	0.12
H11	0.98	0.99	0.78	H11	0.95	0.94	0.78
H12	0.07	0.03	0.03	H12	0.07	0.03	0.03
H13	0.39	0.51	0.45	H13	0.38	0.48	0.45
H14	0.05	0.02	0.05	H14	0.05	0.02	0.05
H15	0.01	0.09	0.05	H15	0.01	0.09	0.05
H16	0.11	0.04	0.04	H16	0.11	0.04	0.04
H17	0.07	0.06	0.2	H17	0.07	0.06	0.20
H18	0.03	0.03	0.04	H18	0.03	0.03	0.04
H19	0.16	0.13	0.12	H19	0.15	0.12	0.12
H20	0.08	0.03	0.01	H20	0.08	0.03	0.01
H21	0.07	0.03	0.02	H21	0.07	0.03	0.02
H22	0.08	0.02	0.02	H22	0.08	0.02	0.02
H23	0.02	0.03	0.03	H23	0.02	0.03	0.03
H24	0.1	0.01	0.12	H24	0.10	0.01	0.12
H25	0.06	0.03	0.03	H25	0.06	0.03	0.03
H26	0.07	0.05	0.02	H26	0.07	0.05	0.02
H27	0.04	0.03	0.08	H27	0.04	0.03	0.08
H28	0.04	0.02	0.01	H28	0.04	0.02	0.01
H29	0.06	0.05	0.04	H29	0.06	0.05	0.04
H30	0.01	0.03	0.05	H30	0.01	0.03	0.05
H31	0.07	0.05	0.04	H31	0.07	0.05	0.04

Los armónicos de corriente que predomina en la planta a nivel general son el séptimo y quinto en su orden en magnitud, lo que quiere decir que en CCN las mayoría de las cargas no lineales que generan armónicos son variadores de frecuencia, UPS's y alumbrado fluorescente.

Fase A	Fase B	Fase C
Fundamental: 103.48	Fundamental: 105.24	Fundamental: 100.54
RMS: 103.55	RMS: 105.31	RMS: 100.61
RMS-H: 3.85	RMS-H: 3.81	RMS-H: 3.80
Peak: 153.12	Peak: 154.16	Peak: 149.83
CF: 1.47	CF: 1.46	CF: 1.48
THD: 3.72	THD: 3.62	THD: 3.78

Tabla A 3.24 Parámetros de corriente del Transf.Principal (S/E 69/13.2KV)

## MEDICIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE VOLTAJE

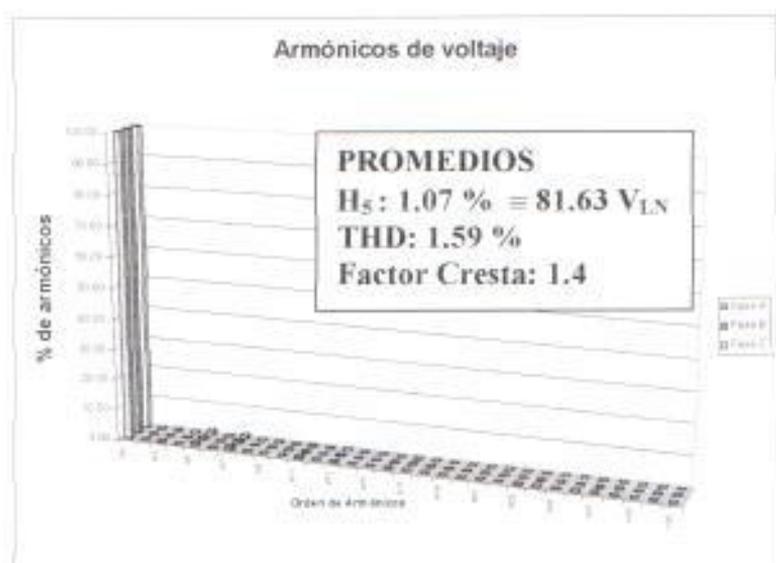
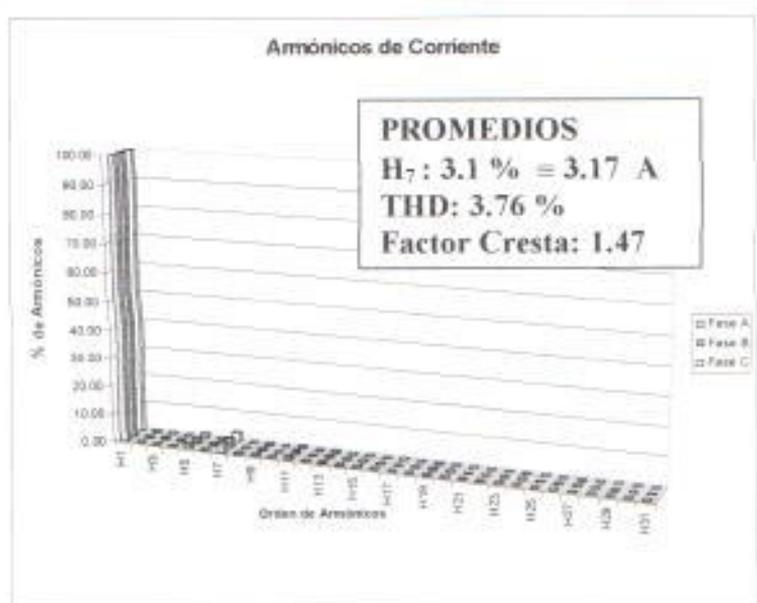
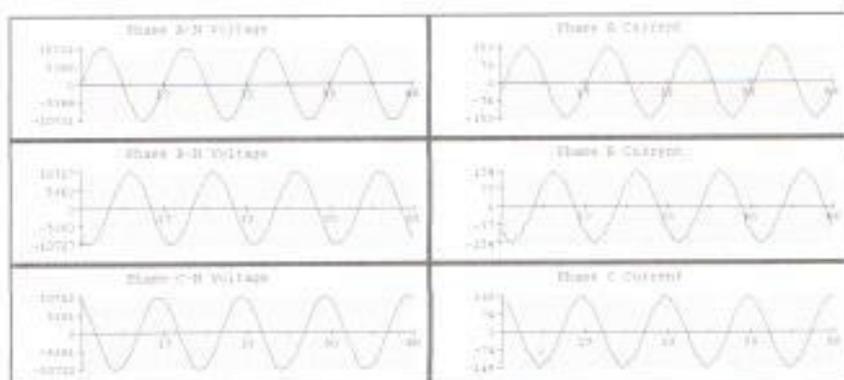
Armónicos de Voltaje LN (V)				% de Armónicos de Voltaje LN			
Armónicos	Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN	Armónicos	Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN
H1	7615.02	7627.59	7626.76	H1	100.00	100.00	100.00
H2	2.71	1.49	2.74	H2	0.04	0.02	0.04
H3	17.39	3.32	24.55	H3	0.23	0.04	0.32
H4	0.38	1.13	1.96	H4	0.00	0.01	0.03
<b>H5</b>	<b>80.97</b>	<b>81.15</b>	<b>82.78</b>	<b>H5</b>	<b>1.06</b>	<b>1.06</b>	<b>1.09</b>
H6	2.88	2.01	1.67	H6	0.04	0.03	0.02
<b>H7</b>	<b>80.06</b>	<b>84.55</b>	<b>79.13</b>	<b>H7</b>	<b>1.05</b>	<b>1.11</b>	<b>1.04</b>
H8	4.77	1.16	3.59	H8	0.06	0.02	0.05
H9	12.21	11.14	11.71	H9	0.16	0.15	0.15
H10	0.41	2.53	1.7	H10	0.01	0.03	0.02
H11	24.15	21.94	16.73	H11	0.32	0.29	0.22
H12	1.83	0.81	0.49	H12	0.02	0.01	0.01
H13	15.01	16.23	14.65	H13	0.20	0.21	0.19
H14	1.54	0.08	0.69	H14	0.02	0.00	0.01
H15	1.13	2.93	3.98	H15	0.01	0.04	0.05
H16	2.7	0.4	0.05	H16	0.04	0.01	0.00
H17	4.58	3.52	7.27	H17	0.06	0.05	0.10
H18	2.1	0.1	0.52	H18	0.03	0.00	0.01
H19	5.59	4.84	3.71	H19	0.07	0.06	0.05
H20	0.08	1.71	0.86	H20	0.00	0.02	0.01
H21	1.74	1.24	0.54	H21	0.02	0.02	0.01
H22	1.36	0.23	0.84	H22	0.02	0.00	0.01
H23	2.64	0.48	0.42	H23	0.03	0.01	0.01
H24	0.73	1.54	1.46	H24	0.01	0.02	0.02
H25	0.45	1.18	1.63	H25	0.01	0.02	0.02
H26	1.56	1.1	0.55	H26	0.02	0.01	0.01
H27	1.16	0.86	0.9	H27	0.02	0.01	0.01
H28	1.33	0.81	1.42	H28	0.02	0.01	0.02
H29	0.84	0.76	0.76	H29	0.01	0.01	0.01
H30	0.82	1.7	1.65	H30	0.01	0.02	0.02
H31	0.48	1.25	1.71	H31	0.01	0.02	0.02

La medición indica que los armónicos de tensión que predominan en el sistema eléctrico de CCN son el séptimo y quinto en su orden de magnitud.

Voltaje AN	Voltaje BN	Voltaje CN
Fundamental: 7615.02	Fundamental: 7627.58	Fundamental: 7626.75
RMS: 7615.98	RMS: 7628.56	RMS: 7627.72
RMS-H: 121.26	RMS-H: 122.30	RMS-H: 121.38
Peak: 10732.28	Peak: 10737.92	Peak: 10728.36
CF: 1.40	CF: 1.40	CF: 1.40
THD: 1.59	THD: 1.60	THD: 1.59

**Tabla A 3.25** Parámetros de Tensión del Transf. Principal (S/E 69/13.2KV)

## Forma de Onda y Diagrama de Barras del Transformador Principal de CCN



**Figura A 3.17** Forma de Onda y Diagrama de Barras Trafo

## INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Según los espectros normalizados de corrientes de entrada de los diferentes equipos y cargas no lineales, se puede ver que en las distintas áreas de la CCN, existen señales armónicas de distinto orden, ya sean armónicas de corriente o de voltaje. Estas señales armónicas en magnitud dependen del tipo de fuente que las genera tal como se enunció anteriormente.

Cabe señalar que en cuestión a los armónicos de corriente nos basamos en la **norma IEEE-519** la cual estipula que para saber la distorsión armónica individual y total de la carga es necesario conocer los niveles de cortocircuito en el punto donde se efectuó la medición, para lo cual se realizó un estudio de cortocircuito en los diferentes lugares donde se realizó la medición.

Este estudio se lo detalla a continuación:

### GENERALIDADES.

Para la realización de la tesis de grado la cual se basa en el estudio de señales armónicas en la Planta Industrial de la Compañía de Cervezas Nacionales, es necesario conocer los niveles de distorsión de corriente como de voltaje, que diferentes gremios establecen.

Así el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos ( IEEE ), elaboró el estándar IEEE-519 titulado " Prácticas Recomendadas y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas de Potencia ". Este documento establece los niveles de distorsión de voltaje aceptables en sistemas de Distribución, al mismo tiempo que establece límites en la distorsión de corriente que los usuarios pueden "inyectar" al sistema.

Para los niveles de distorsión de corriente que puede ser "inyectado" por parte del usuario, se establecen límites para cada una de las armónicas individuales así como para la distorsión de demanda total (TDD), los cuales están en función del nivel de Cortocircuito en el punto de suministro (PCC) y del valor rms de la corriente fundamental correspondiente a la demanda máxima promedio de los últimos doce meses (IL).

Por lo cual es primordial conocer los niveles de Cortocircuito en los diferentes puntos seleccionados para el estudio de señales armónicas en la CCN.

En el estudio de Cortocircuito el método aplicado es el cálculo de Fallas Asimétricas, donde la falla en estudio es la *Falla trifásica*, donde el valor de reactancia que se tomó para los diferentes motores fue el de 0.17 por unidad. (tomado del libro Motor Application and maintenance, autor Robert. W Smeaton)

### **ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO**

El estudio se realizó por las diferentes áreas de la Compañía de Cervezas Nacionales, estas son:

1. S/E Principal (69/13.2KV)
2. Cocimiento
3. Servicios
4. Bodega de Frio
5. Envases
6. Piscina Industrial

En cada una de las áreas el estudio fue similar, el cual se basó en el análisis de Corriente de falla en el punto donde se efectuó la medición.

Se trabajó con la impedancia equivalente de cada área por lo que se indican los diagramas de reactancias para cada área.

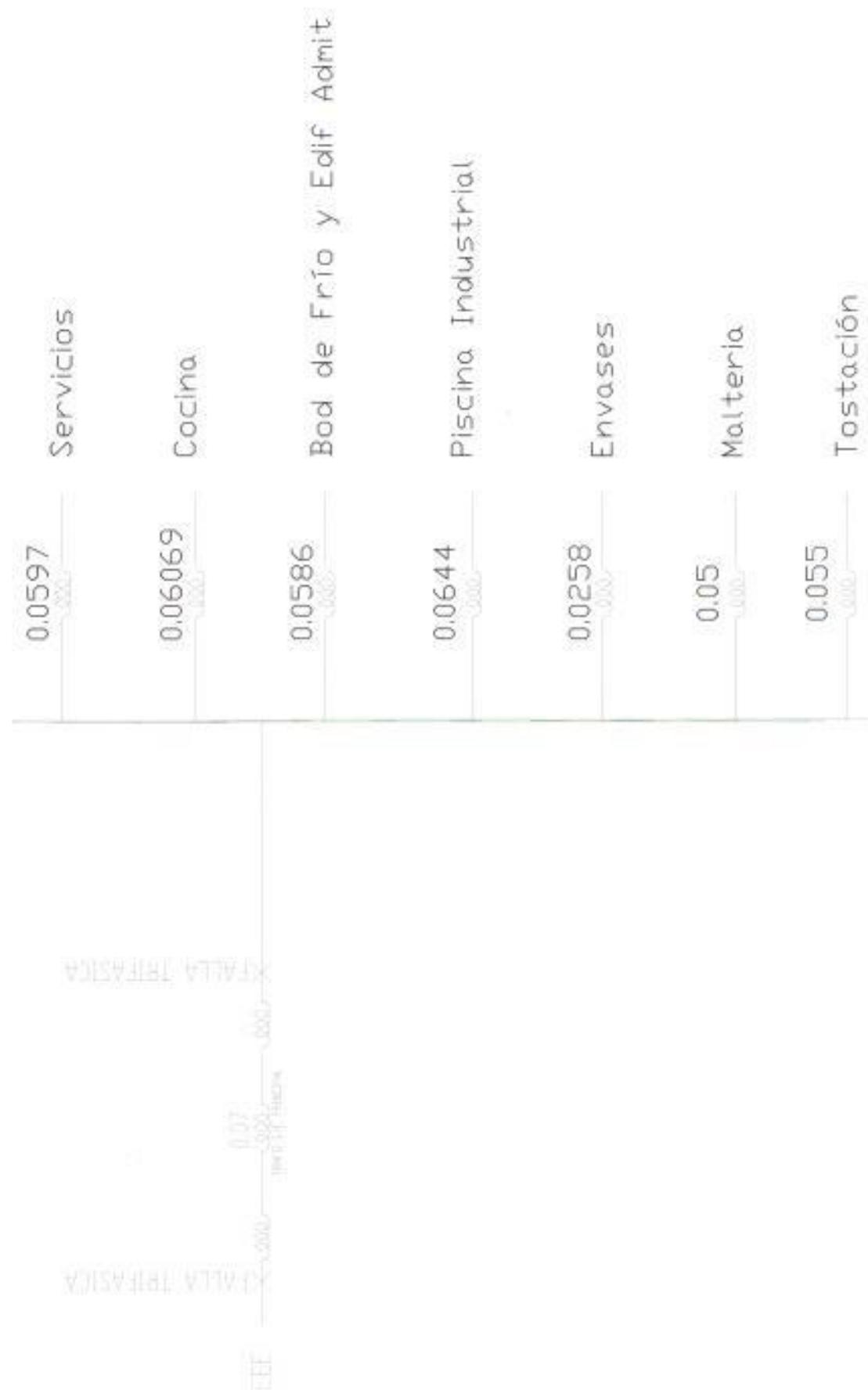


Fig A 3.18 Diagrama de reactancia S/E principal (69/13.2 KV)



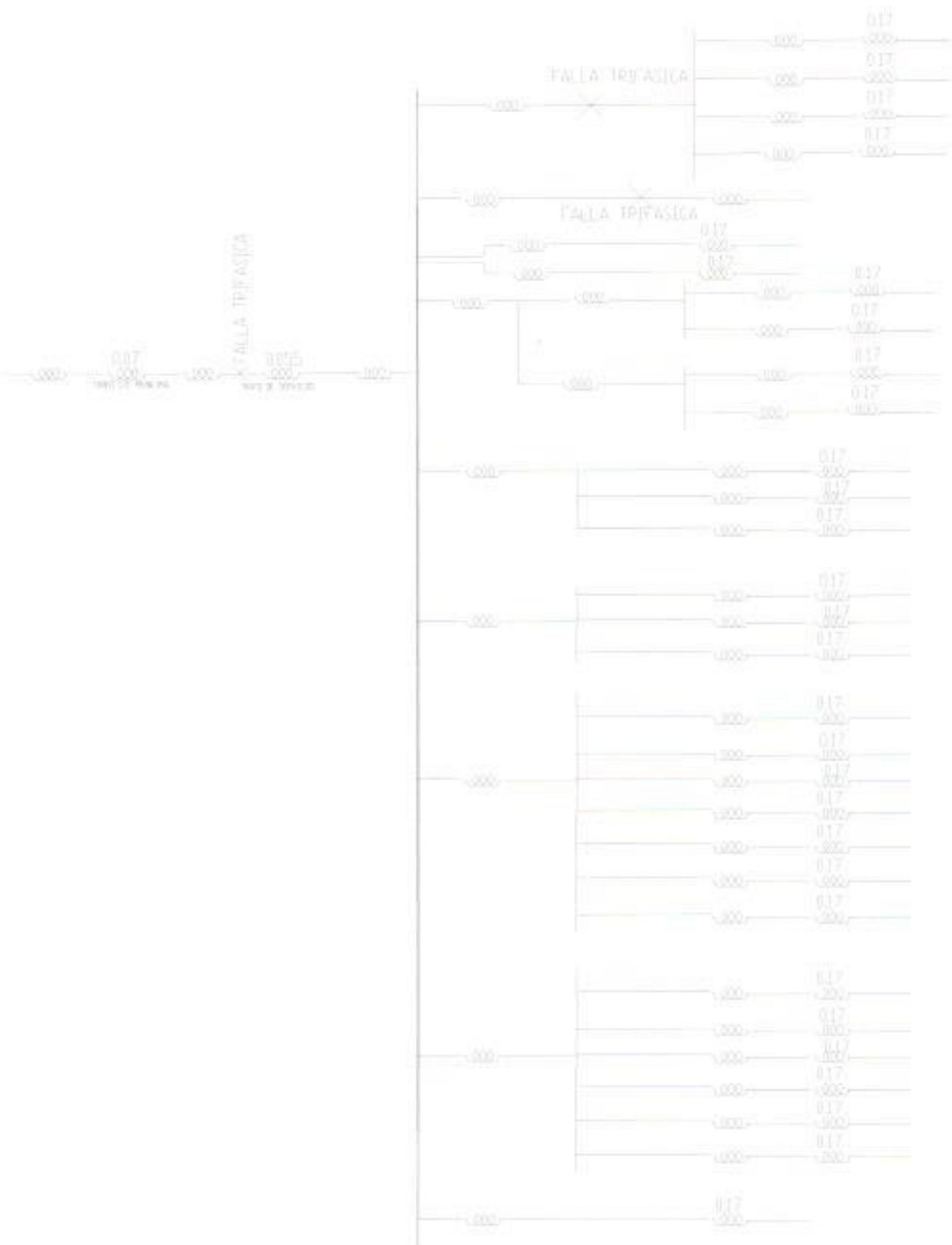


Fig A 3.20 Diagrama de Reactancias de servicios

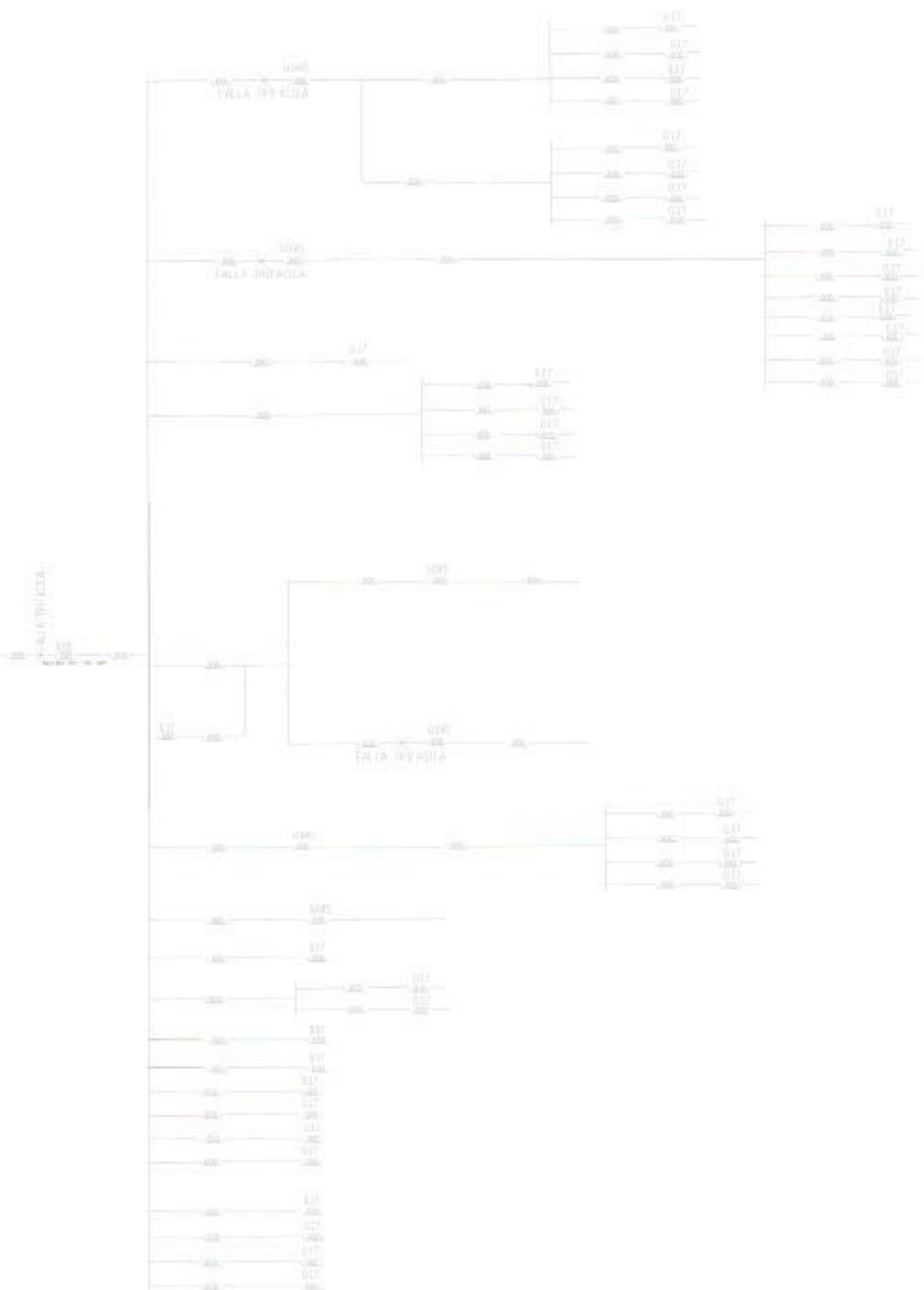


Fig A 3.21 Diagrama de Reactancias de Bodega de Frío y Edif. Admt

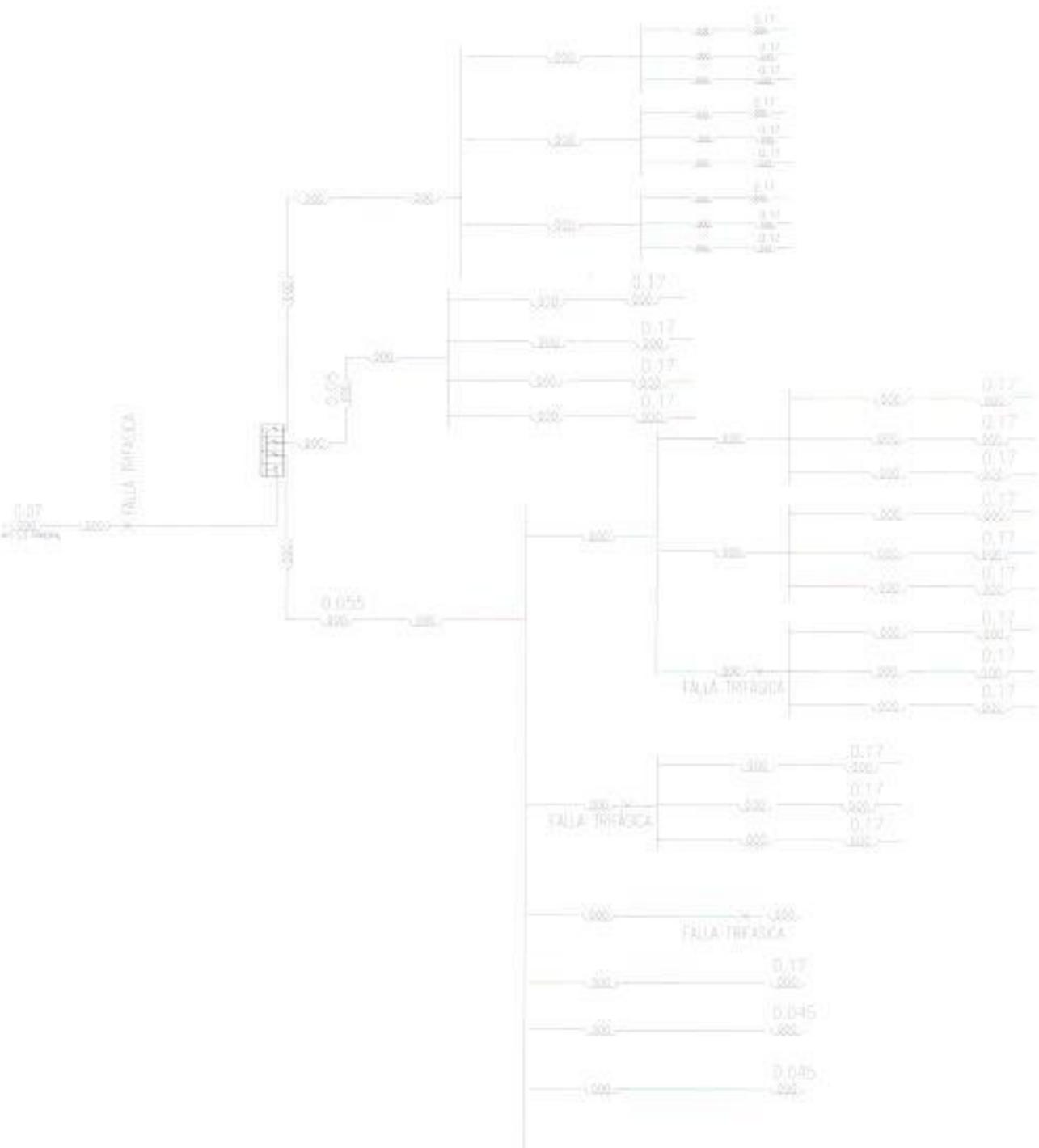


Fig A 3.22 Diagrama de Reactancias de Envases

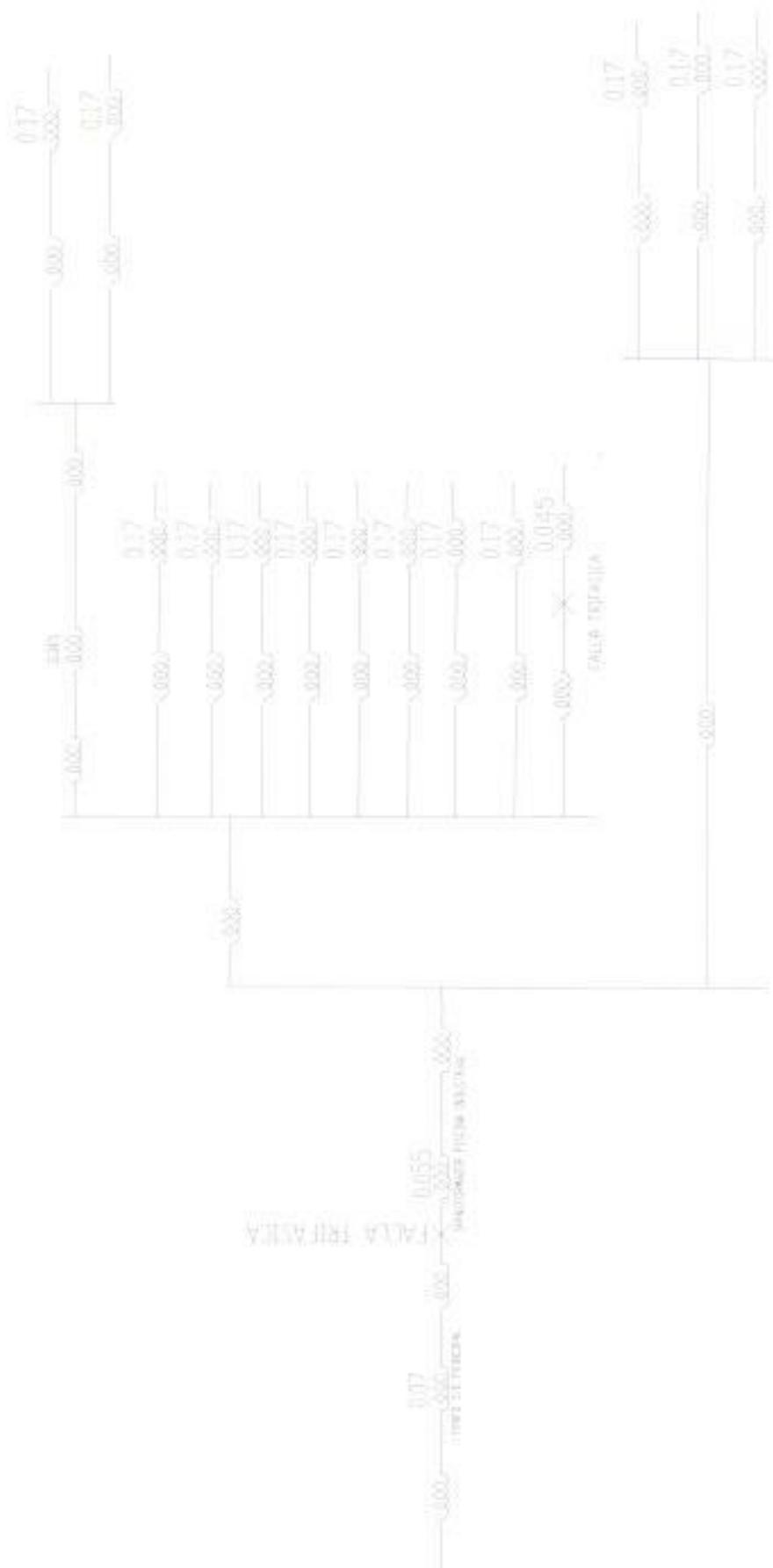


Fig A 3.23 Diagrama de Reactancias de piscina Industrial

El Análisis de las Corrientes de Falla para cada área fue:

$$MVA_{base} = 5$$

$$KV_{base} = 69$$

$$I_{cc} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{MVA_{base}}{KV_{base}} \left( \frac{1}{Z_{base}} \right) \quad (\text{por similitud})$$

$$Z_{base} = \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} = 952.2(\Omega)$$

$$I_{cc} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} = 41.84(A)$$

$$I_{cc} = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{KV_{base}^2}{MVA_{base}} = 41.84(A)$$

AREA	Ubicación de la Falla Trifásica	Demanda Máxima Promedio (A)	Corriente de Cortocircuito Icc (A)	Icc/IL (estándar IEEE-619)	Máxima Distorsión Armónica Individual (TDDH %)	Máxima Distorsión Armónica Total (TDD %)
Subestación Principal (69 / 13.2KV)	Primario del transformador Principal (SMVA)	23.80	7.600.0	327.50	12	15
	Secundario del transformador Principal (SMVA)	124.86	6.500.0	52.20	10	12
Cocina	Alimentación del Variador de Frecuencia Bomba de Maceración	37.70	7.629.1	202.36	12	15
	Alimentación del Variador de Frecuencia Secadores	24.88	2.811.5	114.01	12	15
Servicios	Alimentación al Banco de Transformadores (13.2KV / 460 V)	16.00	1.288.4	80.53	10	12
	Alimentación tablero de Compresores de Amoniaco	1.305.74	42.841.3	32.81	7	8
	Alimentación al Banco de Capacitores	341.03	21.700.2	63.63	10	12
	Alimentación al Transformador Trifásico Servidores (13.2KV / 460)	65.50	2.287.7	34.93	7	8
	Alimentación al transformador # 1	14.86	11.721.0	789.52	12	15
Bodega de frío y Edif. Administrativo	Alimentación al transformador # 2	28.88	11.592.5	401.46	12	15
	Alimentación al transformador # 3	23.04	10.728.2	465.63	12	15
	Alimentación al Banco de Transformadores (13.2KV / 460 V)	14.23	1.372.1	96.46	10	12
Envases	Alimentación Equipos Super Línea	731.11	99.754.8	136.44	12	15
	Alimentación Equipos Línea tres	322.22	54.224.6	168.28	12	15
	Alimentación al Banco de Capacitores	376.85	50.303.2	133.47	12	15
	Alimentación de las Celdas de Alta Tensión	35.00	2.118.3	60.47	10	12
Piscina Industrial	Alimentación del Transformador Seco (preventas)	17	4.734.67	278.5	12	15
	Alimentación del Transformador Trifásico (13.2 KV / 460 V)	2.5	1.144.52	457.8	12	15

Tabla A 3.26 Niveles de Corriente de Cortocircuito de CCN

En la siguiente tabla se pone en consideración los diferentes equipos de sus respectivas áreas especificando el orden armónico, % respecto a la fundamental, THD (v, l) y el factor Cresta de los diferentes transformadores de la compañía.

AREA	EQUIPO	ORDEN ARMÓNICO		MAGNITUD DEL ARMÓNICO		DEMANDA MÁXIMO PROMEDIO (A.)	VALOR MÁX. PERMISIBLE NORMA IEEE-519	THD %		FACTOR CRESTA	
		V	I (A)	VLL (V)	I (A)			V	I	V	I
COCINA	Variador de frecuencia	H5	17,95			37,7	4,5	82,88			
	Variador de frecuencia (Secadores)	H5	11,56			24,56	2,95	109,6			
	Banco de Transformadores	H5	0,58	80,84		16	1,6	4,1	1,49	1,54	1,4
BOD. FRIO Y EDIF. ADMINISTRATIVO	Transformador # 1	H3	2,74			14,66	1,76	48,29		2,25	
	Transformador # 2	H5	3,9			26,88	3,46	44,53		2,75	
	Transformador # 3	H5	4,42			13,04	2,76	74,72		2,63	
SERVICIOS	Banco de Transformadores	H3	0,16	79,89		14,225	1,42	3,76	1,43	1,51	1,4
	Banco de Capacitores	H7	84,3			341,03	34,103	36,42			
	Arrancador de Estado Sólido	H5	8,31			1305,74	91,4	2,76			
	Transformador Principal	H11	0,65	62,1		65,5	4,58	1,6	2	1,42	1,41
	Alimentación Tablero de Distribución (línea 3)	H5	16,77	8,48		322,22	38,66	6,92	3,98		
ENVASES	Alimentación Tablero de Distribución (Super Línea)	H5	45,38	7,7		731,11	87,73	7,16	4,13		
	Banco de Capacitores	H7	66,43			376,68	45,22	28,28			
	Celdas de Alta Tensión	H5	2,49	97,8		35	3,5	7,4	1,9	1,55	1,39
PISCINA INDUSTRIAL	Transformador Seco (preventas)	H5	2			17	2,04	37,9		2,58	
	Transformador Principal	H3	0,1	99,8		2,5	0,3	115	1,5	3,1	
S/E PRINCIPAL (69 / 13,2) KV	Transformador Principal Alta Tensión (69KV)	H7	3,17	81,83		12,4	12,4	3,76	3,3	1,47	1,4

Tabla A 3.27 Niveles de armónicos en CCN

Como se especifica en la tabla, hay que tomar muy en cuenta las armónicas de corriente, especialmente las que generan los variadores de frecuencia (cocimiento), debido a que estas señales fluyen aguas arriba (red) en mayor porcentaje que aguas abajo (carga) y además porque se encuentran excedidas de las normas que la IEEE-519 indica. En el caso de los variadores de frecuencia de envases el resultado es que los valores están dentro de los niveles admisibles de corriente como de voltaje.

En el Edificio Administrativo anexo a Bodega de Frio se tiene un gran número de cargas no lineales estas son especialmente fuentes conmutadas (PC's, TV, copadoras, etc), por lo que los resultados que se tiene en señales armónicas de corriente son de consideración e inclusive están fuera de los niveles admisibles que la norma indica. (IEEE-519 – 1992)

Los niveles de armónicos que se tienen en los bancos de transformación de Bodega de Frio y Cocimiento, están dentro de los límites, tanto para voltaje como para corriente, de igual forma para los transformadores principales de Servicios y Piscina Industrial.

En lo referente a la medición en las celdas de A.T de Envases se tiene que la quinta armónica corriente, excede la norma, pero las armónicas de voltaje se mantiene en el Rango que la norma indica.

En el transformador principal de la S/E (69/13.2 KV), donde se ven involucrados tanto el usuario (CCN) como la concesionaria (EMELEC), los niveles de armónicos de corriente como de voltaje están dentro de los niveles admisibles que la IEEE con su norma 519 – 1992 indica.

En el siguiente anexo se explican las causas y efectos de estos armónicos tanto a nivel interno como externo de CCN.

## ANEXO 4

### GENERACIÓN Y PROPAGACIÓN DE SEÑALES ARMÓNICAS.

Como se vio en el Capítulo 1, las armónicas son generadas por cargas no lineales, en general los transformadores operando en saturación y las cargas controladas por medios electrónicos son las fuentes principales de armónicos.

En la clasificación de las fuentes generadoras de armónicos se puede apreciar las distintas cargas monofásicas tales como fuentes electrónicas de interrupción ( PC's, UPS's, switching power supplies ) y lámparas de descarga que generan la 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup>, etc armónicas. Además cargas trifásicas no lineales como son los variadores electrónicos de velocidad que generan la 5<sup>a</sup> y las de grado más elevado.

Es importante señalar que mientras las armónicas características dependen del número de rectificadores en el circuito, las magnitudes relativas de cada armónica dependen de los parámetros de la carga y del sistema de distribución ( configuración del sistema )

Una descripción de cómo se generan y propagan las señales armónicas en un sistema eléctrico se indican en los siguientes esquemas:

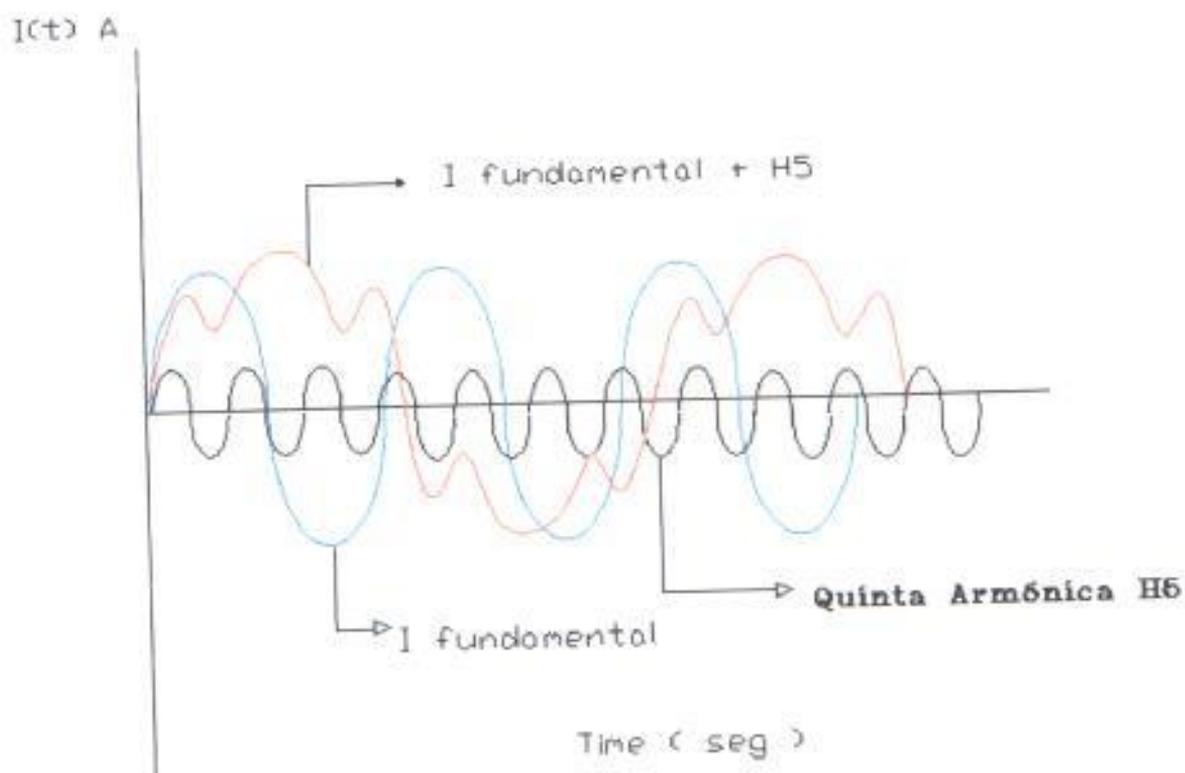


Fig. A 4.1 Señales Armónicas

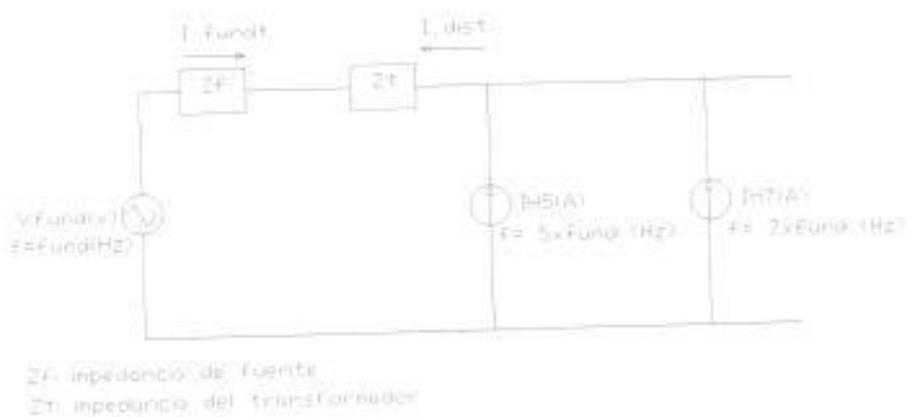


Fig. A 4.2 Propagación de Señales Armónicas

Estas señales armónicas se pueden propagar tanto a nivel interno como externo de la planta ( CCN ), lo cual puede provocar problemas si la suma de las intensidades de armónicos supera ciertos límites.

Todos los convertidores electrónicos de potencia y fuentes conmutadas que se emplean en las diferentes funciones de CCN, pueden aumentar las perturbaciones por armónicos introduciendo intensidades de armónicos directamente hacia la red.

### **ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE LOS ARMÓNICOS EN LAS MAQUINAS Y EQUIPOS CLASIFICADOS**

En las distintas áreas de CCN, los equipos que presentan mayor influencia en la generación de armónicos son los variadores de frecuencia que al entrar en operación generan armónicos de corriente en el orden de hasta el 65% de la fundamental, así por ejemplo se pone el caso del variador de frecuencia que alimenta a un motor el cual activa una bomba centrífuga.

A continuación enunciamos el análisis y las características del sistema y el accionamiento red - variador - motor con su equivalente eléctrico.

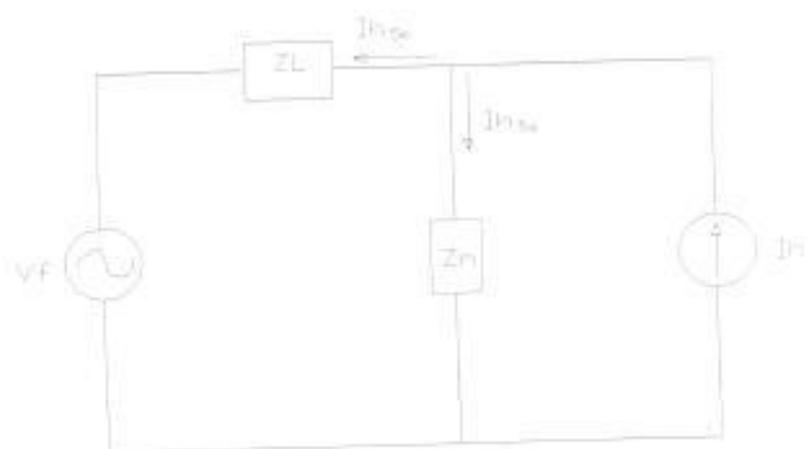
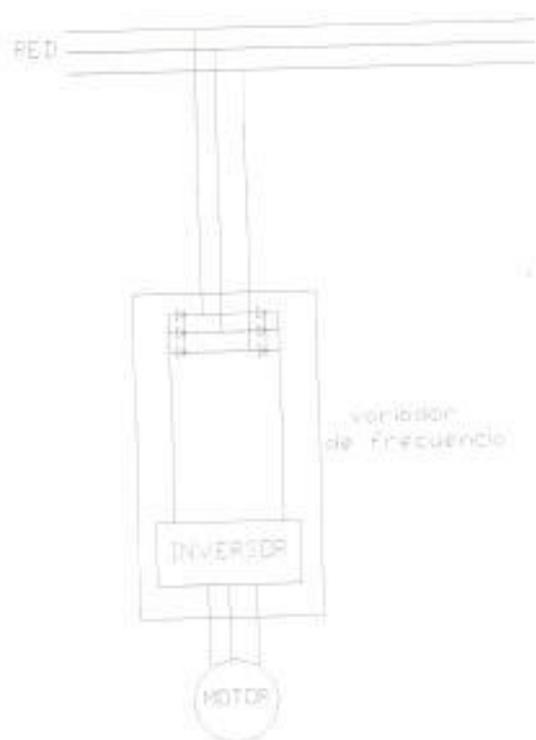
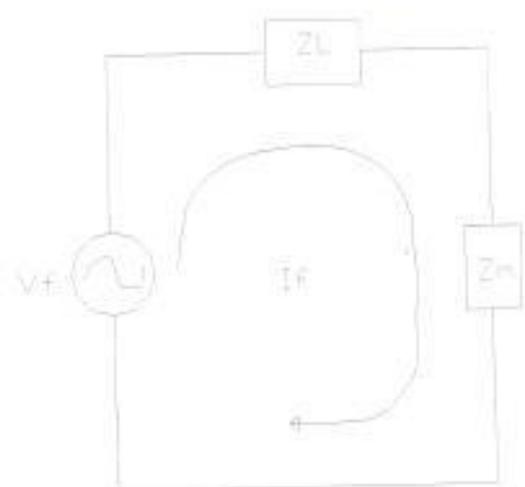


Fig A 4.3 Esquema del Conjunto Red-Variador-Motor



$$V_f = 440 \angle 0^\circ \text{ ( V )}$$

$$I_f = 29.93 \angle -0^\circ \text{ ( A )}$$

$$Z_L = R_L + jX_L$$

$$R_L = 0.0672$$

$$X_L = 0.0085$$

$$L = 25 \text{ n}$$

$$I_{h_3} = 19.3 \text{ ( A )}$$

$$Z_L = 0.06773 \quad \boxed{\Omega}$$

$$Z_m = \frac{V_f - I_f Z_L}{I_f}$$

$$Z_m = 14.624 \angle -0.0085^\circ$$

$$I_{h_{3a}} = I_{h_3} \left[ \frac{R_L + jX_L}{(R_L + jX_L) + Z_m} \right] \quad I_{h_{3a}} = I_{h_3} - I_{h_{3m}} \text{ ( A )}$$

$$I_{h_{3a}} = 0.1044 \angle 32.15^\circ \text{ ( A )} \quad I_{h_{3m}} = 19.21 \angle -0.165^\circ \text{ ( A )}$$

Como se puede apreciar, un **99.54% de la corriente armónica fluye hacia la red**, esto es porque la **impedancia de la carga es mucho mayor** a la de la red tal como se demostró, lo que dice que hay que poner especial cuidado con las instalaciones aguas arriba, claro es sin descuidar la carga que alimenta el convertidor o cualquier fuente armónica.

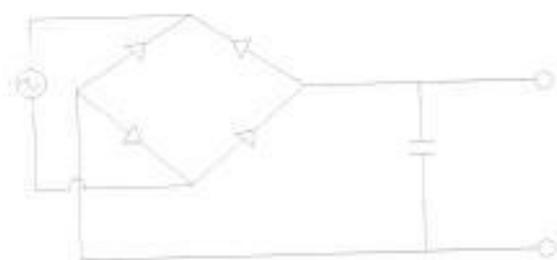
Otra de las causas que origina señales armónicas es el dispositivo de switcheo, muy común en equipos electrónicos tales como PC's, TV, copadoras, etc. Este tipo de equipos existen en Cervecería Nacional en su gran parte en el edificio administrativo anexo a la Bodega de Frio.

Estas fuentes de switcheo están compuestas por **rectificadores** monofásicos los cuales están formados por **semiconductores** (diodos).

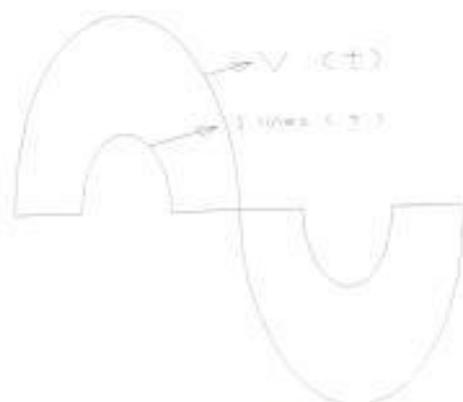
Los diodos actúan para cortar la mitad negativa de la onda senoidal, el condensador trata de retener el voltaje al pico. Dos veces por ciclo, el condensador se carga. Por lo tanto, la corriente de carga, se obtiene como la suma de pulsos tal y como se observa en la siguiente figura:

La forma de onda de la corriente contiene una considerable cantidad de armónicas, donde su magnitud puede ser más alta que la fundamental.

#### RECTIFICADOR MONOFÁSICO CON CONDENSADOR FILTRADOR

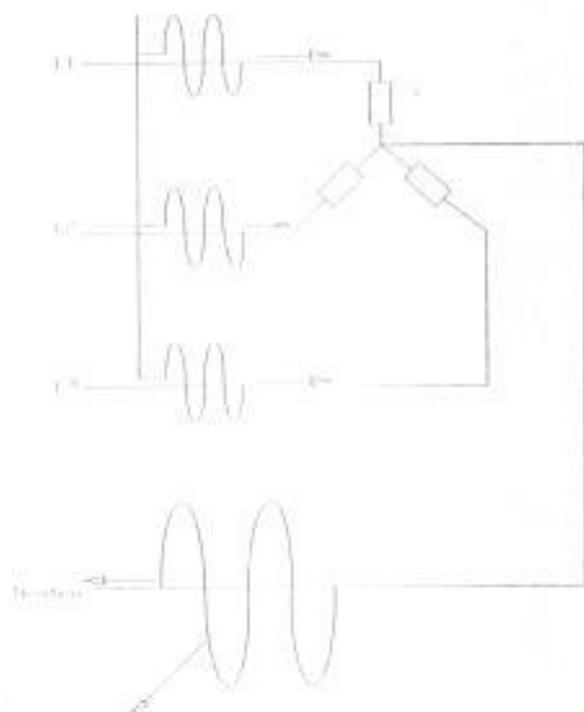


**Fig A 4.4 Rectificador  $\emptyset$  con condensador filtrador**



**Fig A 4.5 Forma de la ondas de voltaje y corriente en rectificador  $\emptyset$**

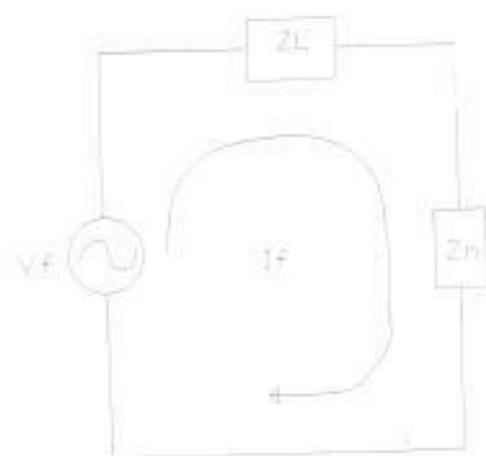
Estas fuentes de switcheo generadoras de armónicos están siendo controladas por la conexión de los transformadores aguas arriba, en cambio aguas abajo el problema si es de consideración debido a que instalaciones con cuatro hilos, es decir; tres fases y neutro, los armónicos pueden dar un rizado excesivo en la corriente del neutro. Un esquema es el siguiente:



**Fig A 4.6** Armónicas que circulan por el neutro

Tal es el caso de las instalaciones en el Edif. Administrativo, donde se tiene transformadores que tienen en su secundario la conexión indicada en el gráfico anterior.

Así como analizamos el flujo armónico desde los convertidores hacia la red, a continuación presentamos el caso de cómo los armónicos de corriente pueden inyectarse por intermedio de fuentes ininterrumpidas de tensión (UPS) hacia la red, las cuales alimentan a Control de Calidad, Sistemas, Central Telefónica .



$$V_f = 440 \angle 0^\circ \text{ (V)}$$

$$I_f = 516 \angle 0^\circ \text{ (A)}$$

$$Z_L = R_l + X_l$$

$$R_l = 0.010056 \quad Z_l = 0.01037 \text{ ohms}$$

$$X_l = 0.00513$$

$$L = 15 \text{ n}$$

$$I_{h_5} = 516 \text{ (A)}$$

$$Z_m = \frac{V_f - I_f Z_L}{I_f}$$

$$Z_m = 22.11 \angle -6.58^\circ$$

$$I_{h_{50}} = I_{h_5} \left[ \frac{R_l + j5 X_l}{(R_l + j5 X_l) + Z_m} \right]$$

$$I_{h_{50}} = 0.0037 \angle 51.6^\circ \text{ (A)}$$

$$I_{h_{50}} = I_{h_5} - I_{h_{50}} \text{ (A)}$$

$$I_{h_{50}} = 5.1576 \text{ (A)}$$

Donde 5.1576 (A) equivalen al 96.45% de la corriente armónica, que se inyecta hacia la red, esto es debido a que la impedancia de carga es mucho mayor que la impedancia de la red.

## EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN LA RED INTERNA DE LA COMPAÑÍA DE CERVEZAS NACIONALES C.A

En la Compañía de Cervezas Nacionales, según la clasificación realizada, se cuenta con un gran número de cargas no lineales, que son fuentes generadoras de armónicos, ya sean estas monofásicas o trifásicas (exclusivamente en la red de Baja Tensión).

Con las mediciones realizadas en los distintos puntos considerados críticos (PCC) para el estudio, se puede apreciar que algunos valores **no** están dentro de los niveles admisibles según la norma IEEE – 519 –1992 por lo que, sus efectos se estiman que no tardarán en ocasionar problemas a la red interna de CCN.

Entre los efectos más importantes que se pueden dar a mediano y largo plazo, en los distintos elementos del sistema de potencia de CCN son los siguientes:

**Condiciones de Resonancia.**- Es el efecto más peligroso y destructivo de las corrientes armónicas; estas condiciones aparecen debido a los valores de impedancia que presenta el sistema a frecuencias armónicas.

En **motores, generadores y transformadores**, se incrementa el calentamiento debido al aumento de las pérdidas de cobre y pérdidas del núcleo que se dan a frecuencias armónicas, disminuyendo su eficiencia y su vida útil.

En **Cables**, cuando se ven involucrados en condiciones de resonancia se puede romper su aislamiento, también sufren sobrecalentamiento debido a la corriente rms total que se incrementan al existir armónicas de corriente.

Los **Capacitores**, se ven afectados al existir condiciones de resonancia y están expuestos a tensiones y corrientes considerablemente altas que las normales, ya que la reactancia del capacitor disminuye a medida que aumenta la frecuencia.

Los **Equipos electrónicos**, son susceptibles a la mala operación causada por la distorsión armónica, ya que su funcionamiento depende de la forma de onda de alimentación.

En **equipos de medición**, se pueden presentar errores de medición tanto positivo como negativo, dependiendo de las armónicas involucradas y del tipo

de medidor. En general se requiere un factor de distorsión severo (mayor al 20% ) para observar errores significativos.

Particularmente entre los efectos, en la CCN por la gran cantidad de fuentes conmutadas, es decir PC's, TV, impresoras y equipos de oficina en general, es necesario tomar en consideración el efecto piel o pelicular, el cual provoca un calentamiento suplementario en los cables, transformadores y demás elementos en la instalación, teniendo lógicamente incidencia en el incremento de pérdidas globales.

La causa del efecto pelicular son las corrientes armónicas, que tienden a circular por el exterior del conductor debido a su elevada frecuencia.

Un problema particular es el del conductor neutro, si seguimos lo tradicional donde se recomienda, que en una instalación con neutro, la sección de este a de ser la mitad que la sección de la fase. Con la existencia de las cargas no lineales antes mencionadas estaremos dimensionando de forma no adecuada la sección de este conductor, esto es debido a que por el neutro circulan las corrientes de desequilibrio propias de la instalación y además la armónicas de orden 3 y múltiplos a ella. Esto significa que si el consumo (cargas) está constituido solo por computadoras personales o cualquier equipo con fuente conmutada, la sección del neutro, deberá ser por lo menos el doble de la sección de la fase.

En cuanto a las cargas no lineales trifásicas como variadores de frecuencia que la CCN cuenta en sus instalaciones, estas presentan mayor distorsión en la forma de onda, especialmente la onda de corriente, debido al dispositivo que esta carga utiliza, es decir el rectificador de 6 pulsos el cual genera especialmente la armónica de orden quinto que es la de mayor magnitud.

En el área de cocimiento se puede apreciar el problema que el variador ocasiona, al arrancar y funcionar; es decir que cada vez que trabaja el variador, se presenta una disminución virtual de temperatura en las pailas de Adjunto y Malta, esto es debido a que los transmisores de temperatura ubicados en las pailas, generan una señal errónea al PLC y este a su vez al PC, lo cual era exclusivamente cuando el variador de frecuencia se pone en marcha.

Esta carga según mediciones realizadas inyecta al sistema aproximadamente el 65% de la corriente fundamental rms, en este caso se tiene mas o menos 30 A la fundamental lo que significa que 19.5 A (quinta armónica) se inyectan al sistema.

Al tener los resultados antes mencionados, se resolvió analizar el disturbio que se presenta en los transmisores de temperatura al trabajar el variador de frecuencia (fuente armónica). Se estudio el sistema, la instalación interna del área, especialmente las derivaciones que alimentan tanto al transmisor de temperatura como al variador; además de cómo estaba la puesta a tierra en el sistema eléctrico, y la conclusión que se llevo era que el disturbio que ocurría al trabajar el variador de frecuencia era un fenómeno de interferencia provocada por radiofrecuencias (RFI) e inducciones electromagnéticas (EMI), que a mas de las armónicas son causantes de disturbios en cualquier sistema eléctrico.

Cabe señalar que para limitar los tres disturbios enunciados, se debe tener una *buen referencia de tierra* para todo el sistema y además de buenos blindajes y apantallamientos para cables de señal y de control, siguiendo todas las normas y requisitos de protección y aislamiento.

Es importante señalar que el estudio se *limita* a los efectos que causan los armónicos en la CCN, por lo que los dos disturbios mencionados son objeto de otro análisis.

## INFLUENCIA DE LOS ARMÓNICOS DE LA RED EXTERNA HACIA LA INTERNA DE LA CCN.

Como se indicó en el Anexo 1, la Compañía de Cervezas Nacionales se encuentra alimentada por una Línea de Subtransmisión ( L/S/T) a 69 KV, la cual nace en la S/E de Pascuales y se encuentra a una distancia de 1.5Km de CCN; a esta L/S/T se adhiere o se enlaza otra carga (CRIDESA), la cual se encuentra a una distancia eléctricamente hablando de 12 Km. de la CCN.

Según las mediciones que se tomaron en el equipo power logic, ubicado en el **secundario del transformador principal** (5MVA) de la S/E (69/13.2KV), los parámetros de calidad de energía, específicamente los índices que indican los niveles de armónicos son los siguientes:

Armónica Individual de <b>corriente</b>	H <sub>7</sub>
Magnitud Armónica Individual TDDh	3.17 A
% Magnitud Armónica Individual TDDh	<b>3.1 %</b>
Valor Max. Admitido IEEE-519 armónica individual TDDh	12.4 A
% Valor Max. Admitido IEEE-519 TDDh	<b>10 %</b>
Distorsión Demanda Total Corriente TDD	3.76 %
% Valor Max. Admitido IEEE-519 TDD	<b>12 %</b>

**Tabla A 4.1** Niveles de armónicos de corriente trafo.principal (69/13.2KV)

Armónica Individual de <b>voltaje</b>	H <sub>s</sub>
% Magnitud Armónica Individual	1.085 %
% Valor Max. Admitido IEEE-519 armónica individual de voltaje	<b>3 %</b>
Distorsión Armónica Total Voltaje THD	1.59 %
% Valor Max. Admitido IEEE-519 THD	<b>5 %</b>

**Tabla A 4.2** Niveles de armónicos de Tensión trafo.principal (69/13.2KV)

Los niveles de distorsión de corriente que la norma IEEE-519 nos enseñan, cambian si el PCC se toma en el lado **primario del transformador principal** de la S/E (69/13.2 KV), así tenemos:

Armónica Individual de corriente	H <sub>7</sub>
Magnitud Armónica Individual TDDh	<b>0.61 A</b>
% Magnitud Armónica Individual TDDh	3.1%
Valor Max. Admitido IEEE-519 armónica individual TDDh	<b>2.85 A</b>
% Valor Max. Admitido IEEE-519 TDDh	<b>12 %</b>
Distorsión Demanda Total Corriente TDD	3.76 %
% Valor Max. Admitido IEEE-519 TDD	<b>15 %</b>

**Tabla A 4.3** Niveles de armónicos de corriente trafo principal (69/13.2KV)  
Según los límites que el CONELEC propone en lo relacionado a valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales y de Distorsión Armónica Total (THD) se tiene lo siguiente:

Armónica Individual de voltaje medida	H <sub>5</sub>
Magnitud Armónica Individual	<b>749.44 V</b>
% Magnitud Armónica Individual	1.085%
% Valor Max. Armónica Individual Admitido (CONELEC)	<b>2 %</b>
Distorsión Armónica Total Voltaje THD	1.59 %
% Valor Max. Admitido THD (conelec)	<b>3 %</b>

**Tabla A 4.4** Niveles de armónicos de Tensión trafo principal(69KV) conelec

Al igual con el estándar que la IEEE propone en lo relacionado a voltaje se obtuvo lo siguiente:

Armónica Individual de voltaje	H <sub>5</sub> = 749.44 V
% Magnitud Armónica Individual	1.085 %
% Valor Max. Admitido IEEE-519 armónica individual de voltaje	1.5 %
Distorsión Armónica Total VoltajeTHD	1.59 %
% Valor Max. Admitido IEEE-519 THD	2.5 %

**Tabla A 4.5** Niveles de armónicos de Tensión trafo.principal(69KV)IEEE

Según la medición realizada los parámetros indican que los niveles de armónicos tanto de voltaje como de corriente, están dentro del rango de aceptación que organismos como el CONELC y la IEEE estipulan, lo que quiere decir que la CCN no está siendo ni emisora ni receptora de señales armónicas.

### **RESONANCIA**

Resonancia es un fenómeno que se da en instalaciones eléctricas debido al comportamiento de elementos inductivos y capacitivos, además de una buena parte de carga no lineal.

Cuando se tiene una combinación de cargas que toman que toman corrientes con distorsión y cargas que consumen reactivos de desplazamiento, la corrección del factor de potencia con bancos de capacitores puede dar lugar a una resonancia paralela excitada.

La condición de resonancia paralela se da en un circuito cuando el voltaje y la corriente están en fase a una frecuencia dada, esto es cuando la reactancia capacitiva es igual a la reactancia inductiva ( $X_c = X_l$ ), como consecuencia se da una distorsión elevada en los voltajes y sobrecorrientes en los capacitores.

Para saber en que condiciones se encuentra el sistema o la red de CCN, se realizó un análisis a los bancos de capacitores con los que cuenta la planta, uno en el área de servicios y el otro en el área de Envases, con una capacidad de 240 KVAR y 620 KVAR respectivamente.

### Banco de Capacitores Servicios

$$Q = 240 \text{ KVAR}$$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$F = 60 \text{ Hz}$$

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_c = 315 \text{ A}$$

$$C = \frac{I_c}{2 * \pi * f * V}$$

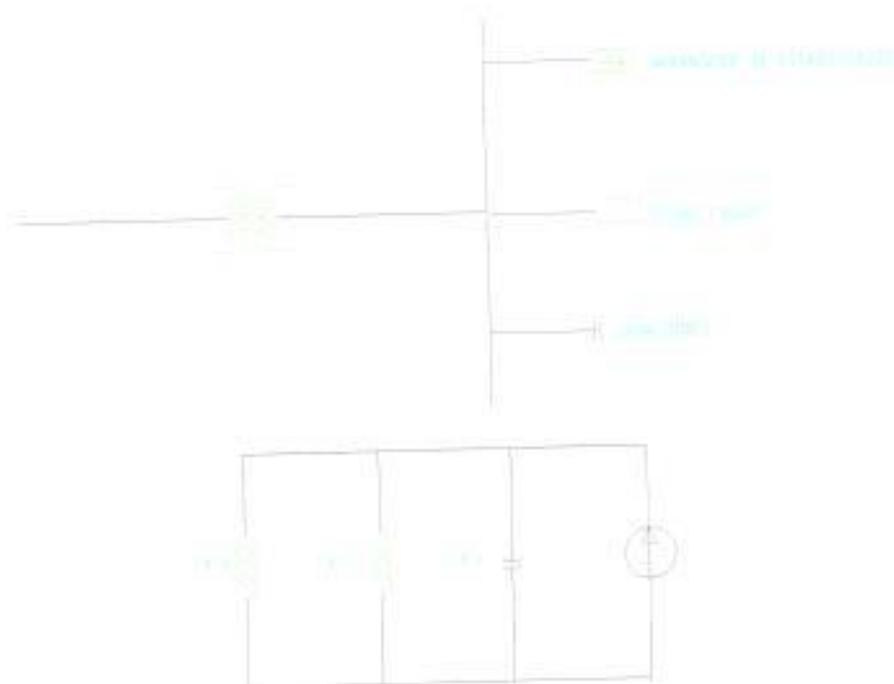
$$C = 1.9 \text{ mF} \quad \text{valor te\u00f3rico}$$

$$C = 2.7 \text{ mF} \quad \text{valor medido}$$

Para el estudio de resonancia necesitamos saber la frecuencia de resonancia que en el sistema se da esto es:

$$f_r = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{LC}}$$

donde la inductancia (L) es la del sistema.



**Fig A 4.7** An\u00e1lisis de Resonancia Banco Capacitores Servicios

$$X_l = 0.055 \mu\Omega$$

$$X_l(\text{real}) = X_l(\mu\Omega) * X_l(\text{base})$$

$$X_l(\text{base}) = \frac{K I^2 \text{ base}}{MVA \text{ base}}$$

$$X_l(\text{base}) = \frac{13.2}{2.5}$$

$$X_l(\text{base}) = 69.7 \Omega$$

$$X_l(\text{real}) = 3.83 \Omega$$

$$X_l = 0.00566 \mu\Omega$$

$$X_l(\text{real}) = X_l(\mu\Omega) * X_l(\text{base})$$

$$X_l(\text{real}) = 0.395 \Omega$$

$$X_{l \text{ paralelo}} = \frac{X_l^* X_l}{X_l + X_l}$$

$$X_{l \text{ paralelo}} = 0.358 \Omega$$

$$I = \frac{X_{l \text{ paralelo}}}{2 * \pi * f}$$

$$I = 0.5 * 10^{-3} \text{ H}$$

$$f = 99.35 \text{ Hz} \quad (\text{con capacitancia medida})$$

$$f = 118.46 \text{ Hz} \quad (\text{con capacitancia teórica})$$

Como la frecuencia armónica es de 420 Hz y la frecuencia de resonancia medida como teórica es de 99.35 Hz y 118.46 Hz respectivamente, entonces se puede concluir que el banco de capacitores de servicios no está en resonancia con el sistema.

## Banco de Capacitores Envases

$$Q = 620 \text{ KVAR}$$

$$V = 440 \text{ V}$$

$$F = 60\text{Hz}$$

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_c = 813.54 \text{ A}$$

$$C = \frac{I_c}{2 * \pi * f * V}$$

$$C = 4.91\text{mF} \text{ valor teórico}$$

$$C = 2.39\text{mF} \text{ valor medido}$$

Para el estudio de resonancia necesitamos saber la frecuencia de resonancia que en el sistema se da esto es:

$$f_r = \frac{1}{2 * \pi * \sqrt{LC}}$$

dónde la inductancia (L) es la del sistema.

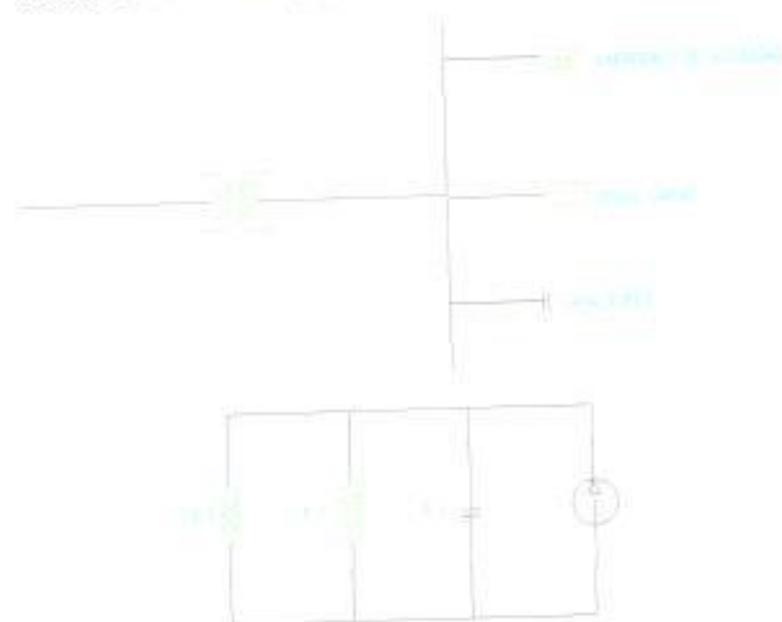


Fig A 4.8 Análisis de Resonancia Banco Capacitores Envases

$$Xl = 0.055 pu$$

$$Xl(real) = Xl(pu) * Xl(base)$$

$$Xl(base) = \frac{KV^2 base}{MVA base}$$

$$Xl(base) = 116.16 \Omega$$

$$Xl(real) = 6.388 \Omega$$

$$Xl = 4.3 * 10^{-3} pu$$

$$Xl(real) = 0.5 \Omega$$

$$X(paralelo) = 0.4629 \Omega$$

$$L = 1.228 mH$$

$$fr = 93Hz \text{ (capacitancia medida)}$$

$$fr = 65Hz \text{ (capacitancia teórica)}$$

### ANÁLISIS DE LA CARACTERÍSTICA IMPEDANCIA – FRECUENCIA

Para este análisis se debe tomar en cuenta las diferentes frecuencias armónicas y la impedancia paralela total, es decir, tanto en envases como en servicios donde se tienen banco de condensadores, se consideran las distintas frecuencias armónicas y la impedancia paralela total del sistema, tal como se indica en los siguientes estudios:

$$Z(paralelatotal) = \frac{2 * \pi * f * L}{1 - (2 * \pi * f)^2 * L * C}$$

f: frecuencia armónica

L: inductancia del sistema

C: capacitancia del banco

	Frecuencia armonica	Impedancia
1	60	0.322221
2	120	1.388463273
3	180	0.504583654
4	240	0.326462069
5	300	0.245550427
6	360	0.19819779
7	420	0.166722515
8	480	0.144141302
9	540	0.127085833
10	600	0.113717147
11	660	0.102939663
12	720	0.094057181
13	780	0.086604752
14	840	0.080259338
15	900	0.074789152
16	960	0.070023358
17	1020	0.065833156
18	1080	0.062119534
19	1140	0.058805082
20	1200	0.055828378
21	1260	0.053140046
22	1320	0.050699928
23	1380	0.048475023
24	1440	0.046437951
25	1500	0.044565806
26	1560	0.042839271
27	1620	0.041241943
28	1680	0.039759798
29	1740	0.038380779
30	1800	0.037094456
31	1860	0.035891766

Frecuencia de resonancia es 65 Hz  
 Inductancia = 0.001228 H  
 Capacitancia = 0.00191 F teórica

Impedancia Vs Frecuencia armonica ENVASES

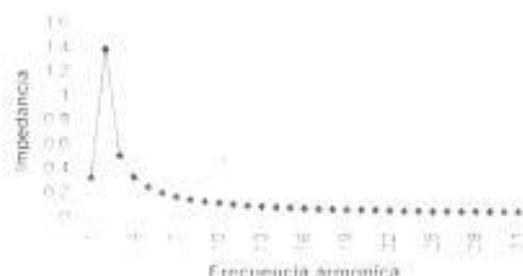


Tabla A 4.6 Característica Imped vs Frecuencia faradios teóricos

	Frecuencia armonica	Impedancia
1	60	0.792021976
2	120	1.388463273
3	180	0.504583654
4	240	0.326462069
5	300	0.245550427
6	360	0.19819779
7	420	0.166722515
8	480	0.144141302
9	540	0.127085833
10	600	0.113717147
11	660	0.102939663
12	720	0.094057181
13	780	0.086604752
14	840	0.080259338
15	900	0.074789152
16	960	0.070023358
17	1020	0.065833156
18	1080	0.062119534
19	1140	0.058805082
20	1200	0.055828378
21	1260	0.053140046
22	1320	0.050699928
23	1380	0.048475023
24	1440	0.046437951
25	1500	0.044565806
26	1560	0.042839271
27	1620	0.041241943
28	1680	0.039759798
29	1740	0.038380779
30	1800	0.037094456
31	1860	0.035891766

Frecuencia de resonancia es 93 Hz  
 Inductancia = 0.001228 H  
 Capacitancia = 0.00230 F medido

Impedancia Vs Frecuencia armonica ENVASES

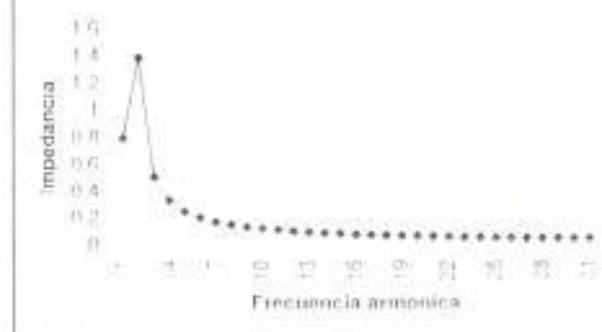


Tabla A 4.7 Característica Imped vs Frecuencia faradios medidos

## ÁREA DE SERVICIOS

	Frecuencia armonica	Impedancia
1	60	0.56350031
2	120	1.56332057
3	180	0.47105226
4	240	0.29643092
5	300	0.22070403
6	360	0.17724506
7	420	0.14857092
8	480	0.12830376
9	540	0.11298589
10	600	0.10101453
11	660	0.09138406
12	720	0.08345951
13	780	0.07681887
14	840	0.07117004
15	900	0.06630407
16	960	0.0620673
17	1020	0.05834412
18	1080	0.0550458
19	1140	0.05210306
20	1200	0.04946098
21	1260	0.04707547
22	1320	0.0449107
23	1380	0.04293724
24	1440	0.0411307
25	1500	0.03947066
26	1560	0.03793004
27	1620	0.03652394
28	1680	0.03521018
29	1740	0.03398795
30	1800	0.03284797
31	1860	0.03178219

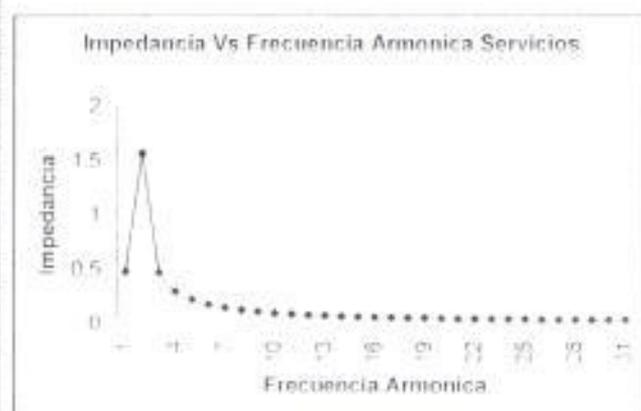
Frecuencia de resonancia es 99.35 Hz  
 Inductancia 0.00095 H  
 Capacitancia 0.0027 F medida



**Tabla A 4.8** Característica Imped vs Frecuencia faradios medidos

	Frecuencia armonica	Impedancia
1	60	0.48171862
2	120	1.56332057
3	180	0.47105226
4	240	0.29643092
5	300	0.22070403
6	360	0.17724506
7	420	0.14857092
8	480	0.12830376
9	540	0.11298589
10	600	0.10101453
11	660	0.09138406
12	720	0.08345951
13	780	0.07681887
14	840	0.07117004
15	900	0.06630407
16	960	0.0620673
17	1020	0.05834412
18	1080	0.0550458
19	1140	0.05210306
20	1200	0.04946098
21	1260	0.04707547
22	1320	0.0449107
23	1380	0.04293724
24	1440	0.0411307
25	1500	0.03947066
26	1560	0.03793004
27	1620	0.03652394
28	1680	0.03521018
29	1740	0.03398795
30	1800	0.03284797
31	1860	0.03178219

Frecuencia de resonancia es 118.46 Hz  
 Inductancia 0.00095 H  
 Capacitancia 0.0019 F Teórica



## ANEXO 5

### SOLUCIÓN TÉCNICO-ECONOMICA EN EL AREA DE COCIMIENTO

#### PROBLEMA

En el área de cocimiento, se cuenta con una bomba de maceración encargada de transferir el producto de las pailas de adjunto a la de malta y de la de malta al filtro. Esto se realiza mediante la ayuda de un variador de frecuencia, el cual controla el motor que acciona dicha bomba.

La velocidad de la bomba varía dependiendo del producto, sea este Pilsener, Dorada, Club o Pony Malta.

En el área de cocimiento de CCN se instaló un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) el cual cuenta con equipos como: PLC's, PC's, instrumentos de medición de temperatura, flujo, presión, nivel y equipos electromecánicos como relés de sobrecarga, disyuntores, variadores de frecuencia, motores, bombas, electro válvulas neumáticas, válvulas motorizadas, etc.

En esta área surgió un problema el cual es la transmisión de la señal del control lógico programable (PLC) al computador personal (PC), esto es al trabajar el variador de frecuencia. Esta señal errónea da como consecuencia una variación de temperatura en la paila de malta, que se observaba en el computador.

A continuación se indica una tabulación de la temperatura registrada antes y cuando el variador entraba en funcionamiento.

Temperatura °C Paña de Malta		TIERRA DEL SISTEMA ( REFERENCIA LA S/E )
Antes de arrancar Variador	Después de arrancar Variador	Diferencias promedios en °c
53,6	51,3	2,3
76,9	74,5	2,4
45,5	43,5	2
52	50,7	1,3
76,1	73,5	2,6
45,3	43,5	1,8
51,5	49,5	2
76,1	74,3	1,8
46,8	45	1,8
51,8	50,3	1,5
76,1	74,5	1,6
46,1	44,6	1,5
51,9	50,4	1,5
77,5	75,3	2,2
46,5	45,2	1,3
52,3	50,7	1,6
77,1	75,5	1,6
46,5	44,7	1,8
51,6	50	1,6
76,1	74,1	2
46,6	45	1,6
52	50,6	1,4
76,1	74	2,1
53	51	2
75,3	73,6	1,7
75,6	72,6	3
46,5	45,1	1,4
53,5	52	1,5
76,9	74,4	2,5
49,7	47,7	2
52,3	50,9	1,4
76,7	74,2	2,5
46,3	44,8	1,5
52,1	51	1,1
76,1	74,1	2
46,9	44,1	1,8
52,1	50,2	1,9
46,7	45	1,7
52	50,1	1,9
76,2	74,3	1,9
46,9	47,1	1,8
52,6	51,1	1,5
75,3	74	1,3
52,3	51	1,3
76,5	75,2	1,3

PROMEDIO

1,78444444

**Tabla A5.1** Variación de temperatura (referencia de tierra S/E (69/13.2KV))

## CAUSAS

Las posibles causas para que se de el disturbio antes mencionado son las siguientes:

- Transcientes
- Interferencia
- Sistema ineficaz de Puesta a Tierra

La mayor causa de fallas de equipos electrónicos es el sobre-esfuerzo eléctrico que usualmente originan los **Transitorios** causados por descargas atmosféricas, maniobras de interrupción de cargas inductivas o descargas electrostáticas.

La **Interferencia** se da por los siguientes disturbios:

- Armónicos
- Radiofrecuencias (RFI)
- Inducción Electromagnética (EMI)

La interferencia causada por armónicas se genera por fuentes de tipo conmutada de las computadoras y variadores de frecuencia.

La interferencia en radiofrecuencias (RFI) es causada por transmisores radiales y por componentes electromagnéticos trabajando a frecuencia.

La inducción electromagnética (EMI), es un ruido eléctrico que se convierte en voltaje en un sistema eléctrico, las fuentes son las mismas que generan la RFI.

Una mala referencia de Tierra como para equipos que componen el sistema SCADA del área de cocimiento de CCN, es la causa probable para que se den los eventos antes mencionados.

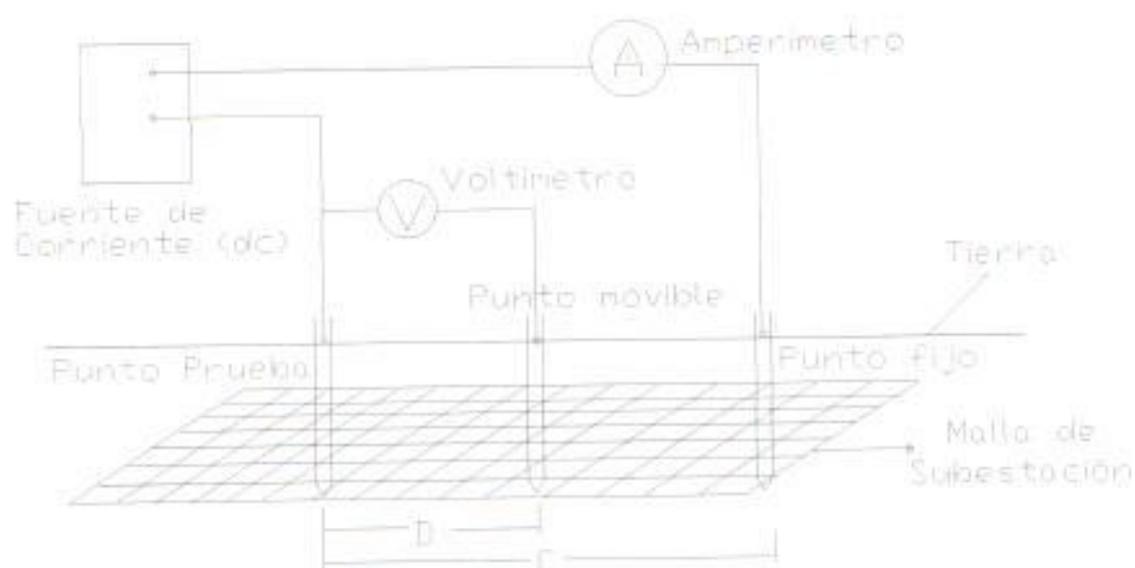
## SOLUCIÓN

Para reducir y controlar los efectos que originan las armónicas, radiofrecuencias e inducción electromagnética, se debe tener un buen sistema de Puesta a Tierra para los diferentes equipos electro-electrónicos.

La referencia de tierra del área de cocimiento y específicamente del tablero MCC donde se localizan los diferentes equipos electro-electrónicos en estudio,

viene de la Subestación Principal (69/13.2KV), por lo cual se obtuvo en realizar el siguiente estudio:

Por el método de caída de Potencial se obtuvo la resistencia a tierra de la S/E, el método consiste básicamente en variar la distancia entre el punto fijo y el emparrillado de tierra bajo prueba, con lo que se obtendrá una relación entre la resistencia y la distancia, un esquema es el siguiente:



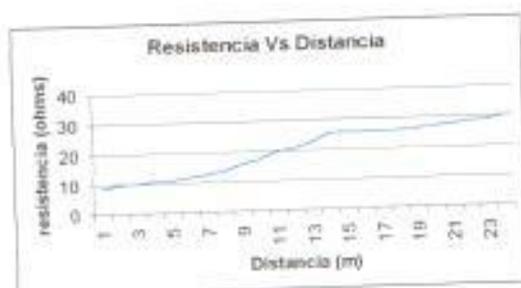
**Fig A 5.1** Esquema de estudio Puesta a Tierra S/E 69/13.2KV

C: Ancho de S/E

D: 62% de C

$R = V/I$

Distancia (m)	Resistencia (ohms)
1.1	8.5
2.2	8.8
3.3	9.9
4.4	10.5
5.5	10.7
6.6	11.9
7.7	12.7
8.8	13.6
9.9	15.8
11	17.5
12.1	19.8
13.2	20.8
14.3	22.5
15.4	25.4
16.5	25.4
17.6	25.4
18.7	25.8
19.8	25.9
20.9	26.3
22	26.9
23.1	27.5
24.2	28.6
25.3	28.9
26.4	30



**Tabla A 5.2** Variación de Resistencia con Distancia

Teniendo conocimiento de los valores de resistencia a tierra de la S/E principal de Cervecería Nacional, aproximadamente 25 ( $\Omega$ ) ohms la cual no es recomendable ya que la resistencia eléctrica total del sistema de tierra debe conservarse en valor (incluyendo todos los elementos que forman el sistema) menor de 5 ( $\Omega$ ) ohms para este tipo de S/E.

Con lo que se obtuvo por diseñar una nueva referencia de tierra para el área de conocimiento y en especial para el tablero **mcc** el cual es la referencia para los equipos tales como PLC, fuentes ac - dc y transmisores de temperatura. Cabe destacar que el conjunto variador-motor posea una tierra independiente del sistema tal como lo indica la figura A5.3, esta referencia consistía en una varilla copperweld de 3/8" x 6' enterrada en una mezcla de arcilla con carbón, por lo que se decidió hacer una prueba la cual consistió en el método de triangulación de tres puntos, donde se utilizan tres varillas, la una de prueba y dos auxiliares tal como lo indica el siguiente esquema:



**Fig A 5.2** Prueba de resistencia a tierra del variador frecuencia

Este valor de resistencia a tierra  $\text{R}$  del conjunto varidor-motor es de aproximadamente de 10 ( $\Omega$ ) ohms, esta resistencia se mide al medir el voltaje en paralelo con la resistencia a tierra que haya de medirse, así como al medir la corriente que pasa por dicha resistencia. El valor medido no es recomendable, ya que este valor debe estar en máximo 2 ( $\Omega$ ) según las normas, por lo que se decidió que la nueva referencia de tierra sea la misma que se implementara para el tablero MCC. Esta puesta a Tierra consiste en instalar una varilla copperweld de 5/8" x 8' que estará rodeada de *bentonita* la misma que sirve para mejorar la resistividad del terreno y así garantizar un aterrizamiento eficaz. La *bentonita* es una arcilla consistente en el mineral montmorillonita el cual es un silicato de Aluminio que tiene de características como de absorber hasta cinco veces su peso de agua y de hincharse hasta 13 veces su volumen en seco, tiene una resistividad de 2.5  $\Omega$ -m con humedad del 300%. Una vez instalada la referencia de tierra, se mejorará los blindajes y apantallamientos de cables de señal y de control, siguiendo todas las normas y requisitos de protección y aislamiento para cualquier señal indeseable en el sistema.

#### Materiales.

Material	Cantidad
Varilla copperweld 5/8" x 8'	1
Conductor Cu trenzado # 6 AWG - THW	25 m
Conector (buried) de compresión	1
Elemento químico Bentonita	28 sacos
Tuberia metálica EMT 1/2 "	25 m

**Tabla A 5.3** Materiales para la referencia de tierra del tablero MCC

#### Excavación

- Altura: 3 m
- Ancho: 0.6 m
- Profundidad: 0.6 m

#### Costo Económico.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Varilla copperweld 5/8" x 8'	UND	1	\$12.33	\$12.33
Conductor Cu trenzado # 6 AWG - THW	Metros	25	\$0.66	\$16.50
Bentonita (sacos de 100 lb c/u)	Sacos	28	\$7.80	\$218.40
Conectores Buried de compresión	UND	1	\$2.36	\$2.36
<b>Subtotal</b>				<b>\$249.59</b>
<b>Costo de IVA 14%</b>				<b>\$27.30</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$276.89</b>

**Tabla A 5.4** Costo económico de la referencia de tierra del tablero MCC

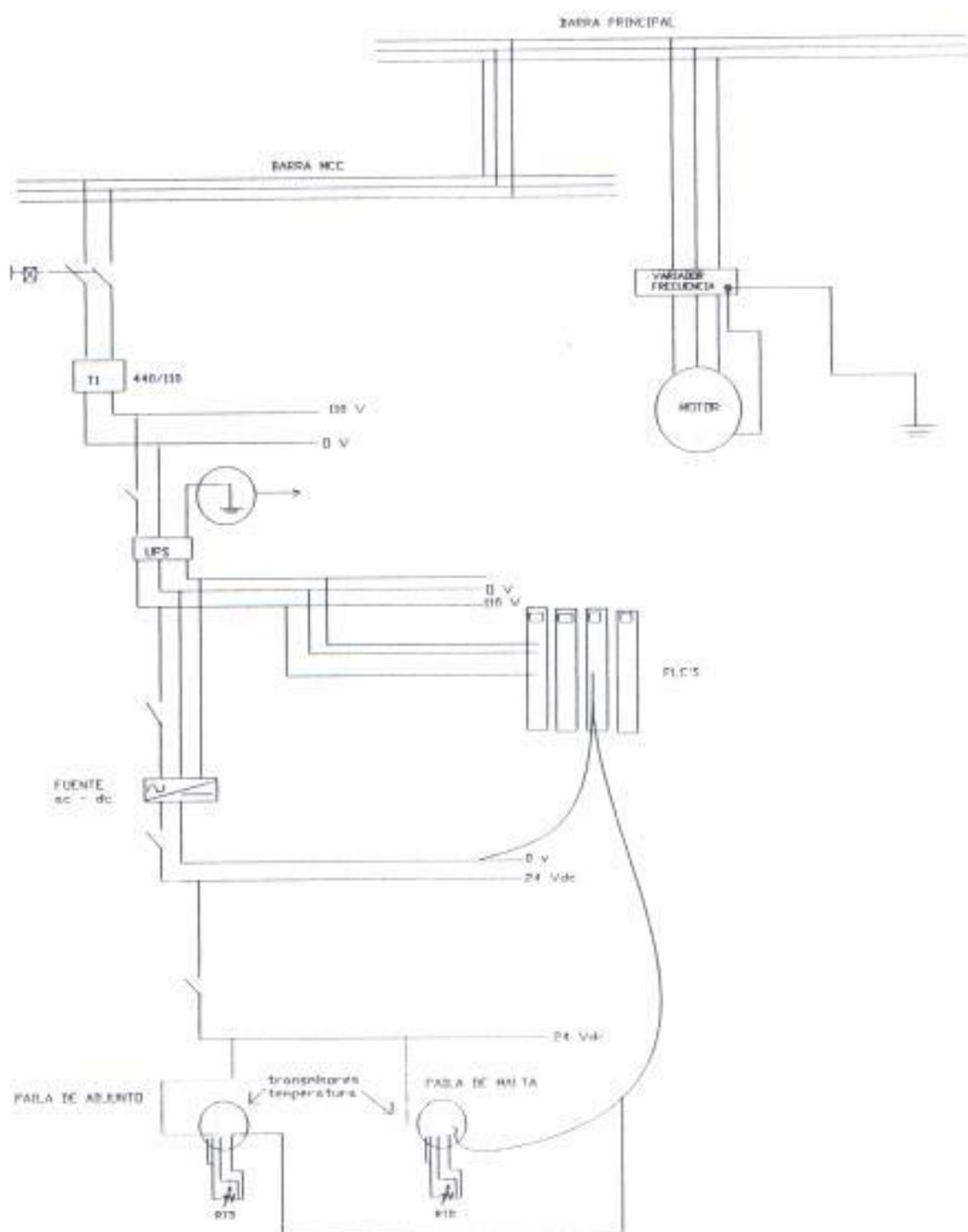


Fig A5.3 Implementación de puesta a tierra del tablero MCC

**IMPLEMENTACIÓN DE NUEVA REFERENCIA DE PUESTA A TIERRA PARA EL TABLERO MCC DE COCIMIENTO.**



**Fig A5.4** Esquema de puesta a tierra del tablero MCC

Además de la implementación de la nueva referencia de tierra, también se cambió la topología de la red, es decir se cambió la alimentación del variador de frecuencia que inicialmente estaba en la barra MCC, el cambio se lo realizó a la barra del tablero principal del área.

Con estas modificaciones se obtuvieron las siguientes tabulaciones de temperatura:

Temperatura °C Paila de Malta		Tierra compartida del UPS con el Variador
Antes de arrancar Variador	Después de arrancar Variador	Diferencias promedios en °c
53,6	53,1	0,5
76,9	76,6	0,3
45,5	45	0,5
52	51,5	0,5
76,1	75,6	0,5
46,3	45,1	0,2
51,5	51	0,5
76,1	75,6	0,5
46,8	46,2	0,6
51,8	51,1	0,7
76,1	75,9	0,2
46,1	45,6	0,5
51,9	50,6	1,3
77,5	77,2	0,3
46,5	46,2	0,3
52,3	51,9	0,4
77,1	76,9	0,2
46,5	46	0,5
51,6	51	0,6
76,1	75,9	0,2
46,6	45,6	1
52	51,2	0,8
76,1	75,6	0,5
53	52,1	0,9
75,3	74,6	0,7
75,6	74,9	0,7
46,5	45,9	0,6
53,5	52,9	0,6
76,9	76	0,9
49,7	49,1	0,6
52,3	51,9	0,4
76,7	75,6	1,1
46,3	46	0,3
52,1	51,6	0,5
76,1	75,3	0,8
45,9	45	0,9
52,1	51,8	0,3
46,7	45,6	1,1
52	50,1	1,9
76,2	74,3	1,9
48,9	47,1	1,8
52,6	51,1	1,5
75,3	74,8	0,5
52,3	51,6	0,7
76,5	75,2	1,3
PROMEDIO		0,792222222

**Tabla A 5.5** Variación de temperatura (referencia de tierra tablero MCC)

Estos valores muestran que el resultado a disminuido en un 50%, con lo cual nuestro estudio se centra en el nivel de armónicos que genera el variador de frecuencia que acciona la bomba de maceración.

En la tabla A3.1 se muestra los niveles de armónicos de corriente que genera el variador, los cuales fueron tomados en el punto de acoplamiento común escogido tal como lo indica la Fig A 2.7.

En este punto se puede ver la forma de onda típica (fig A3.1) de los variadores de frecuencia de 6 pulsos, donde la armónica incidente es la quinta(65% de la fundamental) y la distorsión armónica total (THD o TDD) es del 82.5%

Cabe tomar en consideración que el variador trabaja 15 minutos cada tres horas aproximadamente, con lo que la medición se realizó durante siete días continuos cada 15 minutos tal como lo muestra la tabla A 2.8.

Con el análisis realizado en el Anexo 4, se concluye que el flujo de las señales armónicas es hacia las cargas con impedancias pequeñas.

Para saber como reacciona el sistema red-variador-motor se decidió instalar una reactancia trifásica a la entrada del variador, (generador de señales armónicas) este reactor viene estipulado por las características del variador esto es:

Capacidad: 50 Hp

Nivel de Voltaje: 440 V

Corriente: 80 A

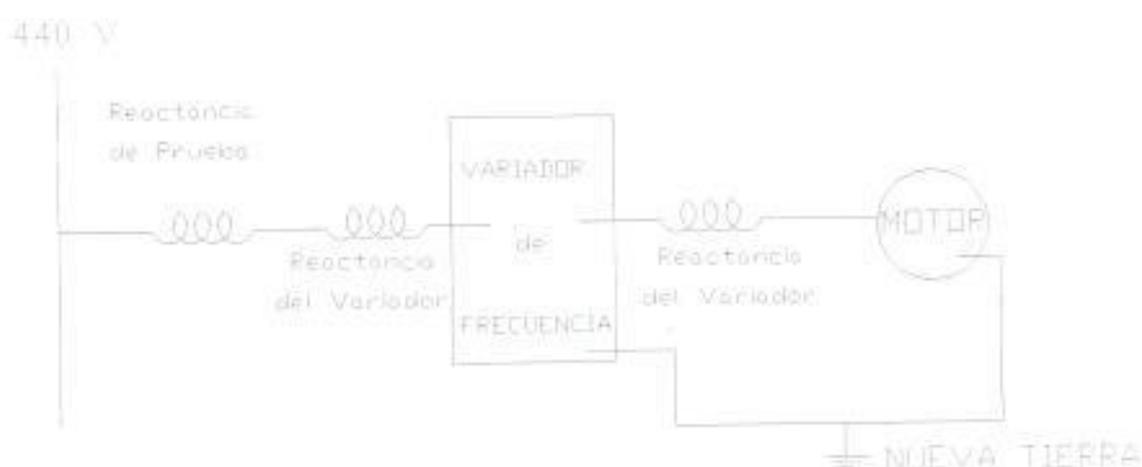
Frecuencia: 60 Hz

Modelo: MDV 3000/3

Inductancia: 0.176 mH

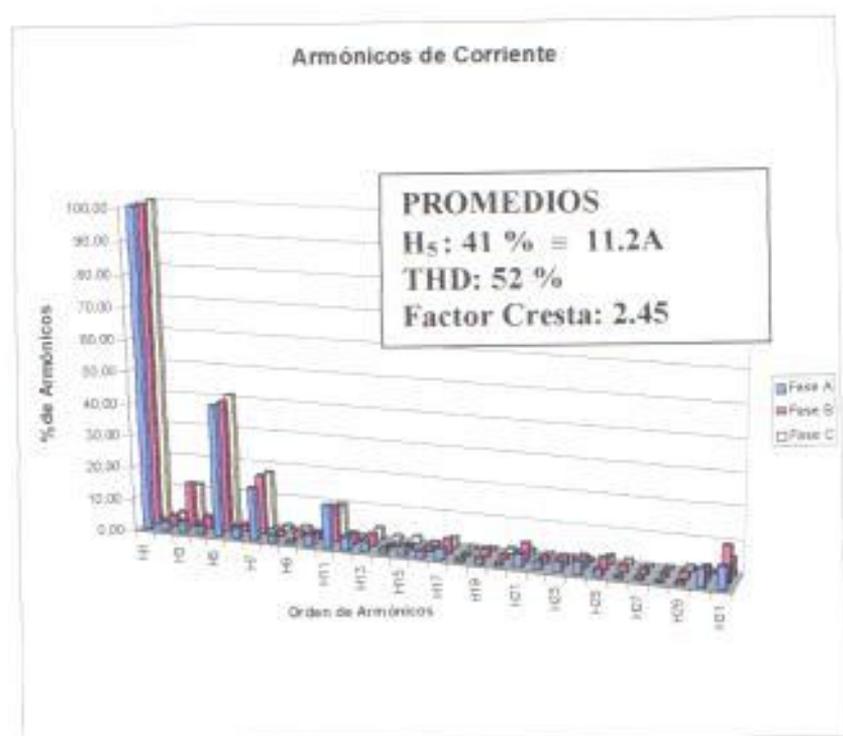
$\Delta V = 5.31$  v

Su costo económico es de \$ 294 (fuente OTESA), este reactor se lo instaló tal como indica la figura A 5.5

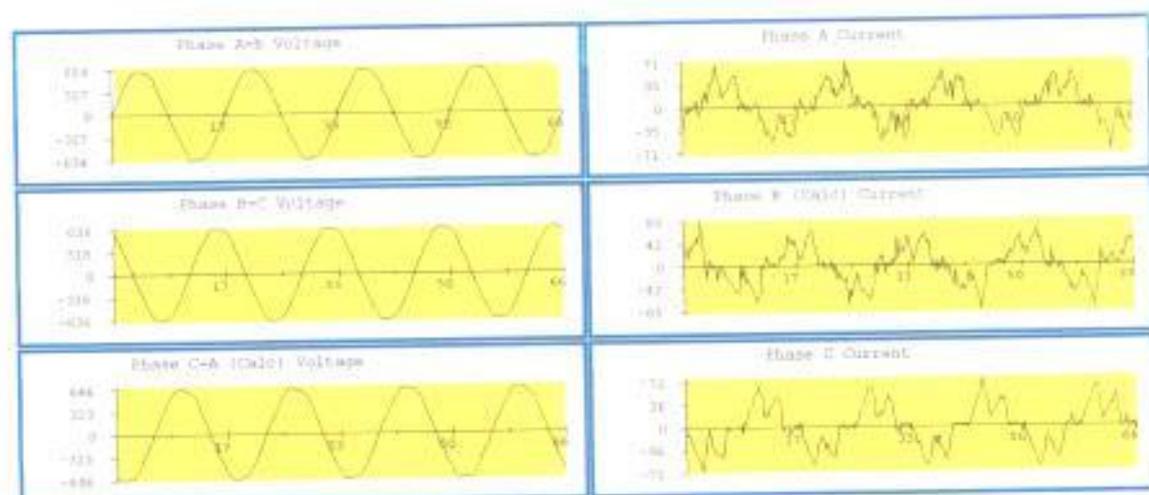


**Fig A 5.5** Esquema de instalación de reactancia de prueba var.frec

Una vez instalada esta reactancia se procedió a realizar la medición la cual nos dio el siguiente resultado:



**Fig A5.6** Diagrama de barras con reactancia de prueba var.frec



**Fig A 5.7** Forma de onda del variador de frecuencia (react prueba)

Esto nos indica que se ha logrado una reducción del 65% al 41% en lo referente a armónica individual de corriente, esto es en magnitud de 17.95(A) a 11.2(A) al igual que el THD del 82.58% al 52%.

Una vez realizadas las operaciones, nueva referencia de tierra, cambio en la topología de la red, e inclusión de un reactor trifásico se realizó una nueva lectura de temperatura como la que indica la Tabla A5.6

Temperatura °C Paila de Malta		Tierra compartida del UPS con el Variador
Antes de arrancar Variador	Después de arrancar Variador	Diferencias promedios en °c
53,6	53	0,6
76,9	76,5	0,4
45,5	45	0,5
52	51,2	0,8
76,1	75,3	0,8
45,3	45,2	0,1
51,5	51	0,5
76,1	75,6	0,5
46,8	46,2	0,6
51,8	51	0,8
76,2	75,8	0,4
46,9	46	0,9
51,6	50	1,6
78	77	1
46,5	46,1	0,4
52,3	51,8	0,5
78	76,8	1,2
47	46	1
51,9	50,9	1
76,5	76	0,5
47	45,6	1,4
52	51,2	0,8
76,1	75,6	0,5
53	52,1	0,9
75,3	74,6	0,7
75,6	74,9	0,7
46,5	45,9	0,6
53,5	52,9	0,6
76,9	76	0,9
49,7	49,1	0,6
52,3	51,9	0,4
76,7	75,6	1,1
46,3	46	0,3
52,1	51,6	0,5
76,1	75,3	0,8
45,9	45	0,9
52,1	51,8	0,3
46	45,6	0,4
51	50,1	0,9
75	74,3	0,7
48,8	47,1	1,7
52	51,1	0,9
75	74,8	0,2
52,6	51,6	1
77	75,2	1,8

PROMEDIO

0,74888889

**Tabla A5.6** Variación de temperatura (refer.tierra tablero mcc y react.prueb)

Esto nos indica que la inclusión de la reactancia no ayudo a disminuir la variación de temperatura que se da al trabajar el variador de frecuencia, lo que dice claramente que el problema no es causado por señales armónicas sino por otro disturbio, como los mencionamos anteriormente que es objeto de otro estudio

A nivel del área total la medición se realizó en el primario del banco de transformadores que alimenta a esta área, esta dio como resultado lo siguiente:

<i>Equipo</i>	<i>Banco de Transformadores</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>0.58 A = 7.54%</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>4.5 A = 12 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>4.1%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE-519)</i>	<i>12%</i>

**Tabla A 5.7** Niveles de armónicos corriente Banco trafos cocina

<i>Equipo</i>	<i>Banco de Transformadores</i>
<i>Armónico de Voltaje (L-N)</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>80.84 V<sub>LN</sub></i>
<i>Valor permisible de H5 (CONELEC)</i>	<i>447.2 V<sub>LN</sub> = 6 %</i>
<i>Distorsión Armónica Total (THD)</i>	<i>1.49%</i>
<i>Valor permisible de THD (CONELEC)</i>	<i>8%</i>

**Tabla A 5.8** Niveles de armónicos tensión Banco trafos cocina

Las tablas nos indican que los valores de señales armónicas tanto de corriente como de voltaje están dentro de los niveles admitidos que la norma IEEE-519 y el CONELC estipulan, por cuanto el área de cocimiento no es generadora de señales armónicas.

**SOLUCIÓN TÉCNICO-ECONOMICA EN EL AREA DE BODEGA DE FRIO Y EDIFICIO ADMINISTRATIVO.**

En esta área la medición se centro en el primario de los transformadores que alimentan a cargas no lineales, tales como UPS, computadores personales, lámparas fluorescentes y equipos de oficina en general, así como en el primario del banco de transformadores, tal como se indica en la fig A2.9

A continuación se muestran los resultados de las mediciones:

<i>Equipo</i>	<i>Transformador seco #1</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H3</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>2.74 A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>1.76 A = 12 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>48.28%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<i>15%</i>
<i>Factor Cresta</i>	<i>2.25</i>

**Tabla A 5.9** Niveles de armónicos corriente transformador seco #1 Bod Frio

<i>Equipo</i>	<i>Transformador seco #2</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>3.9 A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>3.46 A = 12 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>44.53%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<i>15%</i>
<i>Factor Cresta</i>	<i>2.75</i>

**Tabla A 5.10** Niveles de armónicos corriente transformador seco #2 Bod Frio

<i>Equipo</i>	<i>Transformador seco #3(alimt. UPS's)</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>4.42 A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>2.76 A = 12 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>74.72%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE - 519)</i>	<i>15%</i>
<i>Factor Cresta</i>	<i>2.25</i>

**Tabla A 5.11** Niveles de armónicos corriente transformador seco #3 Bod Frio

Se puede ver que la magnitud del tercer y quinto armónico además de la Distorsión de Demanda Total (TDD), están sobre el nivel admisible que el estándar de la IEEE -519 señala; claro no como en el caso de los variadores de frecuencia de cocimiento, esto tiene una explicación, pues la medición se realizó en el primario del transformador donde la relación de transformación disminuye la magnitud de la armónica y los más importante es la conexión del transformador (delta-estrella) lo cual impide que las armónicas fluyan hacia la red en gran proporción.

Es importante destacar el factor cresta quien nos dice que si este parámetro es mayor que  $\sqrt{2}$ , entonces se enfatiza que lo que genera disturbios armónicos son fuentes conmutadas, que PC's, UPS's poseen.

Tal como se indica en la fig A 2.9 el transformador #3 alimenta a UPS's, los cuales como se explico, son generadores de armónicos; por lo que el enfoque en particular para este tipo de cargas, que son netamente no lineales, se lo propone desde el punto de vista de la instalación eléctrica la cual para que sea confiable y evite problemas con disturbios armónicos debe ser diseñada con los parámetros que exigen las cargas no lineales, esto es, debido a que por las fases se tendrá un consumo no lineal y por el conductor neutro circulan a más de los desvalances de fases, armónicos, además cabe señalar que este no tiene

protección de sobrecarga, por lo cual este debe dimensionarse por lo menos 1.7 veces la corriente nominal de su fase. A continuación se indica el caso de la instalación eléctrica que energiza los UPS's y estos alimentan prácticamente en gran porcentaje los sistemas computacionales de CCN, en la siguiente tabla se muestra una medición que se tomo en horas pico.

**Corrientes medidas en el Tablero (Edif.Admt)**

**UPS (sistemas-servidores)**

Fase A	29.7 Amperios
Fase B	30.6 Amperios
Fase C	29 Amperios
Neutro	48.3 Amperios

**Tabla A 5.12** Medición de Corriente UPS sistemas

La corriente máxima para el conductor de fase con sección #4 AWG-TW es de 70 A, y para el conductor neutro con sección #2 AWG-TW es de 95 A.

Como se puede apreciar, por el neutro circula un 50.8% de la corriente que soporta este conductor, además según lo mencionado el neutro debe ser capaz de conducir 1.7 veces la corriente de fase, en este caso mínimo 51 (A), por lo cual prácticamente el conductor cumple con la norma estipulada cuando se tiene consumo no lineal.

Con lo señalado, se puede concluir que siendo los UPS's los mayores generadores de armónicos, y que la medición de corriente indica que la instalación eléctrica esta acorde a las normas, entonces en la actualidad los niveles de armónicos son manejables en esta área, más es importante señalar que en el caso de que se incrementen cargas no lineales, hay que tomar muy en cuenta la instalación eléctrica del área, a fin de evitar problemas futuros.

Para tener una visión de cómo están los niveles de armónicos en el área, se indican las siguientes tablas:

<i>Equipo</i>	<i>Banco de Transformadores</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H3</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>0.16 A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>1.42 A = 10 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>3.76%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<i>12%</i>
<i>Factor Cresta</i>	<i>1.51</i>

**Tabla A 5.13** Niveles de armónicos corriente Banco de Tranfos Bod Frio

<i>Equipo</i>	<i>Banco de Transformadores</i>
<i>Armónico de Voltaje (L-N)</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>78.89 V<sub>LN</sub></i>
<i>Valor permisible de H5 (CONELEC)</i>	<i>457.2 V<sub>LN</sub> = 6 %</i>
<i>Distorsión Armónica Total (THD)</i>	<i>1.43%</i>
<i>Valor permisible de THD (CONELEC)</i>	<i>8%</i>

**Tabla A 5.14** Niveles de armónicos tensión Banco de Tranfos Bod Frio

Estos valores indican que el área de Bodega de Frio y Edificio Administrativo poseen sus niveles de armónicos tanto de tensión como de corriente dentro del nivel admisible que el CONELEC y la norma IEEE-519 establecen.

## SOLUCIÓN TÉCNICO-ECONOMICA EN EL AREA DE SERVICIOS

En el área de servicios las principales fuentes de señales armónicas son los arrancadores de estado sólido (easy star), donde según mediciones realizadas (fig A2.8) el nivel de armónicos de corriente está dentro del rango admisible que el estándar IEEE-519 menciona.

Aquí se indican las mediciones realizadas:

<i>Equipo</i>	<i>Arrancador de Estado Sólido</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>8.31 A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>91.4 A = 7 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>2.75%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<i>8%</i>

**Tabla A 5.15** Niveles de armónicos corriente Arrancad. Estado sólido

Cabe señalar que los arrancadores de estado sólido, dos trabajan el 70 % del año y otro se suma cuando la demanda lo exige, también es importante mencionar que uno de los arrancadores se bypassea, es decir que solo trabaja al momento de accionar el motor, luego este sale dejando accionado al motor y al sistema, por tales motivos la generación de armónicos no es muy representativa.

Además en esta área se cuenta con un banco de capacitores, donde también se realizó mediciones, para saber como esta el nivel de armónicos que pueden afectar el trabajo de los condensadores.

La armónica que se presenta con mayor magnitud es la séptima con el 24.72% de la fundamental, tal como se indica en la tabla A 2.16.

Al conocer estos valores se centralizó el estudio al fenómeno resonancia que se podría dar, pero el estudio dio como resultado que **no** existe problema de esta índole, debido a que la frecuencia de resonancia dio el resultado de 118 Hz (H<sub>2</sub>) y la armónica de mayor magnitud que se presenta es la séptima (H<sub>7</sub>) es decir a 420 Hz, por lo cual el sistema no esta entrando en resonancia.

Finalmente se hizo la medición en el primario del transformador Principal del área en cuestión, donde los niveles de armónicos de corriente como de voltaje están dentro del rango que exige el CONELEC y la norma IEEE-519, esto es:

<i>Equipo</i>	<i>Transformador Principal</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H11</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>0.65 A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>4.58 A = 7 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>1.6%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<i>8%</i>

**Tabla A 5.16** Niveles de armónicos corriente Transf. Principal servicios

<i>Equipo</i>	<i>Transformador Principal</i>
<i>Armónico de Voltaje</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>82.5V<sub>LN</sub></i>
<i>Valor permisible de H5 (CONELEC)</i>	<i>447.2 V<sub>LN</sub> = 6 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>2%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (CONELEC)</i>	<i>8%</i>

**Tabla A 5.17** Niveles de armónicos tensión Transf. Principal servicios

Por lo que respecta a esta área como lo indican los parámetros de niveles de armónicos, no infringen ninguna norma tanto a nivel de corriente como de voltaje, entonces no a merita una solución, más se enuncian algunas recomendaciones en el anexo siguiente.

## SOLUCIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA EN EL ÁREA DE ENVASES

En el área de envases la medición se centralizó en los tableros de distribución, tanto de Super Línea como en Línea 3, ya que en ellas existe un gran porcentaje de cargas no lineales como los variadores de frecuencia, es importante destacar el hecho de que estas cargas trabajan intermitentemente, es decir según el proceso (llenar, transportar, lavar, paletizar, despaletizar, envasar y etiquetar) que realicen, además cabe señalar que estos variadores de frecuencia en su mayoría tanto en Super Línea como en Línea 3 su capacidad oscila entre 1 a 5 KW, y que su factor de coincidencia es de 0.85. En lo referente al área total para saber como esta el nivel de armónicas, la medición se realizó en la alimentación de las Celdas de Alta Tensión, tal como lo indica la figura A 2.10.

A continuación se presentan las mediciones realizadas en Super Línea y Línea Tres.

### **Super Línea.**

<i>Armónico de Corriente</i>	<b>H5</b>
<i>Magnitud del armónico</i>	<b>45.38 A</b>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<b>87.73 A <math>\approx</math> 12 %</b>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<b>7.16%</b>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<b>10%</b>

**Tabla A 5.18** Niveles de armónicos corriente Súper Línea

<i>Armónico de Voltaje</i>	<b>H7</b>
<i>Magnitud del armónico</i>	<b>7.7V<sub>LN</sub><math>\approx</math>2.93%</b>

<i>Valor permisible de H5 (IEEE -519)</i>	<b>7.96 <math>V_{LN} = 3\%</math></b>
<i>Distorsión Armónica Total (THD)</i>	<b>4.13%</b>
<i>Valor permisible de THD (IEEE -519)</i>	<b>5%</b>

**Tabla A 5.19** Niveles de armónicos tensión Súper Línea

### Línea Tres

<i>Armónico de Corriente</i>	<b>H5</b>
<i>Magnitud del armónico</i>	<b>16.77 A</b>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<b>38.66 A <math>\approx 12\%</math></b>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<b>6.82%</b>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<b>10%</b>

**Tabla A 5.20** Niveles de armónicos corriente Línea 3

<i>Armónico de Voltaje</i>	<b>H7</b>
<i>Magnitud del armónico</i>	<b>8.46 <math>V_{LN} \approx 3.2\%</math></b>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE -519)</i>	<b>7.96 <math>V_{LN} = 3\%</math></b>
<i>Distorsión Armónica Total (THD)</i>	<b>3.98%</b>
<i>Valor permisible de THD (IEEE -519)</i>	<b>5%</b>

**Tabla A 5.21** Niveles de armónicos tensión Línea 3

Estos valores indican que los niveles de armónicos están dentro del rango que la norma IEEE-519 menciona en lo concerniente a los armónicos de corriente, por otro lado el nivel de armónicos en lo referente a tensión, estos en Super línea están casi a la par de lo que la norma exige y en Línea tres la distorsión armónica individual ( $H_7$ ), esta sobre el rango que la norma IEEE-519 propone. Esto se puede visualizar en la forma de onda de voltaje tanto de Línea tres (fig A3.11) como de Super Línea (fig A3.12), donde esta tiene ligeras distorsiones. Estas distorsiones en la forma de onda de Tensión pueden causar daños a instalaciones eléctricas especialmente donde sea el ambiente de oficina, pues los ordenadores personales (PC) son los más sensibles, además los motores de inducción y capacitores para la corrección del factor de potencia.

Por lo que se propone que para contrarrestar estas señales armónicas especialmente en Línea 3, hay que disminuir la distancia entre la fuente de alimentación y la carga, es decir tratar de reducir la impedancia que se incrementa mientras más lejos este la fuente de la carga, ya que los armónicos de tensión son directamente proporcionales a la impedancia y a los armónicos de corriente.

Es importante señalar que el transformador trifásico que alimenta a estas cargas (Super Línea y Línea 3), tiene la configuración delta-estrella, lo cual es una forma de reducir las señales armónicas, además, de que las instalaciones principalmente en súper línea como en línea tres cumplen con las distintas normas que organismos como el NEC (código eléctrico nacional) estipula en lo concerniente a instalaciones eléctricas.

Al igual que en servicios, en esta área también se cuenta con un Banco de capacitores, donde se realizó las mediciones correspondientes para saber como esta el nivel de armónicos, los cuales pueden afectar el normal desarrollo del mismo.

La armónica que se presentó con mayor magnitud es la séptima con el 22.9 % de la fundamental, tal como indica la tabla A3.18

Al conocer estos valores se centralizó el estudio del fenómeno resonancia que se podría dar, pero el mismo dio como resultado que **no** existe problema por

tal fenómeno ya que la armónica de mayor magnitud es la séptima(H7) con 420 Hz y la frecuencia de resonancia es a 65 Hz.

Al igual que en las áreas anteriores también se tomo información acerca de los parámetros que nos indican el nivel de armónicos de corriente y voltaje en el área, esto es en la alimentación de las celdas de Alta Tensión como lo indica la fig.A 2.10, dando como resultado que estos valores están dentro de los niveles exigidos por la IEEE-519 y CONELC, esto es:

<i>Equipo</i>	<i>Celdas de Alta Tensión</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>2.49 A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>3.5 A = 10 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>7.4%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<i>12%</i>

**Tabla A 5.22** Niveles de armónicos corriente Celdas de Alta tensión

<i>Equipo</i>	<i>Celdas de Alta Tensión</i>
<i>Armónico de Voltaje</i>	<i>H7</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>97.8V<sub>LN</sub></i>
<i>Valor permisible de H5 (CONELEC)</i>	<i>381 V<sub>LN</sub> = 5 %</i>
<i>Distorsión Armónica Total (THD)</i>	<i>1.9%</i>
<i>Valor permisible de THD (CONELEC)</i>	<i>8%</i>

**Tabla A 5.23** Niveles de armónicos tensión Celdas de Alta tensión

Lo que indica que el área de envases no esta infringiendo ninguna norma tanto a nivel de voltaje como de corriente, por lo que al igual que el área de servicios, no a merita una solución, más se plantearan algunas recomendaciones para esta área en el anexo siguiente.

#### SOLUCIÓN TÉCNICO-ECONOMICA EN EL AREA DE PISCINA INDUSTRIAL.

En está área las fuentes generadoras de armónicos (UPS, PC, lámparas fluorescentes), se encuentran alimentadas por un transformador seco, el cual arrojo la siguiente medición:

<i>Equipo</i>	<i>Transformador seco</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H5</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>1.1 A = 7.8%</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>2.1 A = 12 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (IDDoTHD)</i>	<i>37.14%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE-519)</i>	<i>15%</i>

**Tabla A 5.24** Niveles de armónicos corriente Transf. Seco piscina Indst

Como se puede observar la distorsión armónica individual está en el límite que el estándar IEEE-519 menciona, mientras que la distorsión de demanda total esta por arriba del límite estipulado por dicho estándar. Esto se debe a que

mientras la corriente fundamental es mínima la TDD aumentara, según su definición, este mismo caso se observa en el transformador principal del área. Es importante señalar que las cargas no lineales que alimenta el transformador seco no presentan una elevada distorsión armónica, ya que su capacidad no es muy representativa.

A nivel general, realizamos una medición en el transformador principal del área en cuestión, la cual nos dio el siguiente resultado:

<i>Equipo</i>	<i>Transformador principal</i>
<i>Armónico de Corriente</i>	<i>H3</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>0.1A</i>
<i>Valor permisible de H5 (IEEE-519)</i>	<i>0.3 A = 12 %</i>
<i>Distorsión de Demanda Total o Distorsión Armónica Total (TDDoTHD)</i>	<i>115%</i>
<i>Valor permisible de THD o TDD (IEEE -519)</i>	<i>15%</i>

**Tabla A 5.25** Niveles de armónicos corriente Transf. Principal piscina Industrial

<i>Equipo</i>	<i>Transformador principal</i>
<i>Armónico de Voltaje</i>	<i>H7</i>
<i>Magnitud del armónico</i>	<i>99.8V<sub>LN</sub></i>

<i>Valor permisible de H5 (CONELEC)</i>	<i>451 V<sub>LN</sub> ≅ 6 %</i>
<i>Distorsión Armónica Total (THD)</i>	<i>1.5%</i>
<i>Valor permisible de THD (CONELEC)</i>	<i>8%</i>

**Tabla A 5.26** Niveles de armónicos tensión Transf. Principal piscina Industrial

La distorsión armónica individual de corriente está dentro de los niveles que la norma IEEE-519 propone, pero la distorsión de demanda total está fuera de los límites admisibles, el cual en este caso tiene una explicación, pues como la carga en esta área no es muy representativa, su valor de la corriente fundamental es pequeña, entonces la THD aumentaría al igual que ocurrió en el transformador seco.

En lo concerniente a los niveles de armónicos de tensión estos están dentro de los límites admisibles que el CONELEC estipula.

## ANEXO 6

### RESPUESTA DEL SISTEMA GENERAL DE LA CCN

#### CONCLUSIONES

Las conclusiones son propuestas desde el punto de vista, por área de estudio y de manera general por todo el sistema eléctrico de la Compañía de Cervezas Nacionales.

En el área de cocina con el estudio realizado se pudo constatar que no presenta un nivel significativo de señales armónicas tanto a nivel de voltaje como de corriente ya que estos valores están dentro de los límites que la norma IEEE-519 y el CONELEC proponen. Es importante destacar el estudio realizado al problema que se da al trabajar el variador de frecuencia (acción bomba de maceración), el cual nos llevó a concluir que el disturbio que se presenta no era por causa de señales armónicas que genera el variador si no por otras interferencias, como son las radiofrecuencias e inducciones electromagnéticas, que son tema de otro estudio.

En el área de Bodega de Frío y Edificio Administrativo, según el estudio realizado esta sección de la planta tiene un nivel de señales armónicas

manejables ya que cumplen con los límites que la norma IEEE-519 y el CONELEC mencionan. Cabe recalcar la medición realizada al transformador #3 que alimenta los UPS's, ya que estos alimentan a cargas en su mayoría no lineales como los computadores personales; además se realizó una revisión en particular a la instalación del UPS que alimenta a los servidores (sistemas), donde se registró la corriente, tanto al neutro como a las fases, tal fue el caso que se pudo constatar que los niveles de corriente que maneja el neutro están dentro de las normas, cuando se tiene un consumo neto no lineal.

En lo que respecta al área de servicios, el nivel de armónicos de corriente están dentro del límite admisible que la norma IEEE-519 propone, al igual que el CONELEC en cuanto tiene que ver a los armónicos de tensión. La medición que se realizó a los arrancadores de estado sólido, nos indicó que las señales armónicas también cumplen con las normas que estipulan los organismos mencionados.

En el área de Envases, a consecuencia que la gran mayoría de variadores de frecuencia tanto en Super Línea como en Línea 3, son de una capacidad no muy elevada, el flujo de armónicos no es significativo en esta área, por esta razón al realizar la medición esta dio índices que están permitidos por las normas.

Así mismo al igual que en servicios, aquí se tiene un banco de capacitores el cual también no presenta problemas de resonancia con el sistema tal como lo indicó el estudio de resonancia realizado.

Y de manera general a través de este estudio se ha logrado determinar que la Compañía de Cervezas Nacionales posee, a nivel de flujo armónico poca distorsión. Es decir, que el sistema eléctrico no se comporta ni como emisor ni receptor de señales armónicas. Esto se determinó ya que los parámetros de calidad de energía exclusivamente las señales armónicas tanto de corriente como de voltaje están dentro de los límites, que organismos como el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) y el Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC) proponen, al usuario y concesionario de energía eléctrica.

## RECOMENDACIONES

En el área de cocina, debido a que esta fue la única área donde se implemento diferentes formas para solucionar y contrarrestar el disturbio que generaba el variador de frecuencia (acciona bomba de maceración), es factible decir que antes de aplicar cualquier tipo de solución, lo primero que se tiene que revisar en un sistema eléctrico es la puesta a tierra, ya que en un sistema con un aterrizamiento eficaz, ayuda a atenuar diferentes disturbios tales como: interferencia (armónicos, radiofrecuencias e inducción electromagnética) y Transcientes. Además se recomienda que con la implementación de la nueva referencia de tierra para el Tablero MCC, se realice un chequeo y revisión minuciosa de la configuración eléctrica global, ya que en este tablero existen equipos muy sensibles a los disturbios antes mencionados.

En el área de Bodega de Frio y Edificio administrativo, específicamente la carga que manejan los transformadores secos (#1, #2, #3) es importante que se la evalúe periódicamente con respecto a los parámetros de calidad de energía, tal como son las distorsiones armónicas de corriente como de voltaje, debido a que el estudio realizado dio como resultado que los niveles de armónicos están presentes, pero no con gran magnitud, más si se da un incremento de la carga no lineal, estos parámetros aumentarían, lo cual puede ser perjudicial para el sistema eléctrico del área.

En futuras implementaciones de sistemas de automatización, en la compañía es recomendable cumplir con todas las normas en lo referente a calidad de energía y puesta a tierra de los equipos electrónicos.

Realizar un test de los parámetros de calidad de energía por lo menos 2 veces al año o censarlos constantemente, para tener conocimiento de cómo están dichos parámetros de acuerdo a las normas nacionales o los que propongan organismos correspondientes en el país.

Con este estudio se espera que la Compañía tome conciencia que al adquirir equipos con tecnología de semiconductores (diodos, tiristores, scr) hay que ser

cuidadosos de que estos equipos, emitan señales armónicas que no sean significativas, y así poder controlar la Calidad de Energía del sistema.

Mejorar el sistema de puesta a tierra de la S/E principal, debido a que es la referencia para todas las áreas de la planta y además porque ayuda a reducir y controlar los efectos que originan las interferencias como son, armónicas, radiofrecuencias e inducción electromagnética.

Tomar muy en cuenta que para realizar mediciones, sobre todo de armónicos de voltaje el equipo debe cumplir, con las distintas normas que organismos como el CONELEC las estipula en nuestro país.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABB, Power Quality Filter, Asea Brown Boveri Jomet S.A, Bélgica, 1999
2. ABB, Guía de los Armónicos con Accionamientos de c.a, Asea Brown Boveri, Sistemas Industriales S.A, España, 2000
3. SMEATON ROBERT W, Motor Application and Maintenance Handbook, Mc Graw-Hill, pag 2-26,2-38.
4. CONELEC, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, 2001
5. IEEE, Recomendaciones y Requerimientos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia.
6. A. LLAMAS, A. TEJADA, Comparación de Configuraciones con Filtros de armónicos para Fuentes reguladas por Conmutación, Publicación en México, 1996.
7. MUÑOZ ALFREDO, Calidad de la Energía, Procobre Chile
8. FINK, Manual de la Ingeniería Eléctrica, Tomo III, Mc Graw-Hill,

Paginas Wep:

[www.abb.com/es](http://www.abb.com/es)

[www.gee.es/elektro/formacion/formacion\\_12.html](http://www.gee.es/elektro/formacion/formacion_12.html)

[www.inelap.com.mx](http://www.inelap.com.mx)

[www.iec.org](http://www.iec.org)