

POWERTEC

INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

Ingeniería en Sistemas de Potencia



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



¿Quiénes Somos?

Somos una empresa especializada en el **ANALISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA.**

Desde nuestra formación en 1993, hemos continuado con nuestra estrategia de expansión al poner al alcance de la industria nuestros servicios, apoyados en la experiencia adquirida por nuestro equipo de ingenieros.

Actualmente, nuestra empresa colabora con importantes grupos industriales del país, contribuyendo a la optimización de los procesos al mejorar sus sistemas eléctricos.



Nuestros Servicios

Servicios de Consultoría en Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Sistemas de Potencia

Departamento de Estudios e Ingeniería:

Estudios

- Corto Circuito en Sistemas Eléctricos Industriales.
- Coordinación de Protecciones Eléctricas.
- Mediciones de Armónicas en Sistemas Eléctricos.
- Flujos de Carga.
- Flujos de corriente armónica
- Demanda y Monitoreo de Energía.
- Arranque de Motores de Gran Capacidad.
- Medición y Análisis de Transitorios Eléctricos en Sistemas de Potencia.



Nuestros Servicios

Servicios de Consultoría en Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Sistemas de Potencia

Departamento de Estudios e Ingeniería:

Ingeniería

- Proyectos de Subestaciones
- Revisión, Diseño y Suministro de Esquemas de Protección y Medición para:
 - √ Transformadores
 - √ Líneas o Alimentadores
 - √ Motores
 - √ Generadores
 - √ Enlaces



Nuestros Servicios

Servicios de Consultoría en Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Sistemas de Potencia

Departamento de Estudios e Ingeniería:

Ingeniería (continuación)

- Diseño, Suministro e Instalación de Filtros de Armónicas en Media y Baja Tensión.
- Corrección de factor de Potencia, aún en presencia de Corrientes Armónicas.
- Diseño y Suministro de Sistemas de Monitoreo de Energía.
- Memorias Técnicas para Instalaciones Eléctricas.
- Ingeniería de Detalle para Instalaciones Eléctricas.
- Diseño de Sistemas de Tierras.



Nuestros Servicios

Servicios de Consultoría en Ingeniería Eléctrica con Especialidad en Sistemas de Potencia

Departamento de Instalaciones:

- Instalación de Equipo Eléctrico de Potencia y Control
- Instalaciones Eléctricas Industriales.
- Proyectos de Subestaciones.
- Proyectos de Líneas de Transmisión.

Departamento de Mantenimiento:

- Calibración y Mantenimiento de Relevadores de Protecciones.
- Puesta en Servicio de Subestaciones.
- Mantenimiento de Transformadores e Interruptores de Potencia.



Nuestros Servicios

DEPARTAMENTO DE VENTAS

- Celdas Metal Clad con Interruptores de Potencia Mca POWELL (5KV – 38KV)
- Arrancadores en Media Tensión Mca. POWELL (5KV – 7.2KV)
- Interruptores de Potencia nuevos para sustitución de Interruptores discontinuados Mca. POWELL (Westinghouse DHP y General Electric Magneblast).
- Modernización de Interruptores de Potencia (CBS Mcas. Americanas).
- Modernización de esquemas de protección con relevadores digitales trifásicos Mca ABB (Westinghouse CO, General Electric IAC, ABB ITE) .
- Multimediadores digitales de Energía y Sistemas de Monitoreo de Energía Mca. POWER MEASUREMENT.
- Filtros de Armónicas Mca Trans-Coil Inc y Tech-Tran Corporation.
- Bancos de Capacitores Mca. GE-AEROVOX.
- Resistencia para limitación de falla a tierra Mca. POWEROHM.



Nuestra Experiencia

- AGUA Y DRENAJE DE MONTERREY (ZONA METROPOLITANA)
- CEMEX DIRECCION TECNICA MEXICO (19 PLANTAS)
- CEMEX DIRECCION TECNICA INTERNACIONAL (70 PLANTAS)
- CEMENTOS APASCO (PLANTA NORTE, PLANTA TECOMAN)
- CEMENTO BAYANO (Panamá)
- CEMENTOS DIAMANTE (Colombia)
- CEMENTOS NACIONALES (República Dominicana)
- GENERAL MOTORS DE MEXICO (PLANTA RAMOS ARIZPE)
- COPAMEX (PHIMSA, PAPELERA MALDONADO)
- GRUPO IMSA (PLANTA ZINTRO, ACEROS PLANOS DE MEXICO)
- GRUPO CYDSA
- GRUPO VITRO: AUTOTEMPLEX, VITROCRISA, VIDRIERA MONTERREY



CAUSAS Y EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS



1. CARACTERÍSTICAS DE UNA FUENTE DE CA IDEAL

El voltaje y la corriente de alimentación de CFE se caracteriza por ser de naturaleza senoidal y está definida por las siguientes variables: magnitud rms, ángulo y frecuencia de oscilación.

1.1 MAGNITUD RMS

Es la división de la magnitud pico de la forma de onda por raíz de 2.

1.2 ÁNGULO DE FASE

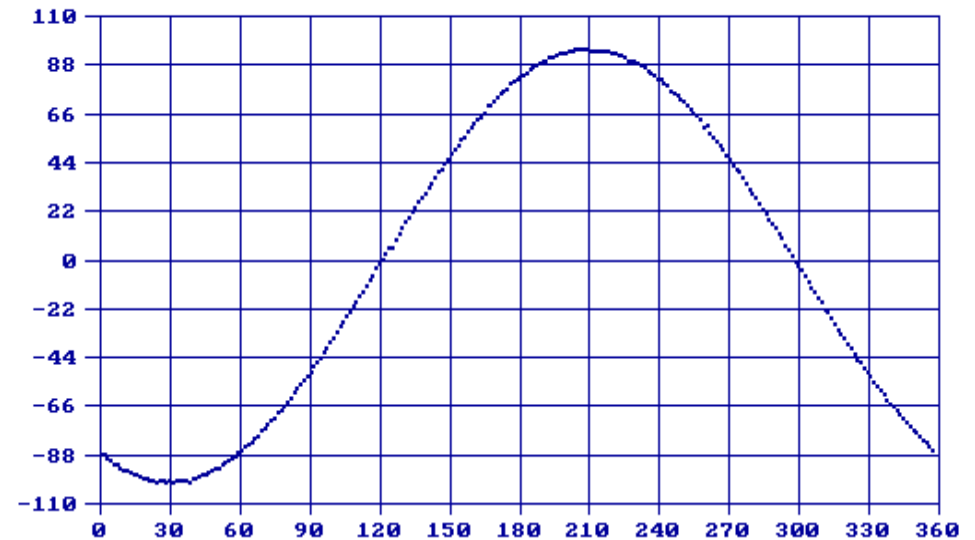
Desplazamiento angular de la forma de onda respecto de una referencia.

1.3 FRECUENCIA DE OSCILACIÓN

Define cuantas veces se repite un periodo de oscilación de la forma de onda en un segundo, el inverso de la frecuencia $1/f$ determina el tiempo de duración de un periodo.

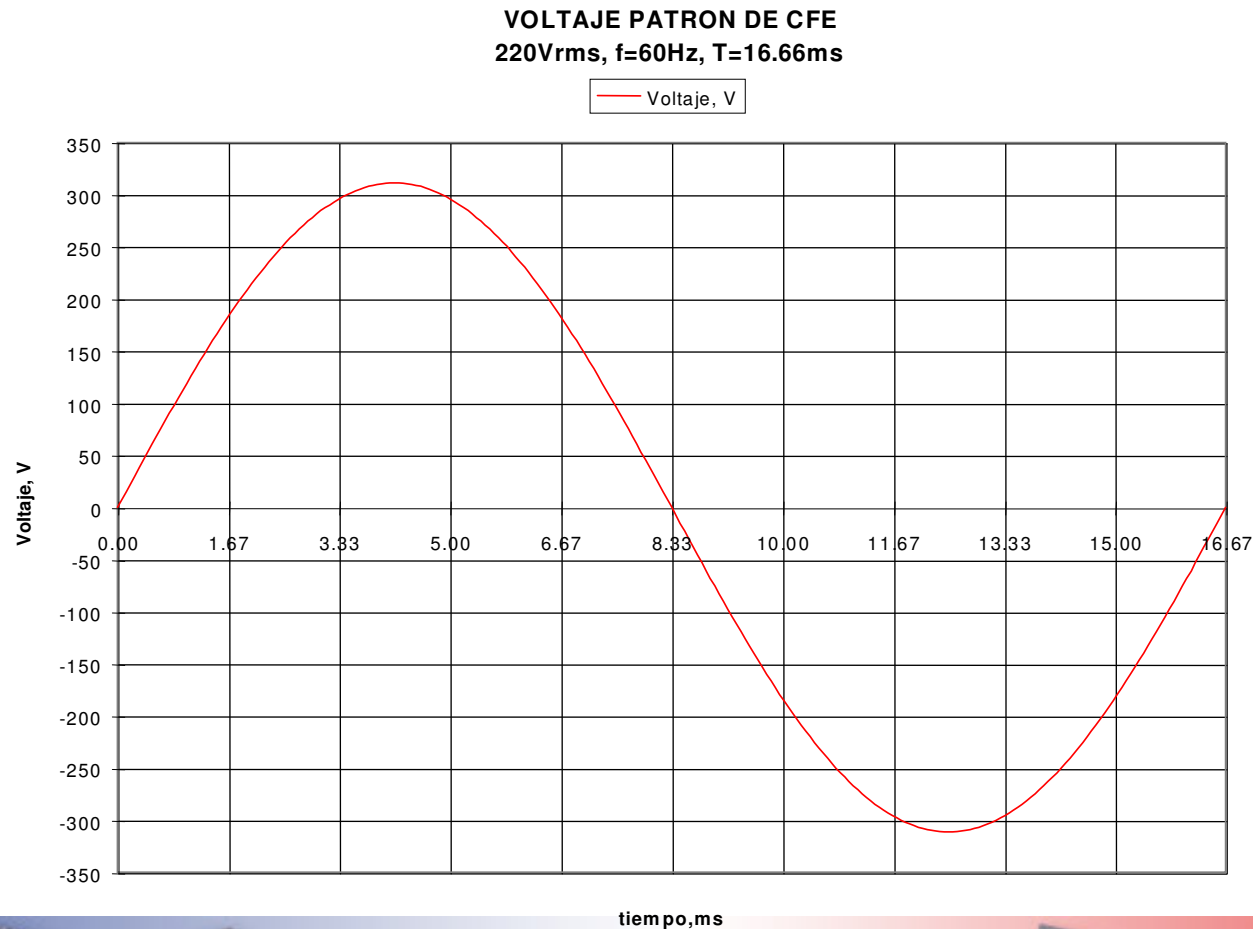
05/09/1994 18:15:33 VOLTAJE PATRON DE CFE

channel 3 Phase B Voltage
THD = 0.5% RMS = 68.98 U



1.4 FRECUENCIA FUNDAMENTAL

Es la Frecuencia de oscilación del voltaje de alimentación de CFE. Tiene un periodo de 16.66 ms y una frecuencia de oscilación de 60 ciclos por segundo.

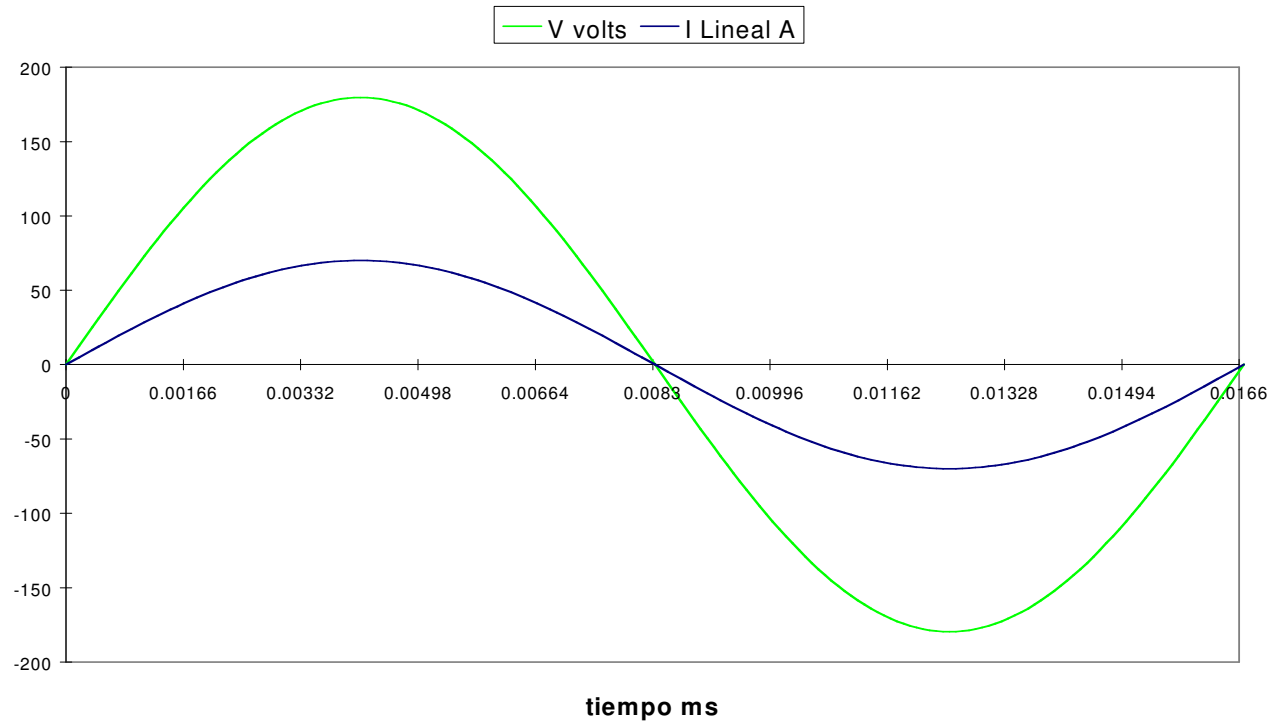


2. TIPOS DE CARGAS

2.1. CARGAS LINEALES

Las cargas lineales son aquellas a las que al alimentarles un voltaje senoidal toman una corriente senoidal. Entre este tipo de cargas se encuentran los motores sin controles electrónicos de velocidad y la iluminación incandescente.

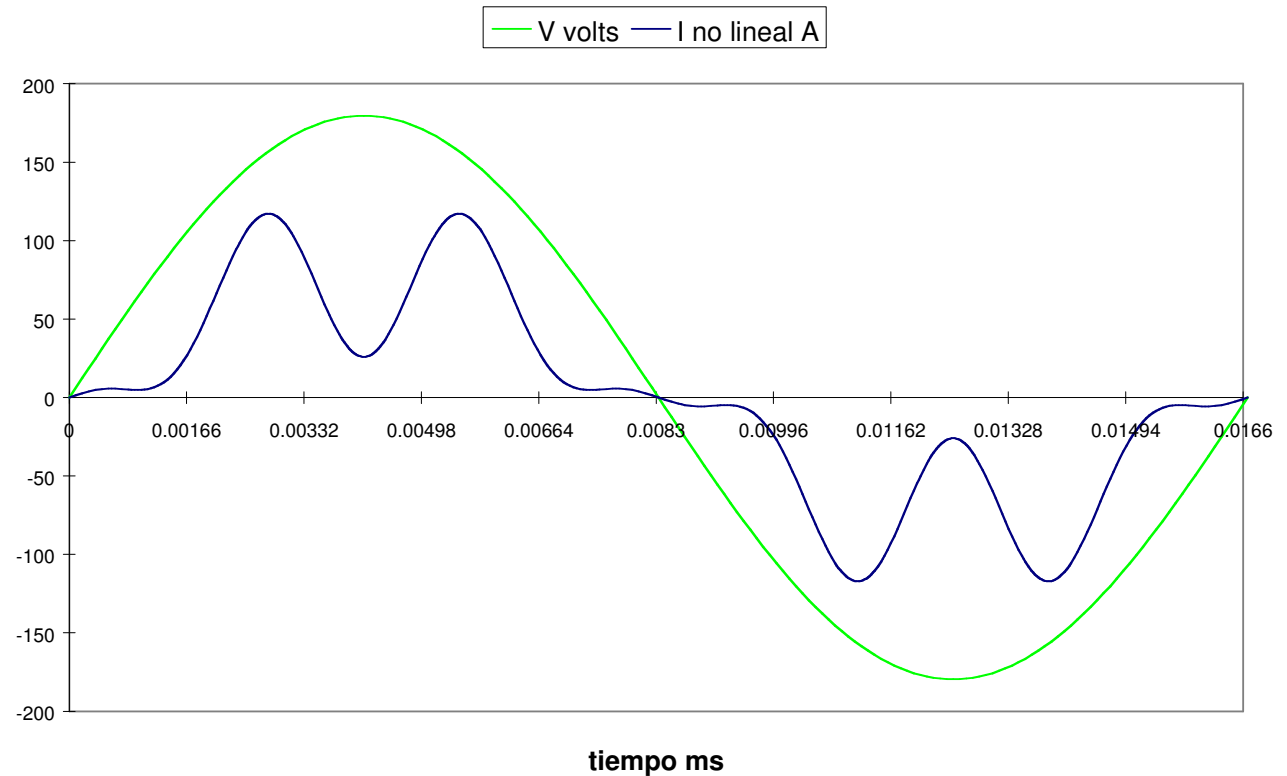
CARACTERISTICAS DE LA CARGA LINEAL



2.2 CARGAS NO LINEALES

Las cargas no lineales son aquellas a las que al alimentarles un voltaje senoidal toman una corriente no senoidal. Entre este tipo de cargas se encuentran los **variadores de velocidad, los hornos de arco eléctrico y sistemas de rectificación a CD principalmente.**

CARACTERISTICAS DE LA CARGA NO LINEAL



3. DEFINICIÓN DE ARMÓNICAS

3.1. ARMÓNICAS

- **ANÁLISIS DE FOURIER**

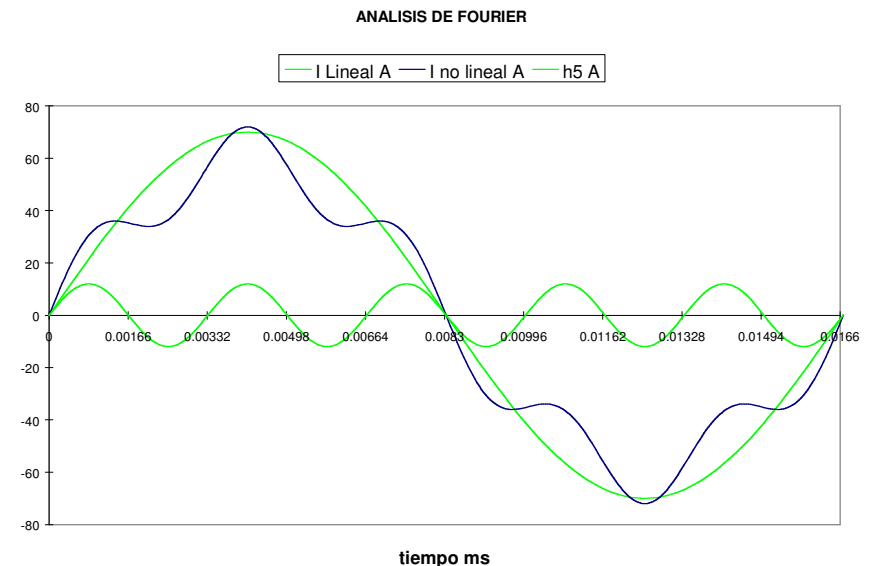
Es la descomposición de una señal (corriente o voltaje) no lineal en una suma infinita de componentes senoidales definidas por magnitud, ángulo y frecuencia de oscilación, en donde la frecuencia de cada componente es múltiplo de la frecuencia fundamental. A la magnitud rms de cada componente senoidal se le llama “Armónica”.

- **Ejemplo:** A una señal no lineal se le aplicó el análisis matemático de Fourier y se estableció que esta señal estaba compuesta por:

x A, y grados y una frec. de 60Hz

x A, y grados y una frec. de 5x60Hz

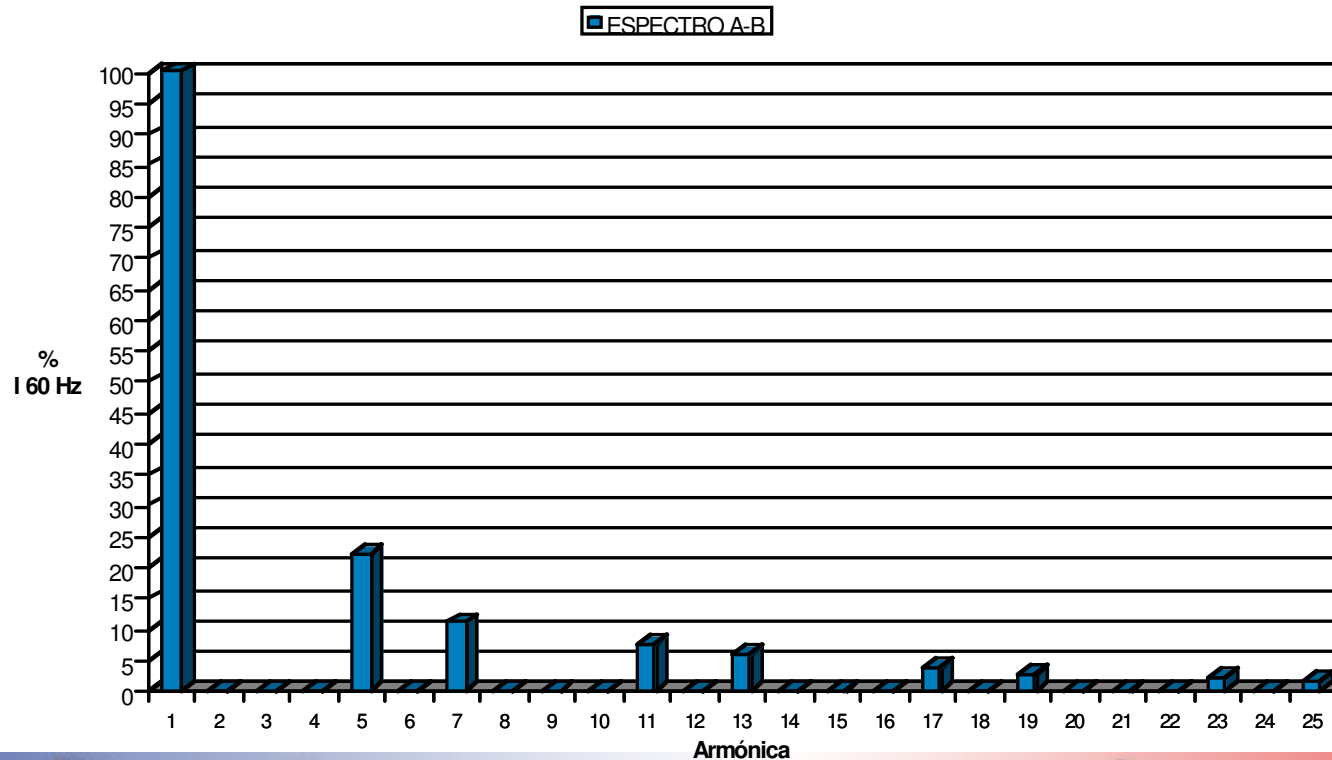
En aplicaciones industriales el análisis se realiza hasta 50x60Hz.



3.2 ESPECTRO DE FOURIER

Es la representación de las magnitudes de las componentes armónicas de una señal no lineal en una gráfica **Valor rms 0 % del valor rms de la fundamental vs. Múltiplos de la frecuencia fundamental**. En los sistemas eléctricos de potencia el espectro se maneja hasta 50x60Hz.

ESPECTRO TIPICO DE UN DRIVE EN MEDIA TENSION, MCA. ALLEN-BRADLEY
TECNOLOGIA PWM
ARMONICAS EXPRESADAS EN % DE LA FUNDAMENTAL



3.3 CONCEPTOS BÁSICOS

Secuencia de las componentes armónicas:

Sigue la teoría de descomposición de Fortescue, se puede interpretar un sistema trifásico desbalanceado, en tres sistemas balanceados:

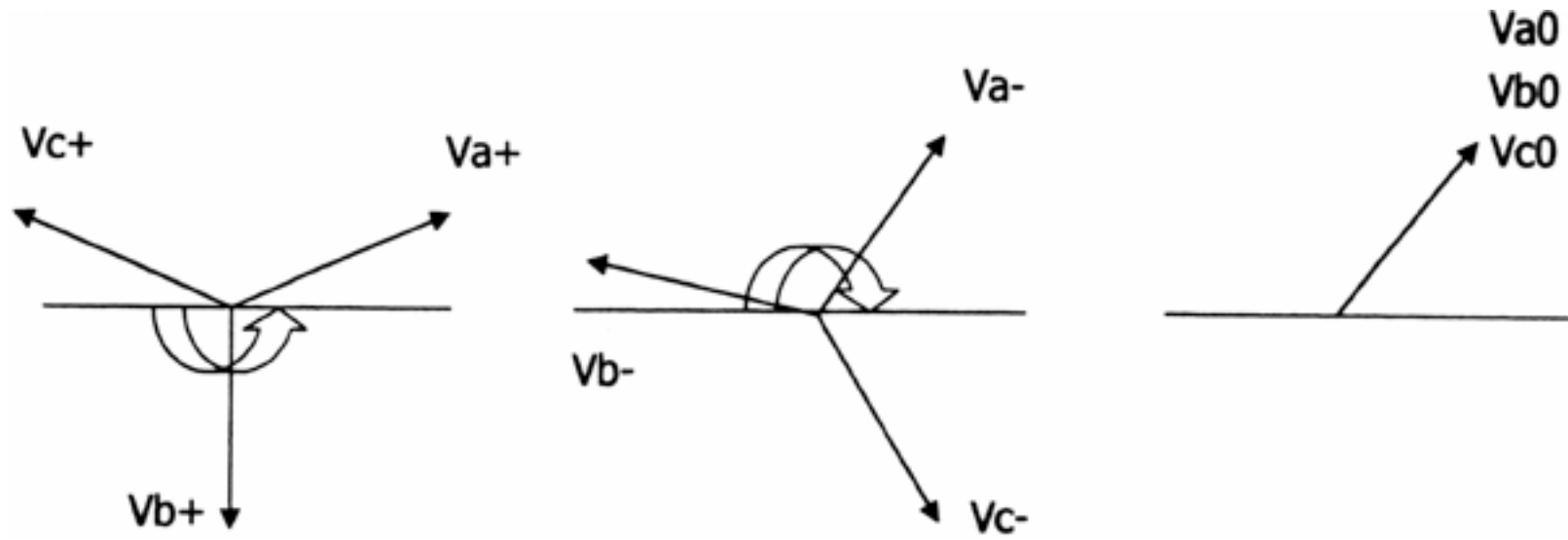
- a) Secuencia Positiva**
- b) Secuencia Negativa**
- c) Secuencia Cero**



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



3.3 CONCEPTOS BÁSICOS (continuación)



Armónica

1
2
3
4
5
6
7

Secuencia

+
-
0
+
-
0
+

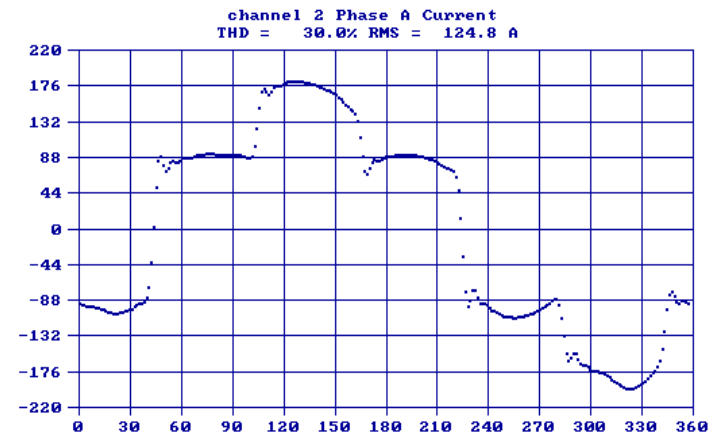


3.4 ORIGEN DE LAS CORRIENTES ARMÓNICAS

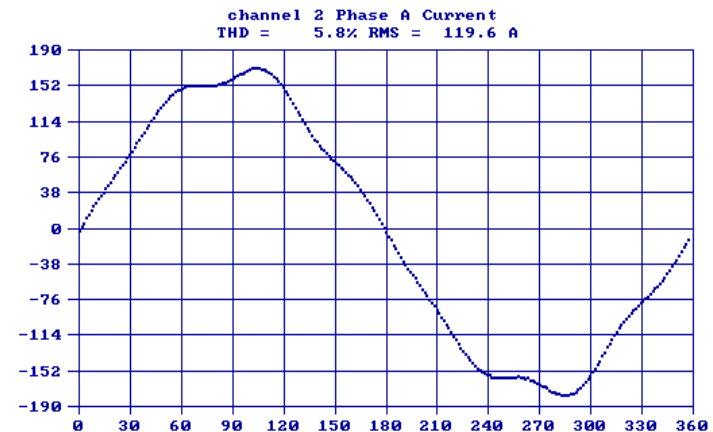
Las **cargas no lineales** demandan corrientes armónicas, y se clasifican de la siguiente manera:

- **Ferromagnéticas** (transformadores y reactores magnéticamente saturados).
- **Cargas de arco** (hornos e iluminación no incandescente).
- **Que utilizan Electrónica de Potencia** (Variadores de Velocidad de AC y DC).

31/07/1996 15:27:01 APASCO\4P2-1W1\442-VE1.M01



18/06/1996 15:16:00 MIN AUTLAN\ALIM PPAL 13.2 KV



3.6 VARIADORES DE VELOCIDAD DE CA/CD

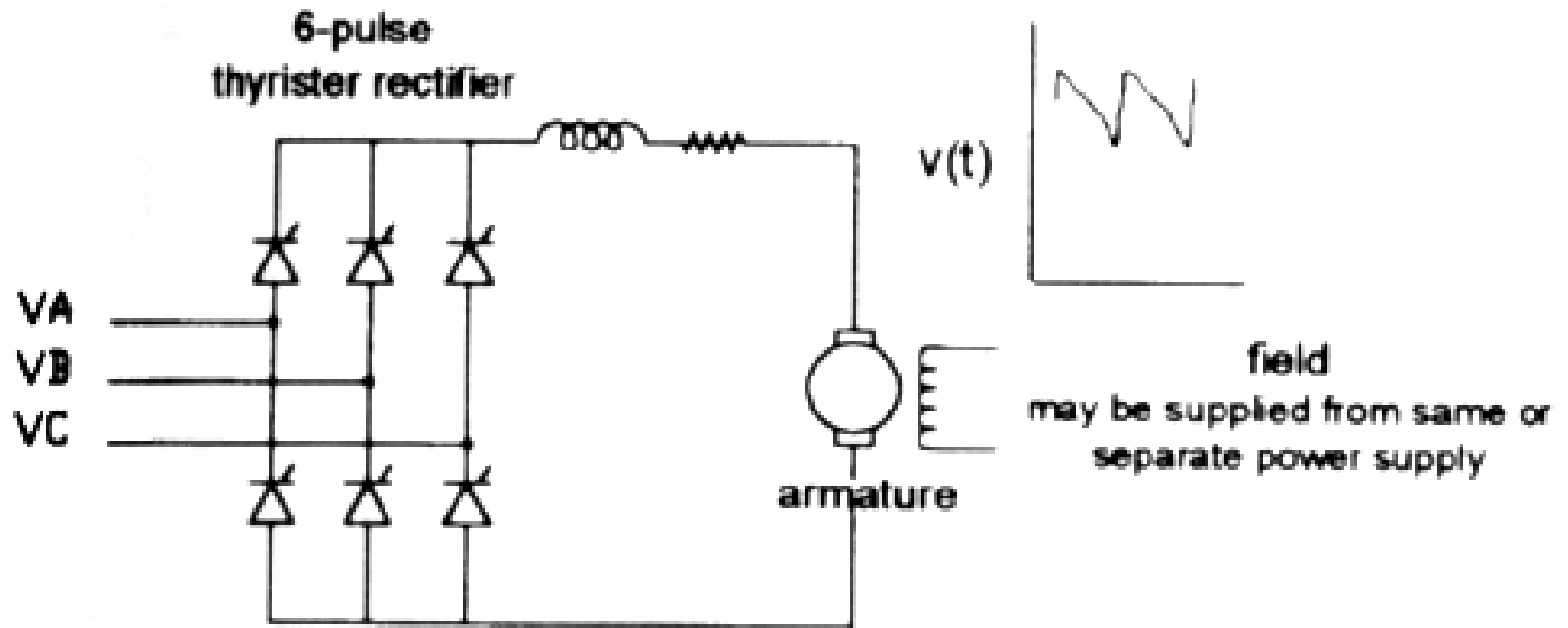


Figure 5.11 Six-pulse dc ASD.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



3.6 VARIADORES DE VELOCIDAD DE CA/CD

(continuación)

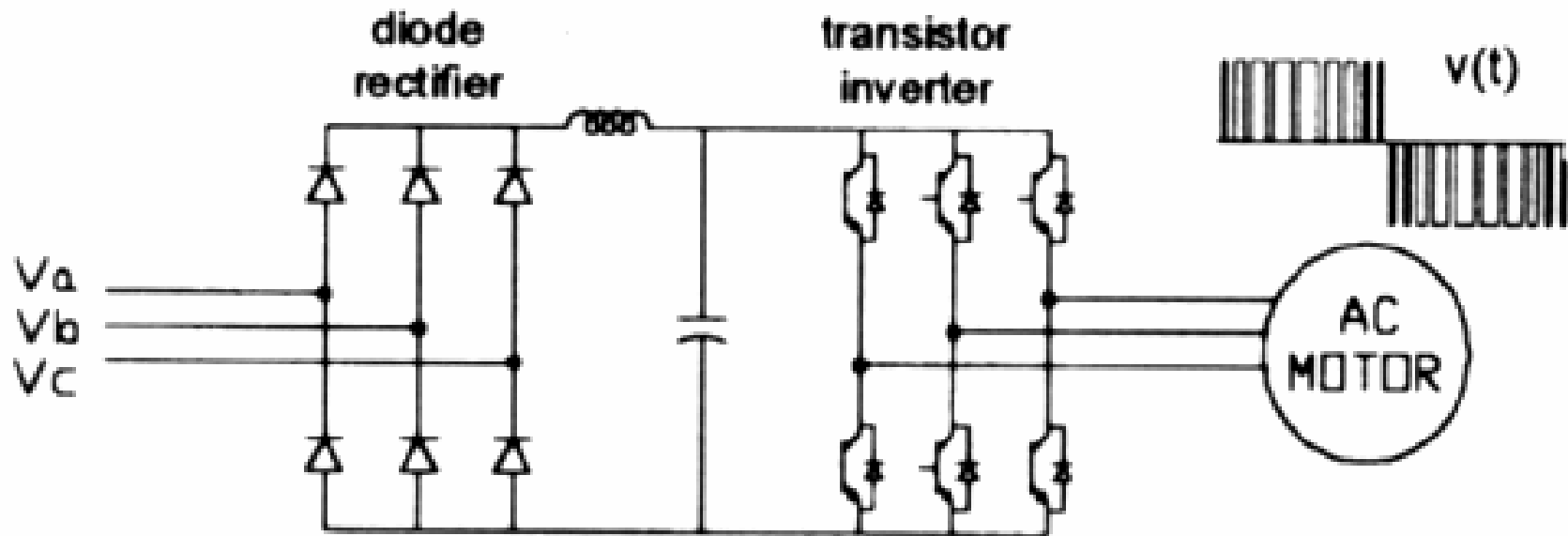


Figure 5.12 PWM ASD.



3.6 VARIADORES DE VELOCIDAD DE CA/CD

142 Chapter Five

(continuación)

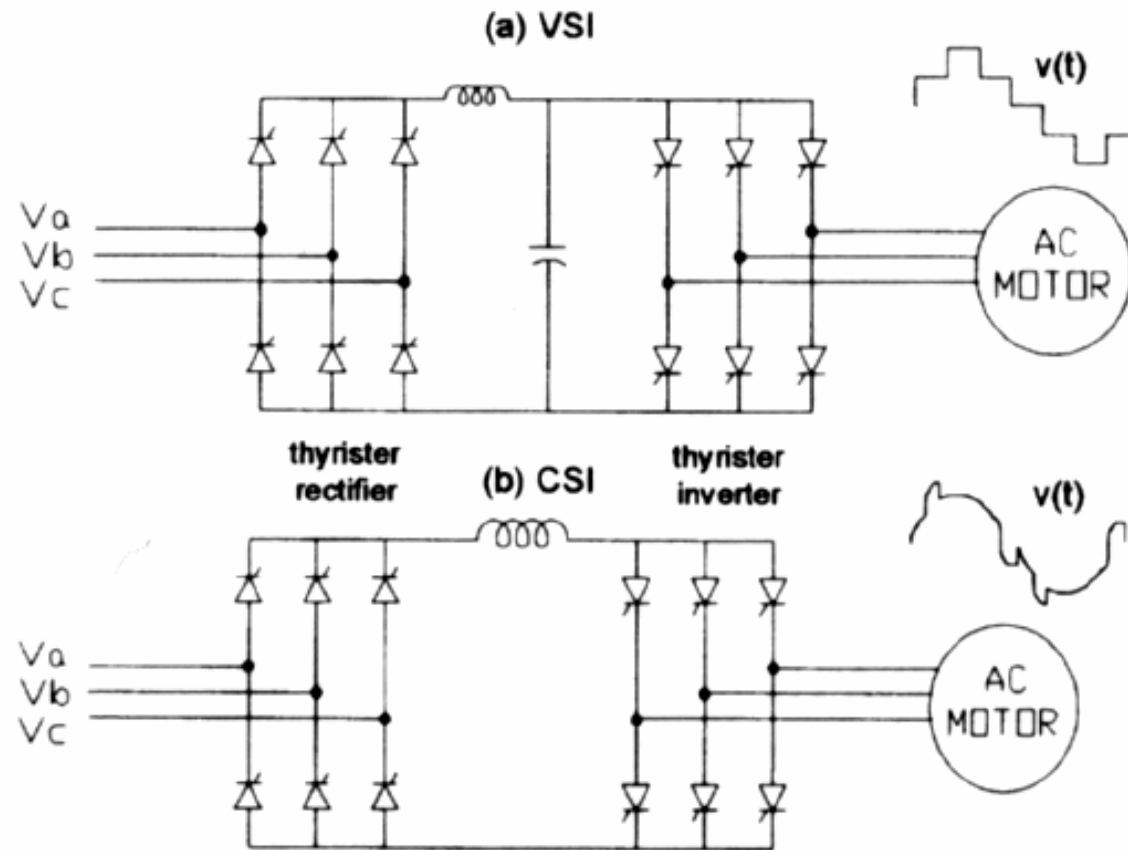


Figure 5.13 Large ac ASDs.



3.7 EMISIÓN DE ARMÓNICAS EN LOS DRIVES

Modelo

Se utiliza la emisión teórica del puente rectificador para determinar las armónicas características.

$$h = kq \pm 1$$

$$I_h = I_1/h$$

donde:

h= Armónica (múltiplos de 60Hz.)

k= Entero positivo

q= # de pulsos del circuito rectificador

I_h= Magnitud de la armónica emitida

I₁= Magnitud de la corriente fundamental

pulsos Armónicas características

6 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, ...

12 11, 13, 17, 19, 23, 25, ...

Cálculo de la Magnitud de Armónicas a Plena Carga

Aplicado $I_h = I_1/h$

Calculando las magnitudes en por ciento ($I_1 = 100$), por ejemplo para la 5a. Armónica tendríamos $100/5 = 20$.

Espectro

h	%I ₁
1	100.00
5	20.00
7	14.29
11	9.09
13	7.69
17	5.88
19	5.26
23	4.35
25	4.00

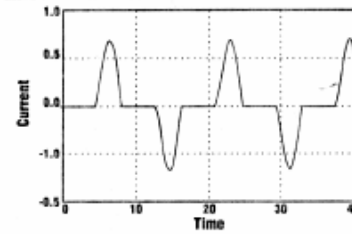


POWERTEC
INGENIERÍA. S.A. DE C.V.

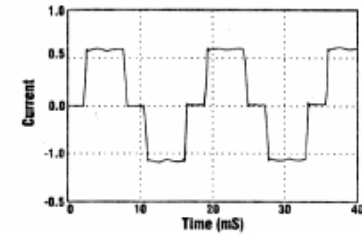


CARGAS NO LINEALES

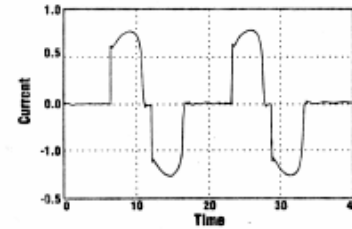
Table 1. Typical Current Waveforms for Different Types of Nonlinear Loads.



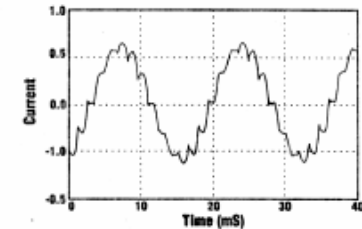
Type of Load: Single Phase Power Supply
Typical Current Distortion: 80% (high 3rd)



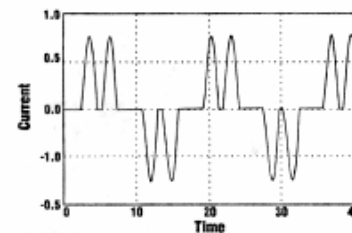
Type of Load: 6-Pulse Converter with large inductor for current smoothing
Typical Current Distortion: 28%



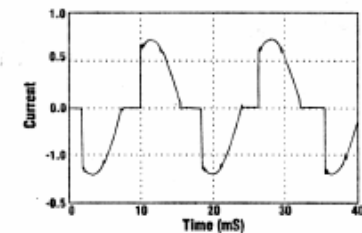
Type of Load: Semiconverter
Typical Current Distortion: high 2nd, 3rd, 4th at partial loads



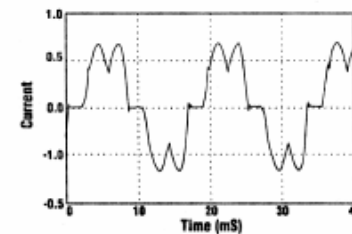
Type of Load: 12-Pulse Converter
Typical Current Distortion: 15%



Type of Load: 6-Pulse Converter, capacitive smoothing, no series inductance
Typical Current Distortion: 80%



Type of Load: AC Voltage Regulator
Typical Current Distortion: varies with firing angle



Type of Load: 6-Pulse Converter, capacitive smoothing with series inductance > 3%, or DC drive
Typical Current Distortion: 40%



POWERTEC
INGENIERIA, S.A. DE C.V.



3.6 VARIADORES DE VELOCIDAD DE CA/CD

(continuación)

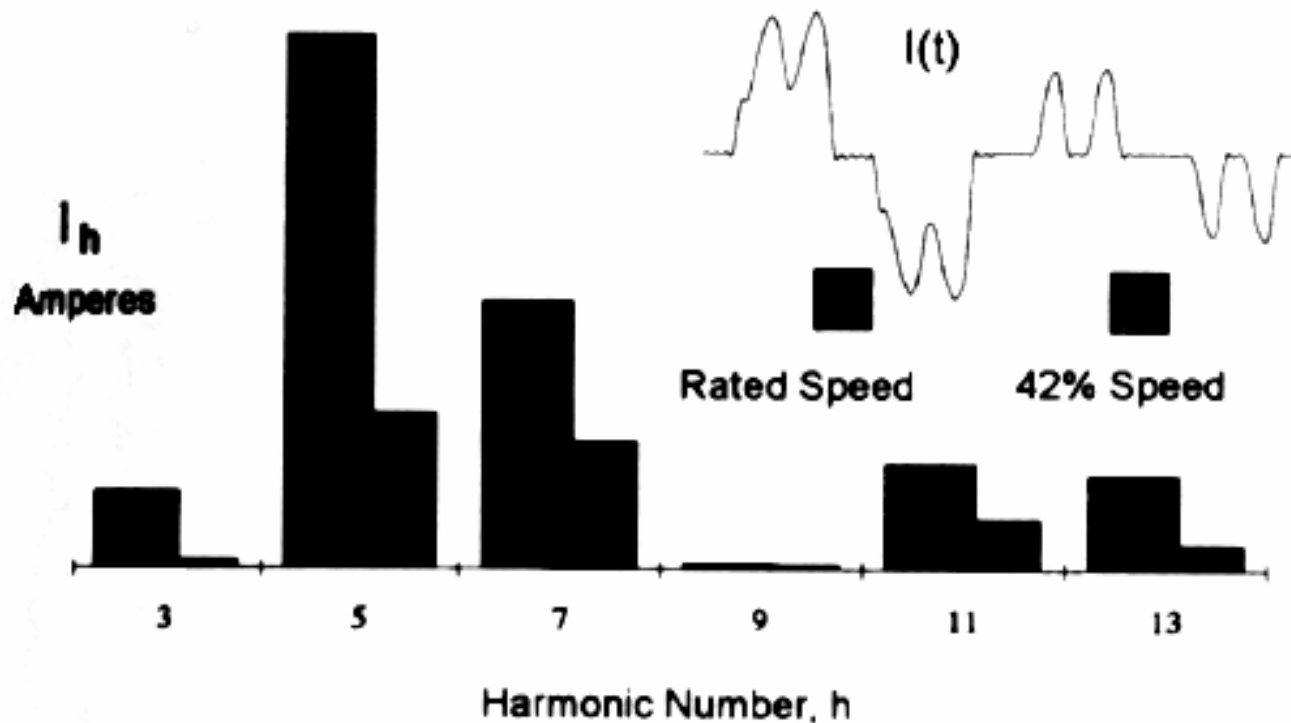


Figure 5.14 Effect of PWM ASD speed on ac current harmonics.

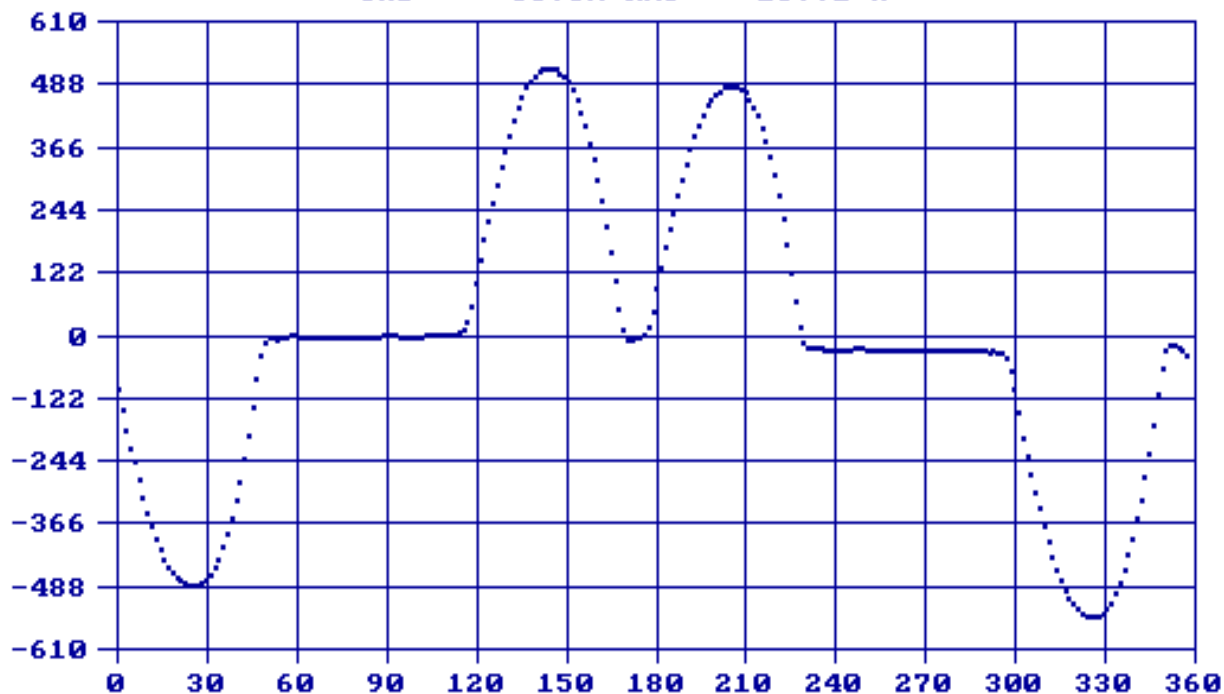


FORMA DE ONDA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE ALTERNA EN BAJA TENSIÓN

Variador de 6 Pulsos en Baja Tensión

25/07/1997 15:01:00 FERSINSA\FERMENTADOR 3 DIA 2

channel 2 Phase A Current
THD = 66.5% RMS = 287.2 A

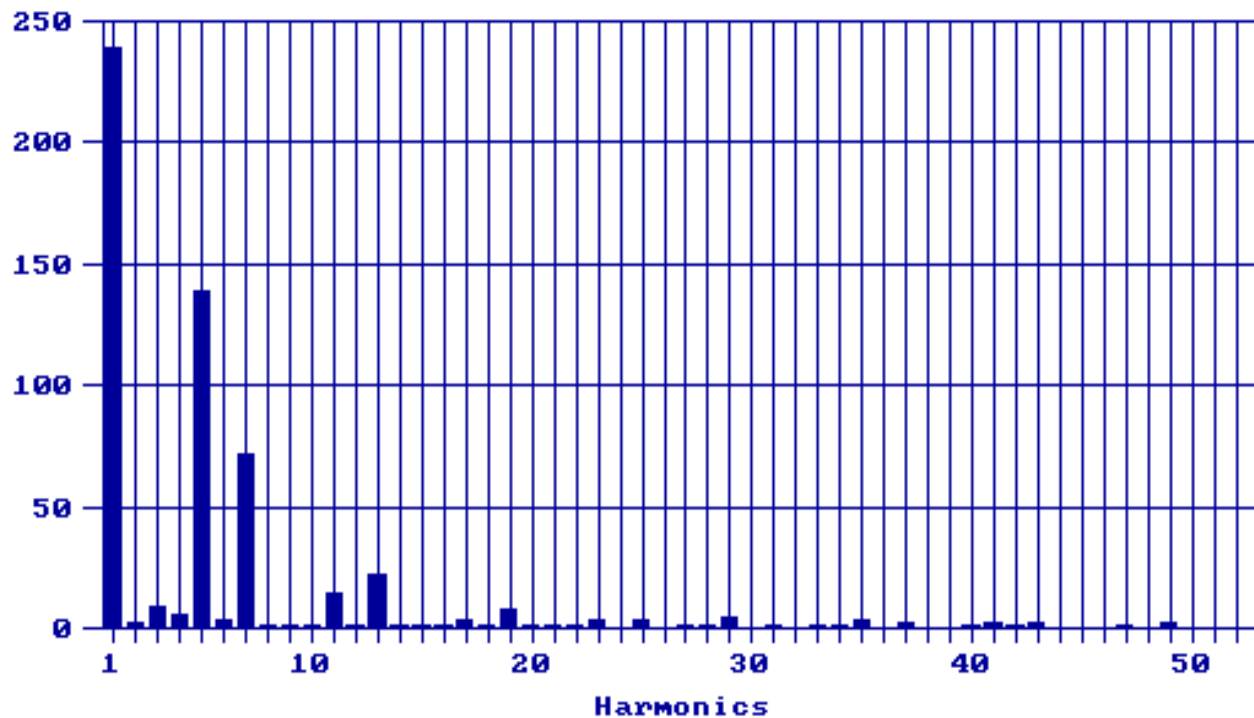


ESPECTRO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE ALTERNA EN BAJA TENSIÓN

Variador de 6 Pulsos en Baja Tensión

25/07/1997 15:01:00 FERSINSA\FERMENTADOR 3 DIA 2

channel 2 Phase A Current

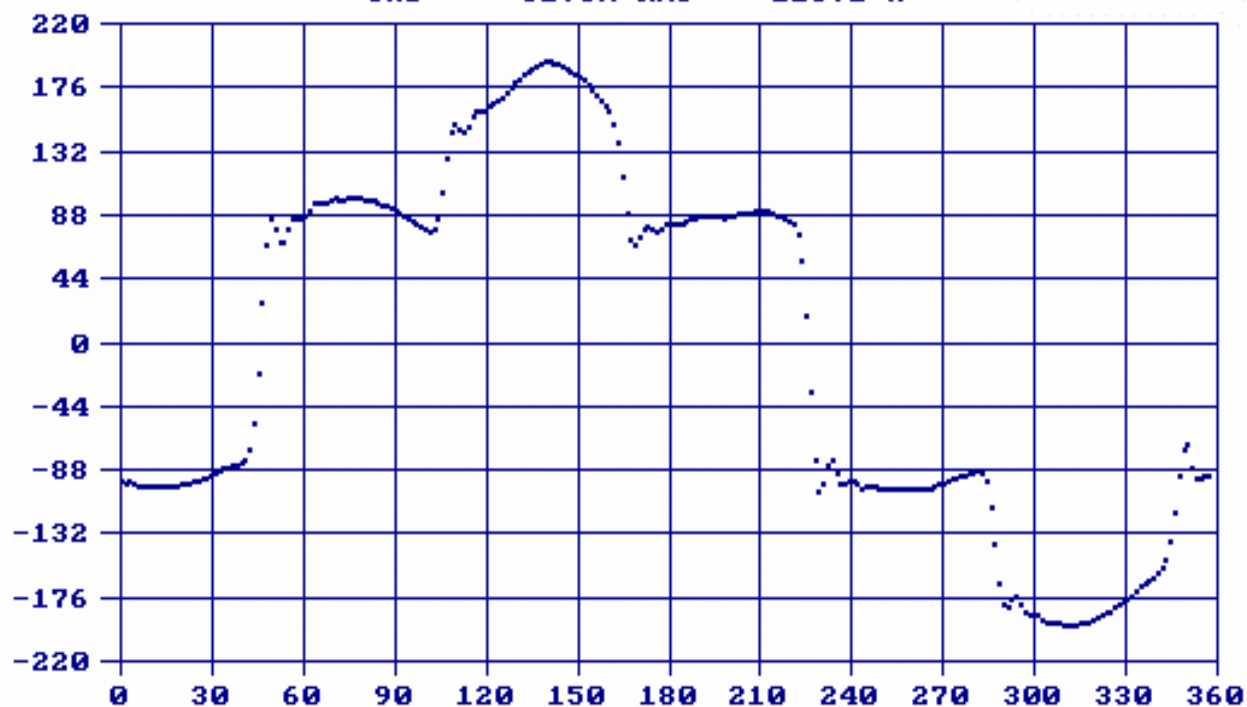


FORMA DE ONDA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE DIRECTA EN MEDIA TENSION

Variador de 6 Pulsos en Media Tension

31/07/1996 15:06:01 CORRIENTE EN UN DRIVE DE CA

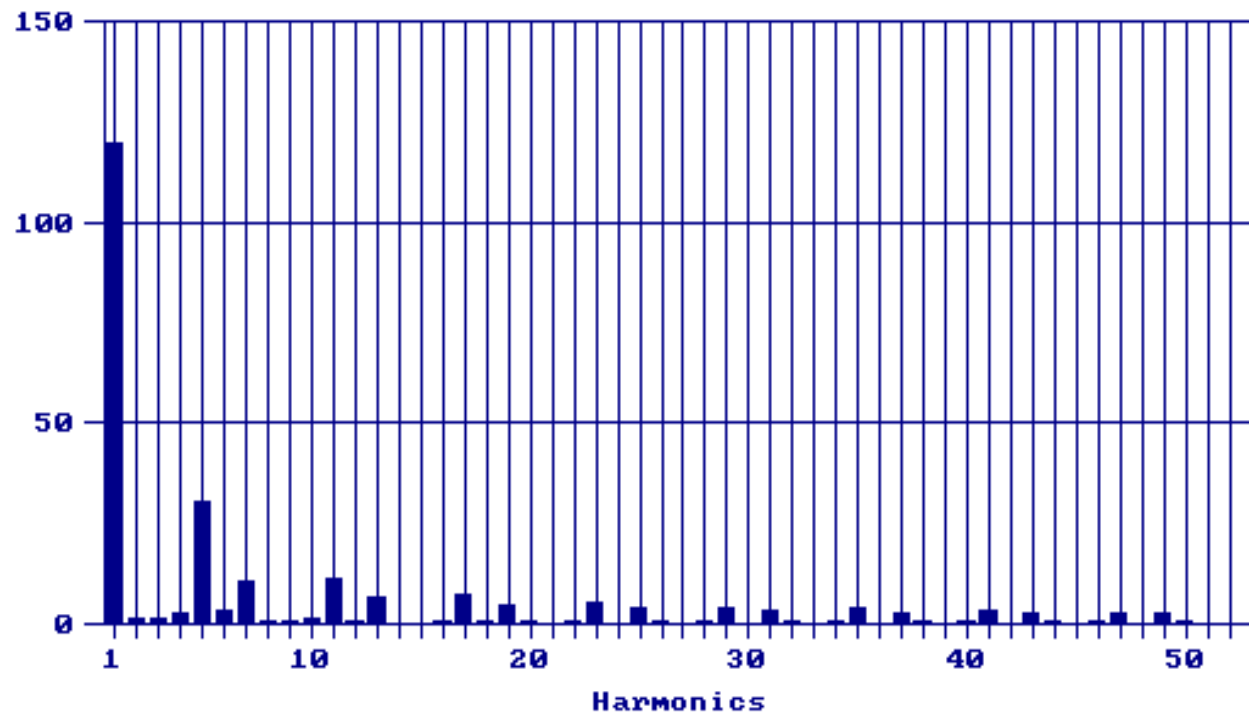
channel 2 Phase A Current
THD = 31.6% RMS = 125.2 A



ESPECTRO VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE ALTERNA EN MEDIA TENSIÓN

Variador de 6 Pulsos en Media Tensión

31/07/1996 15:06:01 CORRIENTE EN UN DRIVE DE CA
channel 2 Phase A Current

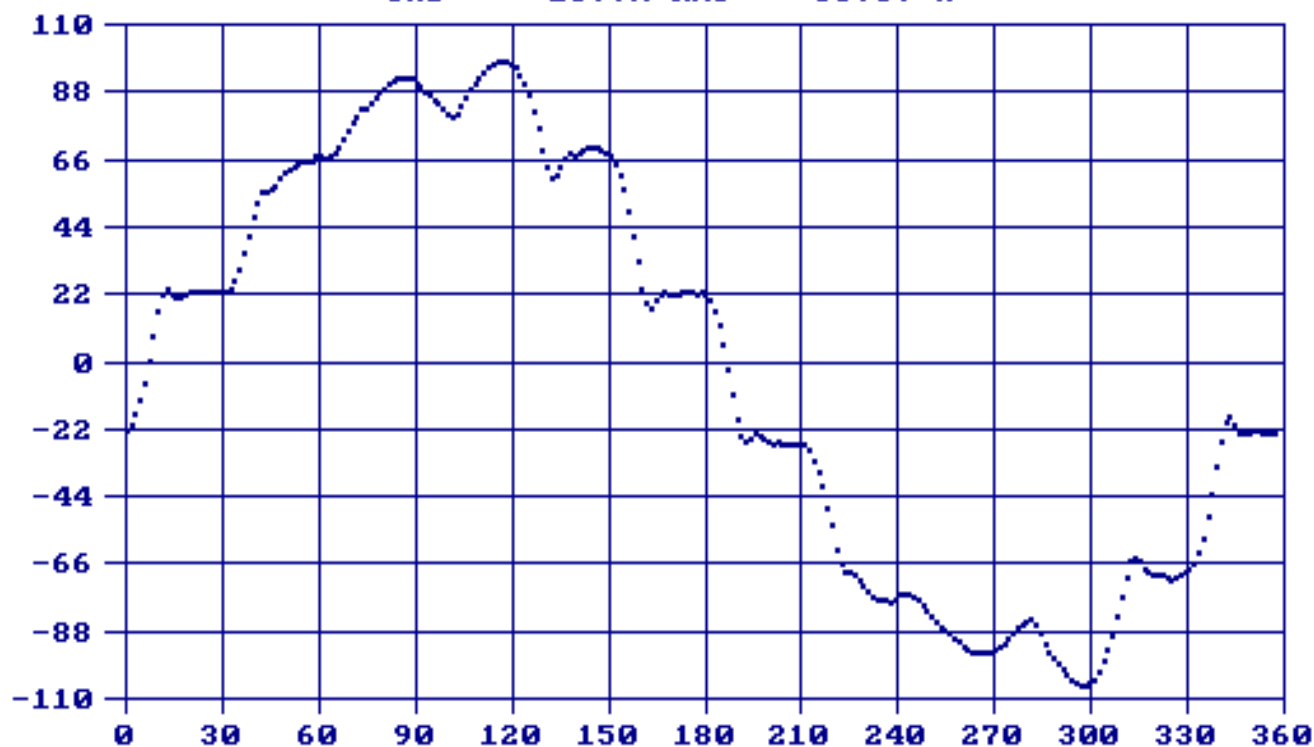


FORMA DE ONDA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE DIRECTA EN MEDIA TENSION

Lado Primario de un Transformador de 3 Devanados Conectado en DDY

26/03/1998 13:03:00 APASCON VENTILADOR 571-VE1

channel 2 Phase A Current
THD = 13.7% RMS = 66.67 A

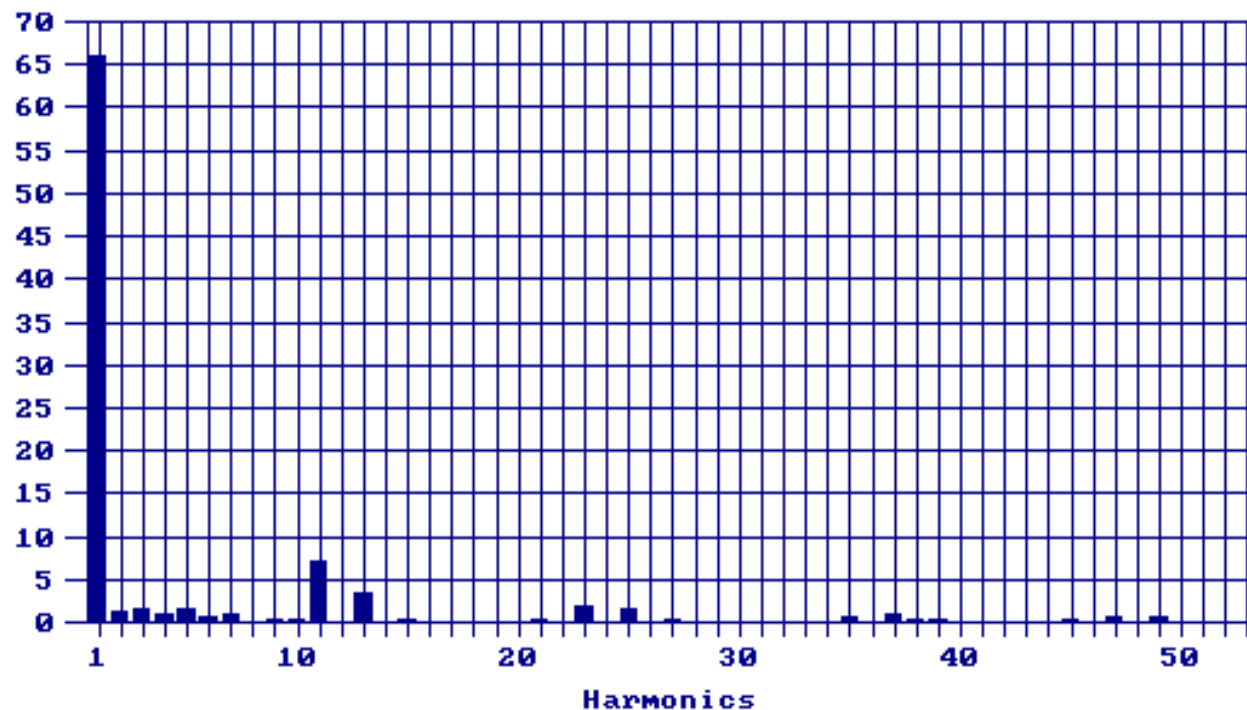


ESPECTRO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE ALTERNA EN MEDIA TENSIÓN

Lado Primario de un Transformador de 3 Devanados Conectado en DDY

26/03/1998 13:03:00 APASCON VENTILADOR 571-VE1

channel 2 Phase A Current

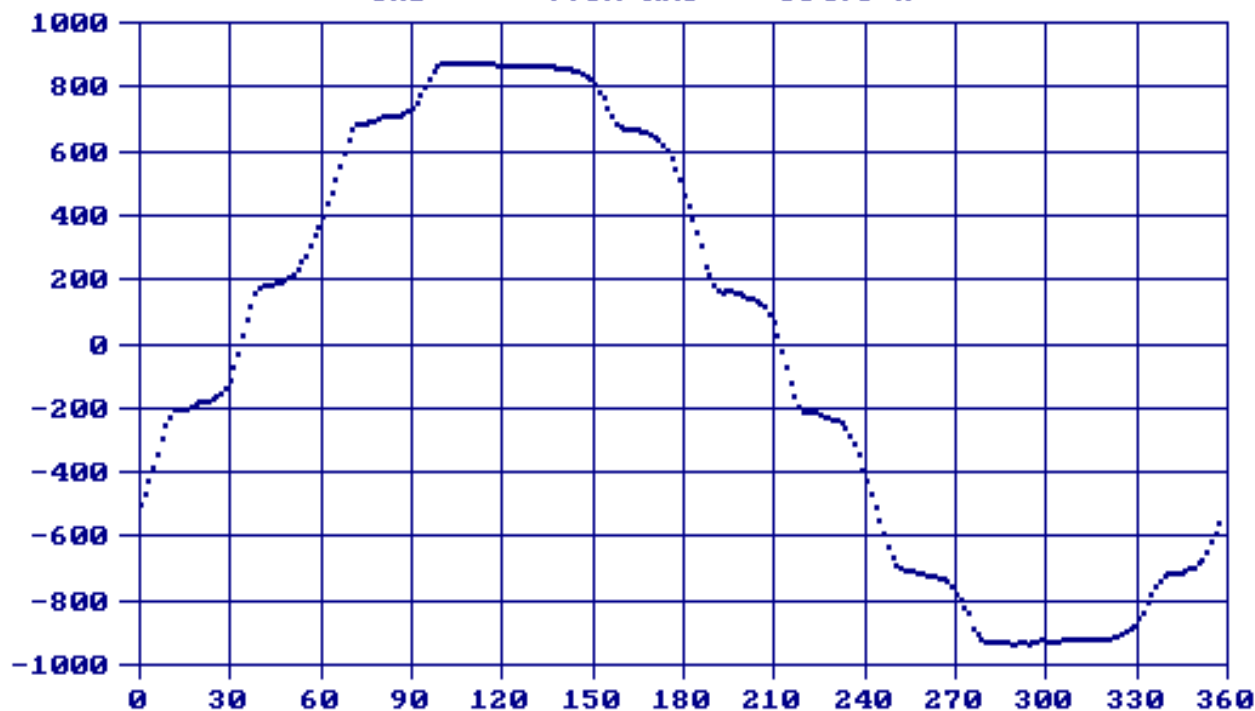


FORMA DE ONDA DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE DIRECTA EN MEDIA TENSION

Variador de 12 Pulsos de Media Tensión

22/09/1995 13:32:23 APM / SALA No 2 AP3

channel 2 Phase A Current
THD = 7.8% RMS = 654.8 A

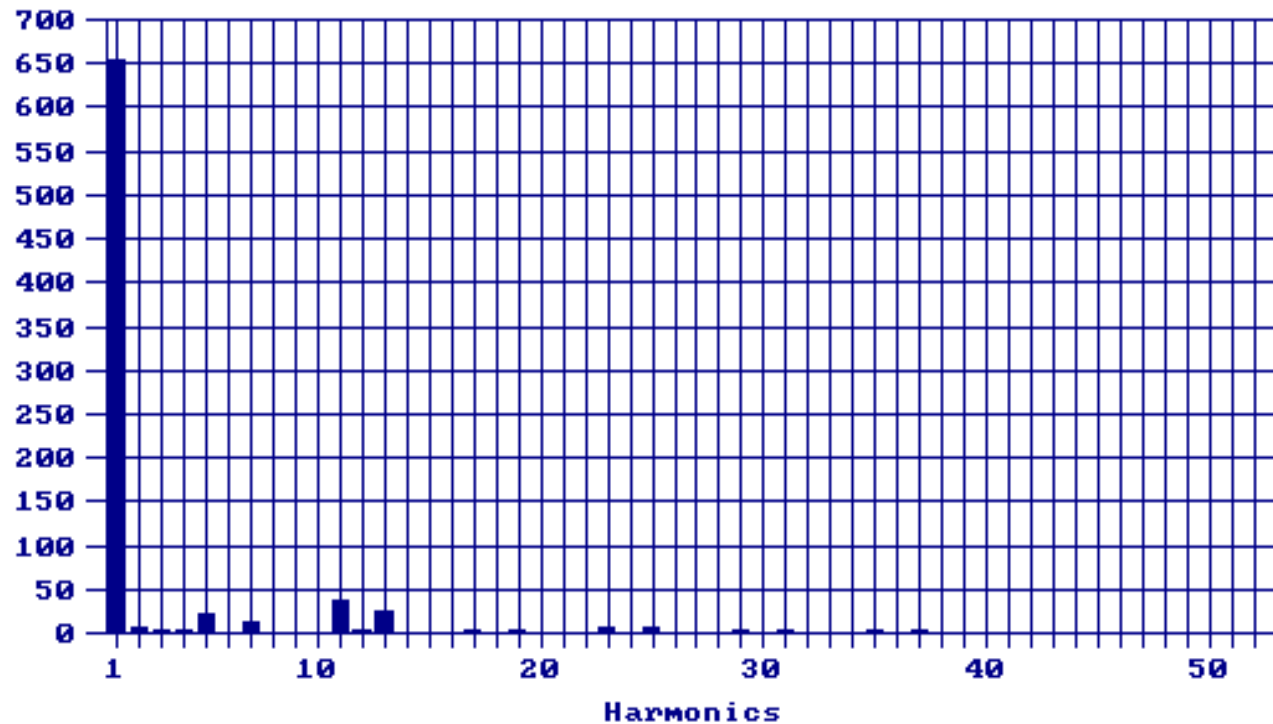


ESPECTRO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD DE CORRIENTE DIRECTA EN MEDIA TENSIÓN

Variador de 12 Pulsos de Media Tensión

22/09/1995 13:32:23 APM / SALA No 2 AP3

channel 2 Phase A Current



3.7.1 COMPORTAMIENTO REAL DE UN DRIVE DE CA

Emisión de armónicas en un Drive

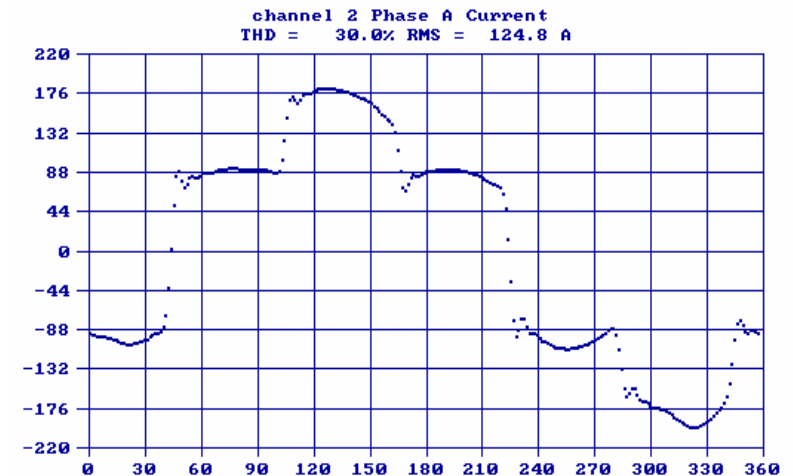
La **magnitud** de las armónicas emitidas por un drive de CA depende de:

- La carga del motor que esté manejando el drive
- La velocidad de operación del motor.
- La impedancia que esté viendo el drive hacia la red.

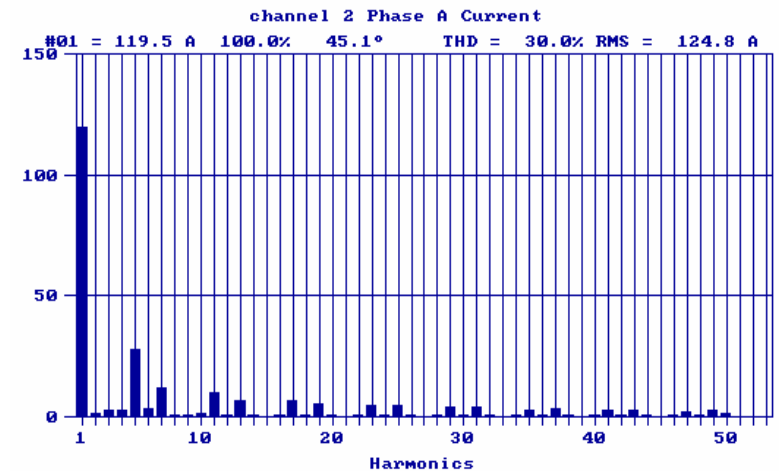
Mediciones

- Drive Allen-Bradley
- 932KW
- 4160V
- Tecnología PWM
- Motor Ind. 1251HP, 4000V, 1192 rpm
- 66% de carga, 60% de la velocidad

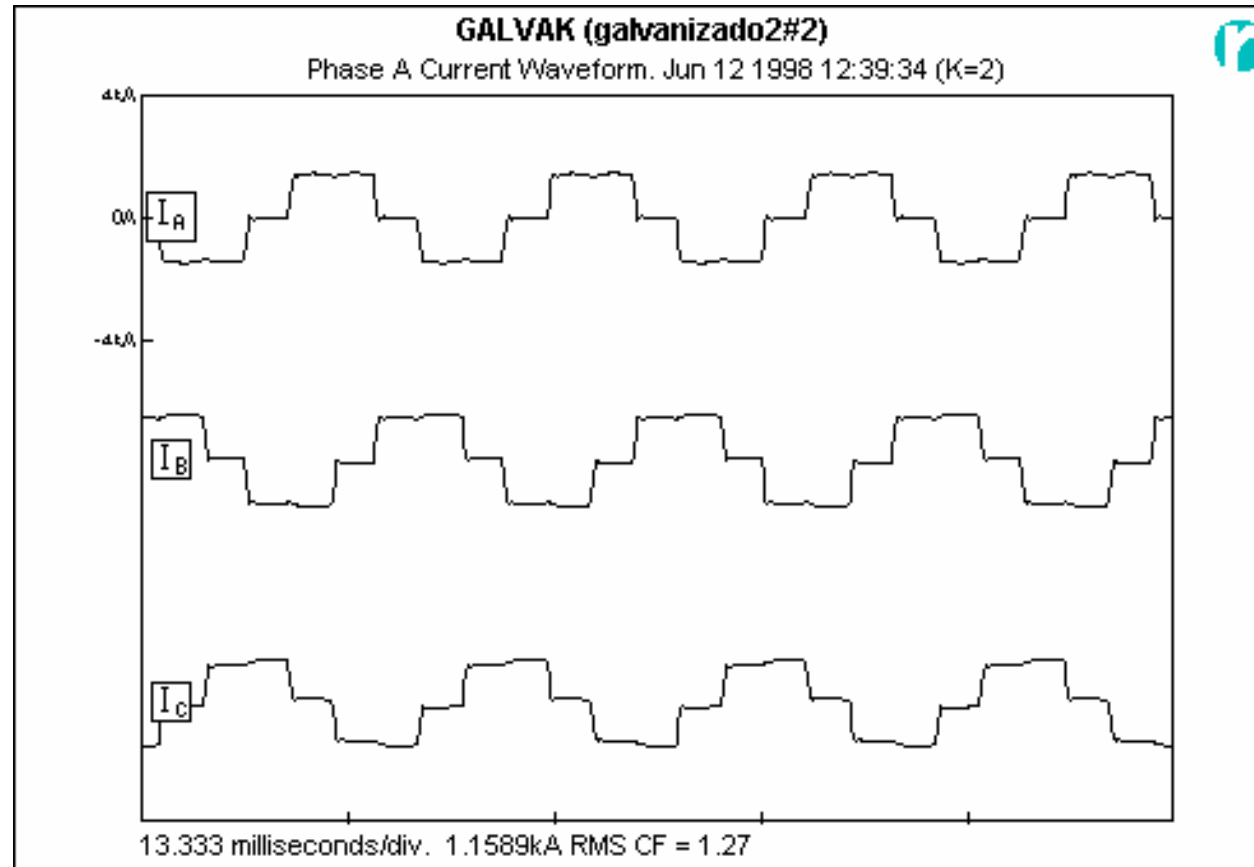
31/07/1996 15:27:01 APASCO\4P2-1W1\442-VE1.M01



31/07/1996 15:27:01 APASCO\4P2-1W1\442-VE1.M01



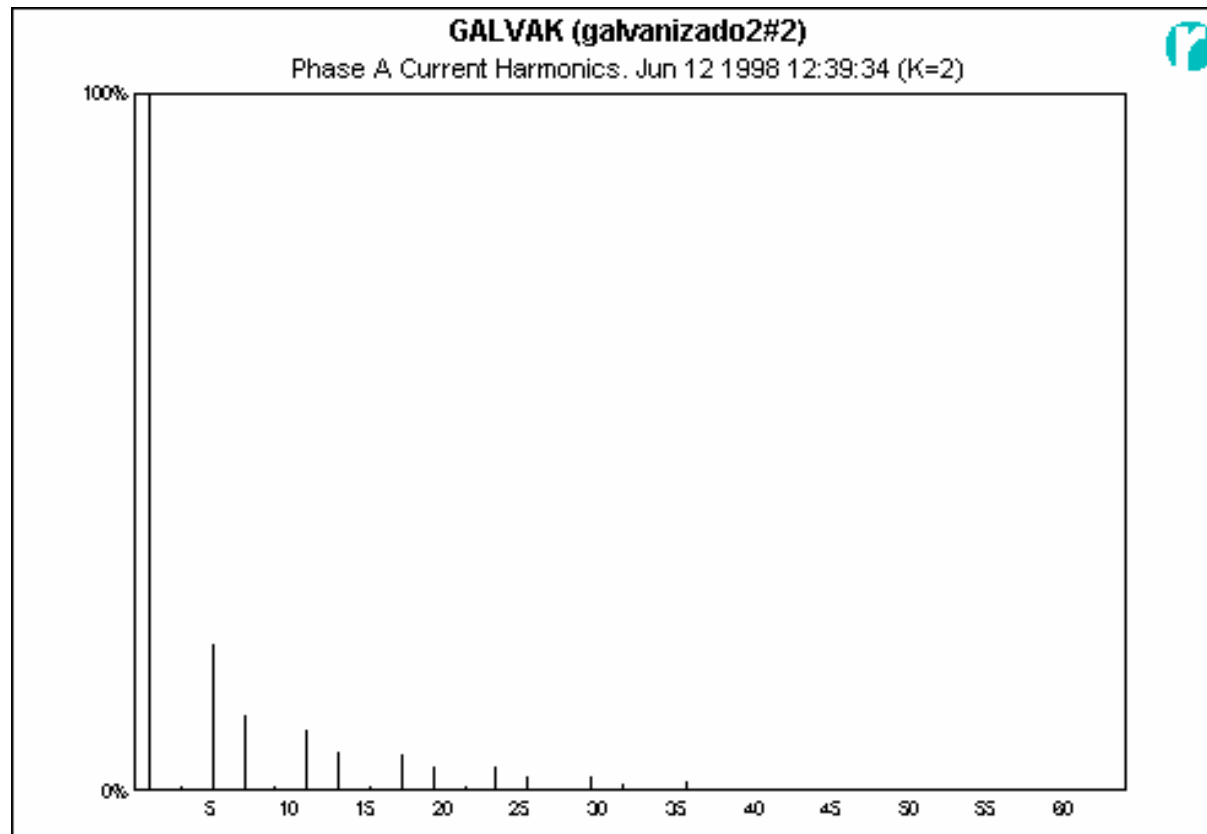
3.7.2 FORMA DE UNA ONDA DE LA CORRIENTE DE UN INVERSOR DE CA/CD/CA CON ALTA INDUCTANCIA DE SALIDA



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



3.7.3 ESPECTRO ARMONICO DE LA CORRIENTE DE UN INVERSOR DE CA/CD/CA CON ALTA INDUCTANCIA DE SALIDA



POWERTEC
INGENIERÍA. S.A. DE C.V.



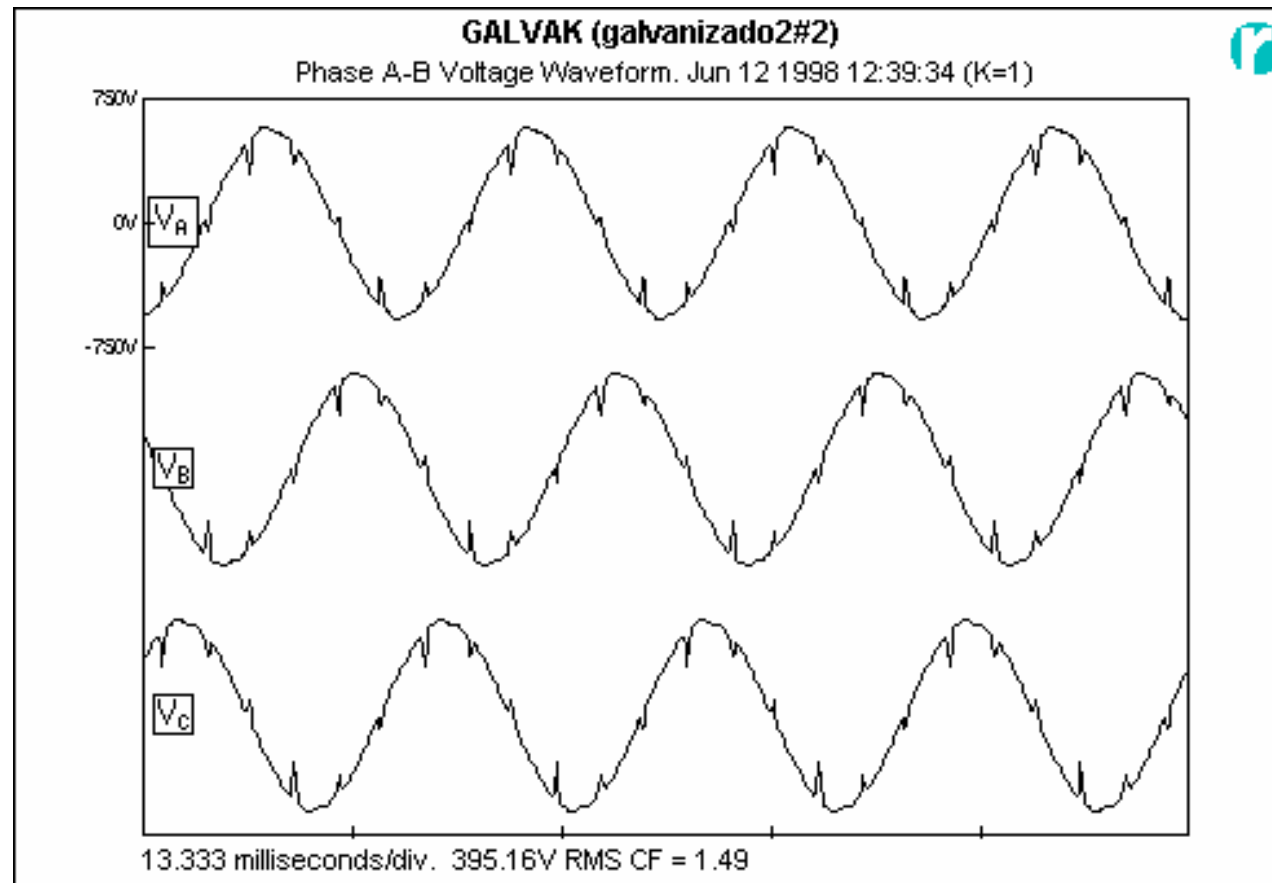
3.7.4 CONTENIDO DE ARMÓNICAS PARA LA CORRIENTE DE UN INVERSOR DE CA/CD/CA CON ALTA INDUCTANCIA DE SALIDA

Harmonic	Amplitude	Phase	Percent
0	6.775A	360°	0.430%
1	1.575kA	92.15°	100%
2	15.38A	88.63°	0.976%
3	16.95A	294.9°	1.076%
4	9.106A	105.1°	0.578%
5	341.6A	281.3°	21.69%
6	3.031A	205.0°	0.192%
7	182.1A	288.9°	11.56%
8	12.61A	283.4°	0.800%
9	17.96A	119.9°	1.140%
10	9.706A	305.7°	0.616%
11	144.4A	116.8°	9.172%
12	3.113A	61.92°	0.197%
13	95.84A	124.5°	6.085%
14	12.04A	118.1°	0.764%
15	17.75A	312.9°	1.127%

Odd Harmonics **28.64%**
Even Harmonics **2.488%**
Total Harmonics **28.75%**



3.7.5 FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE DE UN INVERSOR DE CA/CD/CA CON ALTA INDUCTANCIA DE SALIDA



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



3.8 HORNOS DE ARCO

- Las armónicas producidas por los hornos de arco eléctrico (acero y otras fundiciones) son impredecibles.
- El arco varía ciclo con ciclo.
- La corriente es no periódica.
- Espectro continuo de 2a a 7a armónicas.
- Se tienen dos condiciones de trabajo: fusión inicial y refinamiento.

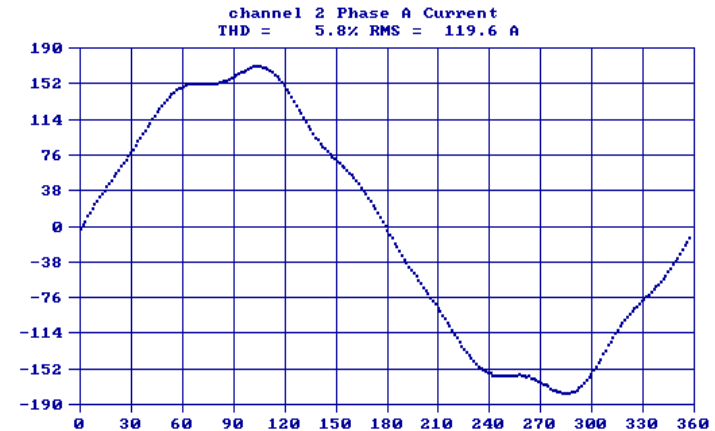
Tabla 4.1 IEEE519-1992

Contenido Armónico de la corriente de un horno de arco en las dos partes del ciclo de fusión

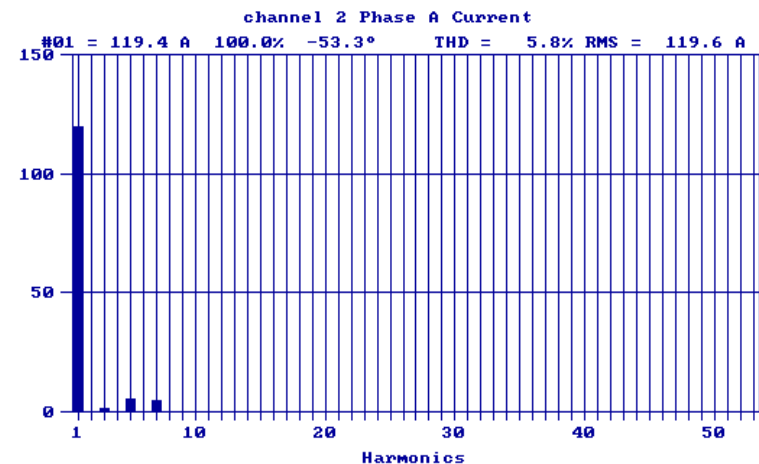
Corriente armónica % de la fundamental Armónicas

Condición	2a	3a	4a	5a	7a
Fusión inicial	7.7	5.8	2.5	4.2	3.1
Refinamiento	0.0	2.0	0.0	2.1	0.0

18/06/1996 15:16:00 MIN AUTLAN\ALIM PPAL 13.2 KV



18/06/1996 15:16:00 MIN AUTLAN\ALIM PPAL 13.2 KV



3.5 DEFINICIÓN DE POTENCIAS PARA EL ANÁLISIS ARMÓNICO EN UN SISTEMA DE POTENCIA

PRECURRENTES

DEFINICION DE VALOR RMS:

$$Mrms = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_n^2}$$

Donde M_n es el valor rms individual establecido en la descomposición de Fourier.

DEFINICION DE DISTORSION ARMONICA TOTAL (THDv o THDi):

Es una medida de la deformación que tiene una forma de onda periodica respecto a una senodal pura de 60Hz.

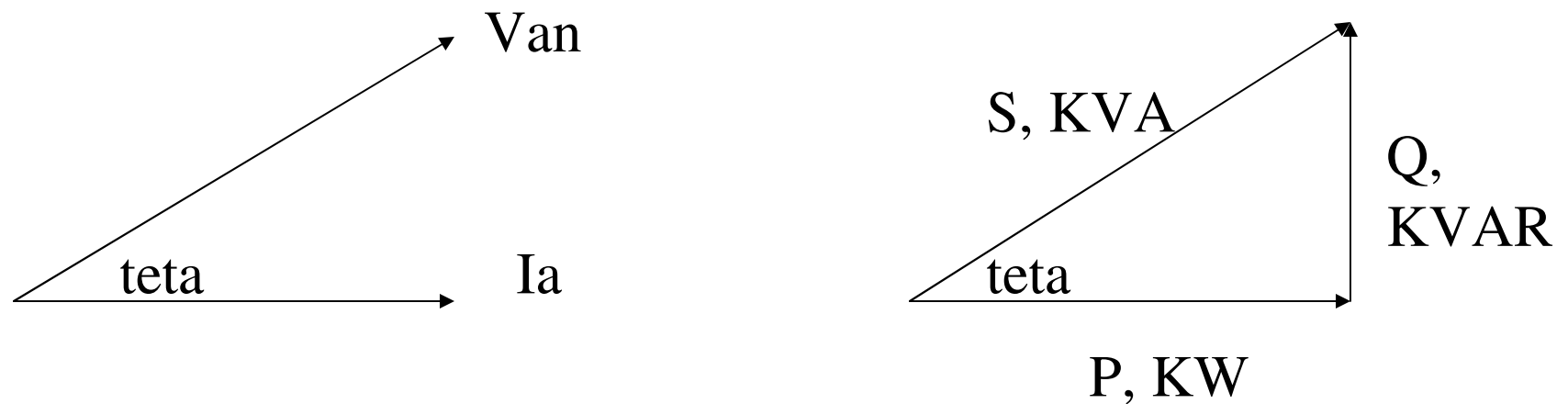
Obteniendo el THD de la corriente

$$THDi = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$$



3.5 DEFINICIÓN DE POTENCIAS PARA EL ANÁLISIS ARMÓNICO EN UN SISTEMA DE POTENCIA (continuación)

FACTOR DE POTENCIA DE DESPLAZAMIENTO (60Hz):



$$FP_{desplazamiento} = \cos(\theta_v - \theta_i)$$

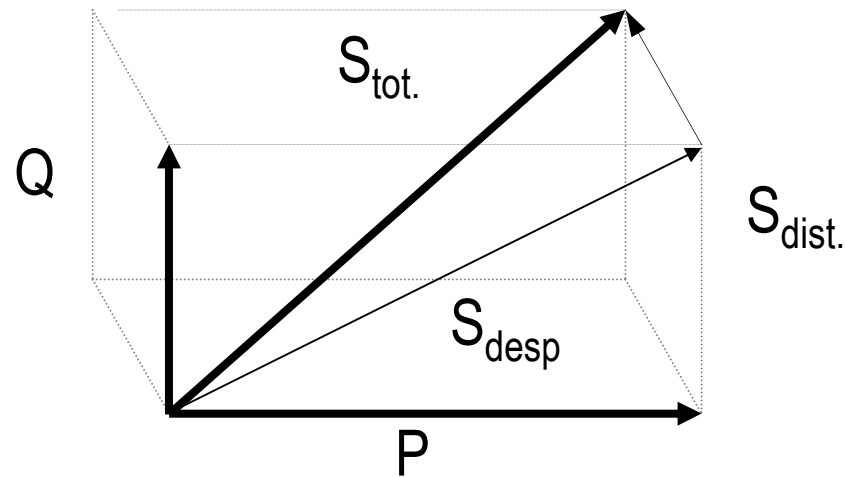


3.5 DEFINICIÓN DE POTENCIAS PARA EL ANÁLISIS ARMÓNICO EN UN SISTEMA DE POTENCIA (continuación)

FACTOR DE POTENCIA VERDADERO:

$$F.P._{verdadero} = \frac{I_1}{I_{rms}} \cos \theta$$

REPRESENTACIÓN DE COMPONENTES FUNDAMENTALES Y ARMÓNICAS EN UN PLANO TRIDIMENSIONAL.



3.9 SATURACIÓN DE NÚCLEOS MAGNÉTICOS, FUENTES CONMUTADAS, BALASTRAS ELECTRÓNICAS



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



3.9 SATURACIÓN DE NÚCLEOS MAGNÉTICOS, FUENTES CONMUTADAS, BALASTRAS ELECTRÓNICAS

(continuación)

Los transformadores producen armónicas cuando estos son energizados o cuando son sobreexcitados.

En general los transformadores no son fuentes de distorsión armónica, puesto que estas armónicas son sólo momentáneas.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

43



3.9 SATURACIÓN DE NÚCLEOS MAGNÉTICOS, FUENTES CONMUTADAS, BALASTRAS ELECTRÓNICAS

(continuación)

Los hornos de arco:

Debido a que la operación de estos es no lineal, generan armónicas.

Sigue siendo un fenómeno momentáneo, el mayor problema en este caso es el “flicker” producido por el arco utilizado en la fusión.



POWERTEC
INGENIERÍA. S.A. DE C.V.



3.9 SATURACIÓN DE NÚCLEOS MAGNÉTICOS, FUENTES CONMUTADAS, BALASTRAS ELECTRÓNICAS

(continuación)

Las fuentes de alimentación conmutadas:

Armónica

% de la fundamental

3	50 a 80%
5	30 a 45%
7	20 a 30%
9	10 a 15%
11	5 a 10%



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

45



3.9 SATURACIÓN DE NÚCLEOS MAGNÉTICOS, FUENTES CONMUTADAS, BALASTRAS ELECTRÓNICAS

(continuación)

Las “BALASTRAS” electrónicas:

Armónica	Balasta Electrónica	Balasta Ferrosresonante
3	9.1%	20%
5	7.1%	12%
7	1.7%	1.90%
9	1.4%	1.20%

Utilizados en la alimentación de tubos fluorescentes.
Permiten reducir el consumo eléctrico.



POWERTEC
INGENIERÍA. S. A. DE C. V.



3.10 CONTROL ELECTRÓNICO DE POTENCIA

La electrónica de potencia

Este es el **verdadero culpable** de la distorsión armónica.

Tres categorías:

a) Rectificadores c.c.

b) Inversores c.a.

c) Fuentes de alimentación conmutadas.



POWERTEC
INGENIERÍA. S. A. DE C. V.

47



3.10 CONTROL ELECTRÓNICO DE POTENCIA

(continuación)

Los inversores C.A.:

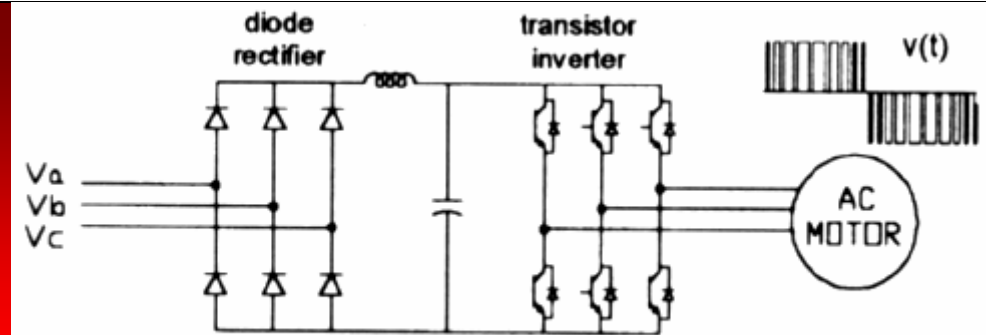


Figure 5.12 PWM ASD.

Armónica

% de la fundamental

5

45 a 75%

7

19 a 59%

11

3 a 36%

13

2 a 25%



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



3.10 CONTROL ELECTRÓNICO DE POTENCIA

(continuación)

Los rectificadores tri-fásicos:

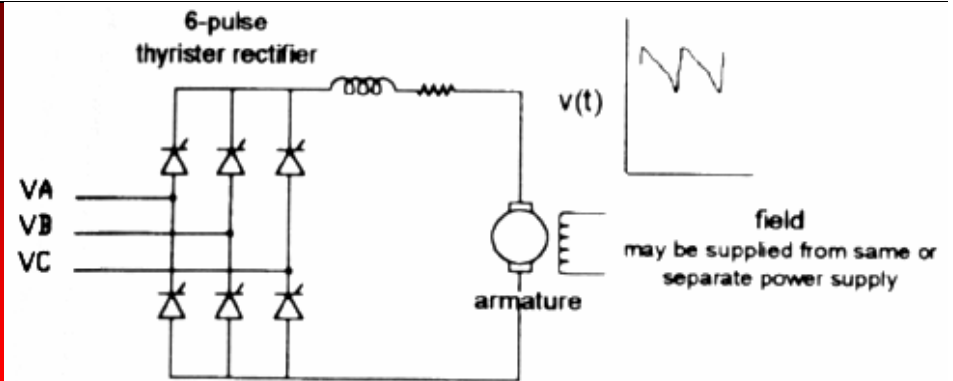


Figure 5.11 Six-pulse dc ASD.

Pulsaciones

Orden de Armónica

	5	7	11	13
6	0.175	0.11	0.045	0.029
12	0.026	0.016	0.045	0.029



4. EFECTO DE LAS CORRIENTES Y VOLTAJES ARMÓNICOS SOBRE EL SISTEMA DE POTENCIA

4.1 ASPECTOS GENERALES

- **Distorsión en el voltaje**

Todas las cargas del sistema tienen un voltaje común de alimentación (el bus del lado de baja de la planta) y por consecuencia los siguientes pasos de transformación. Cuando el voltaje está distorsionado todas las cargas son afectadas. Entre los elementos más sensibles a estas distorsiones se encuentran:

- Los controles electrónicos de velocidad que requieren señales de voltaje de alimentación sanas.

- **Bancos de capacitores**

- Pueden sufrir salidas inexplicables por la operación de sus fusibles de protección.
- Daño por sobrevoltajes producidos por resonancia.

- **Otros elementos**

- Elementos como: **Transformadores, buses y alimentadores** son calentados por armónicas debido a un efecto agregado I^2R , disminuyendo su vida útil.
- La operación de las protecciones también puede verse afectada.



3.3 CONCEPTOS BÁSICOS (continuación)

La impedancia de un inductor o de un capacitor depende de la frecuencia.

$$X_L = j\omega L = j2\pi fL; X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi fC}$$



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



4.2 EL CONCEPTO DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA

158 Chapter Five

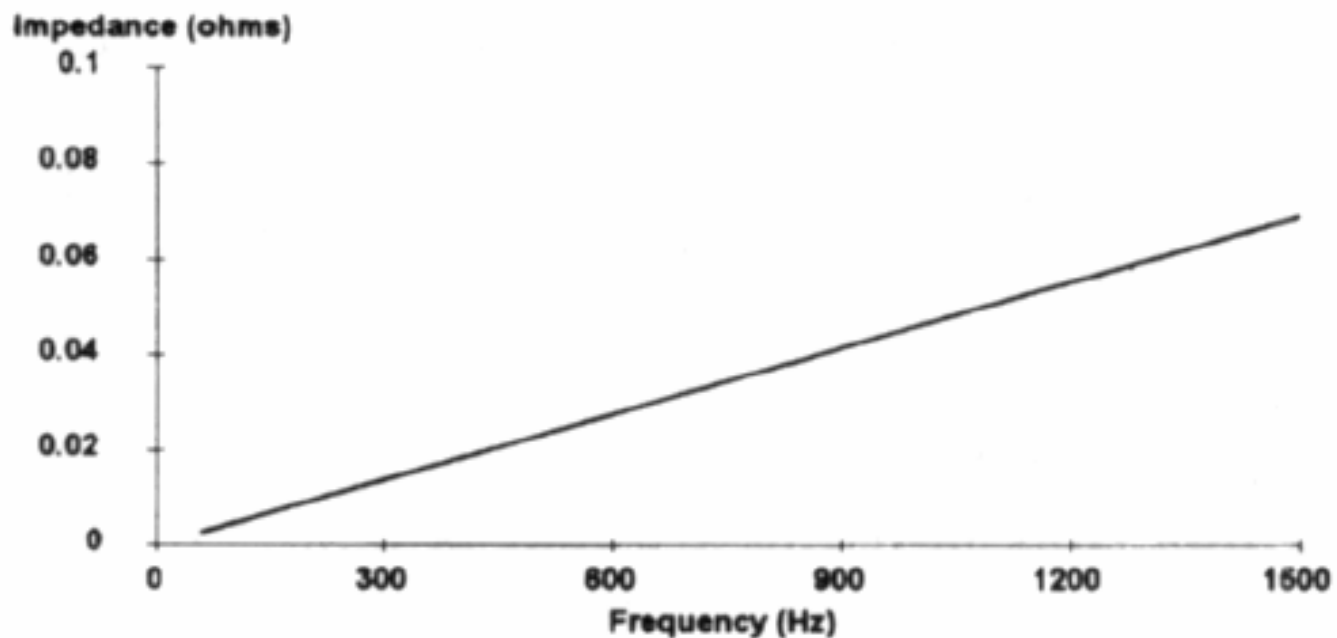


Figure 5.21 Impedance vs. frequency for inductive system.



4.2 EL CONCEPTO DE RESPUESTA A LA FRECUENCIA

(continuación)

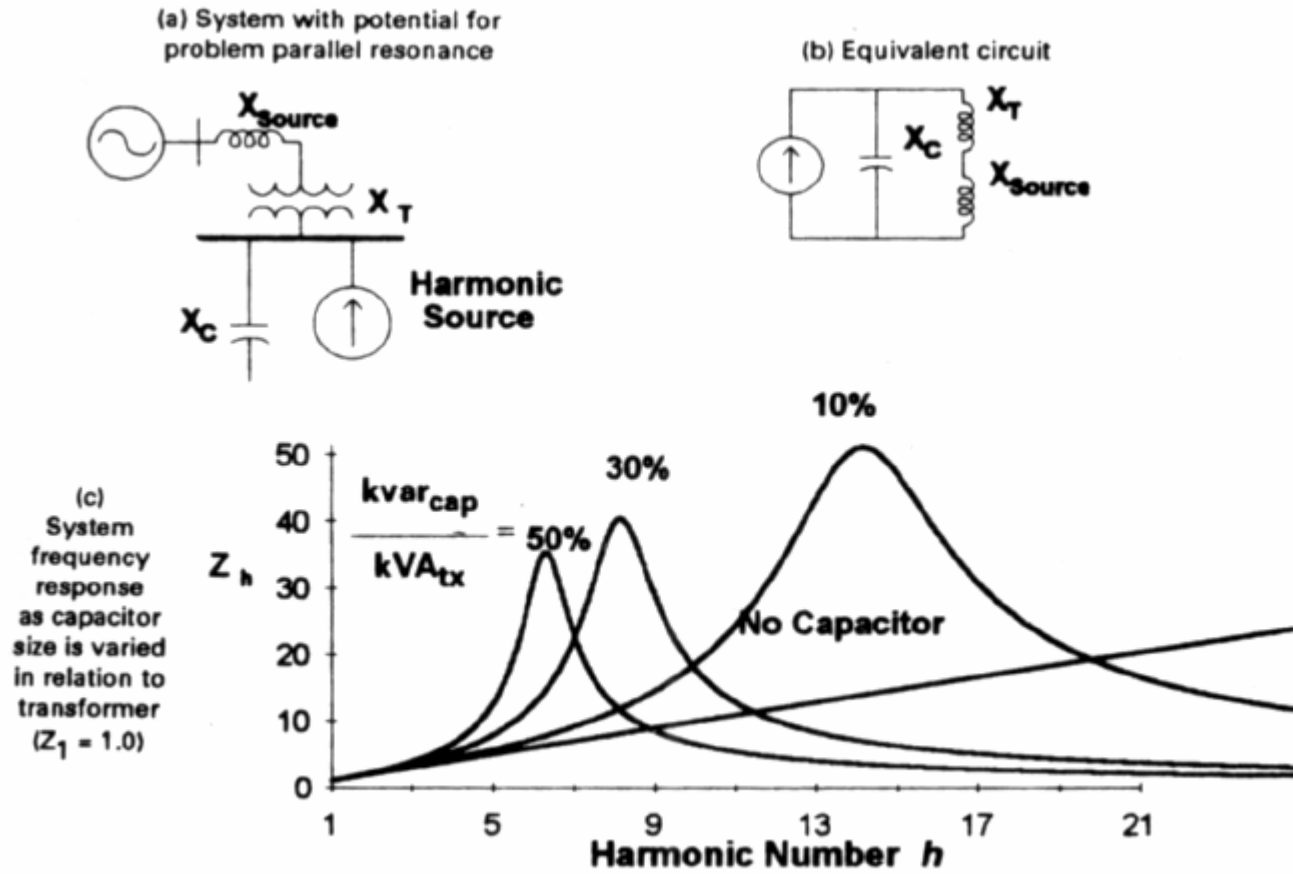


Figure 5.22 Effect of capacitor size on parallel resonant frequency.



4.3 CIRCULACION DE LAS ARMÓNICAS Y SUS EFECTOS SOBRE EL VOLTAJE

-La trayectoria hacia CFE es la que tiene la menor impedancia para las armónicas.

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

$X_{lh} = \omega \times L \times h$ (X_{lh} : reactancia inductiva del sistema a la armónica generada, L : inductancia, h : armónica)

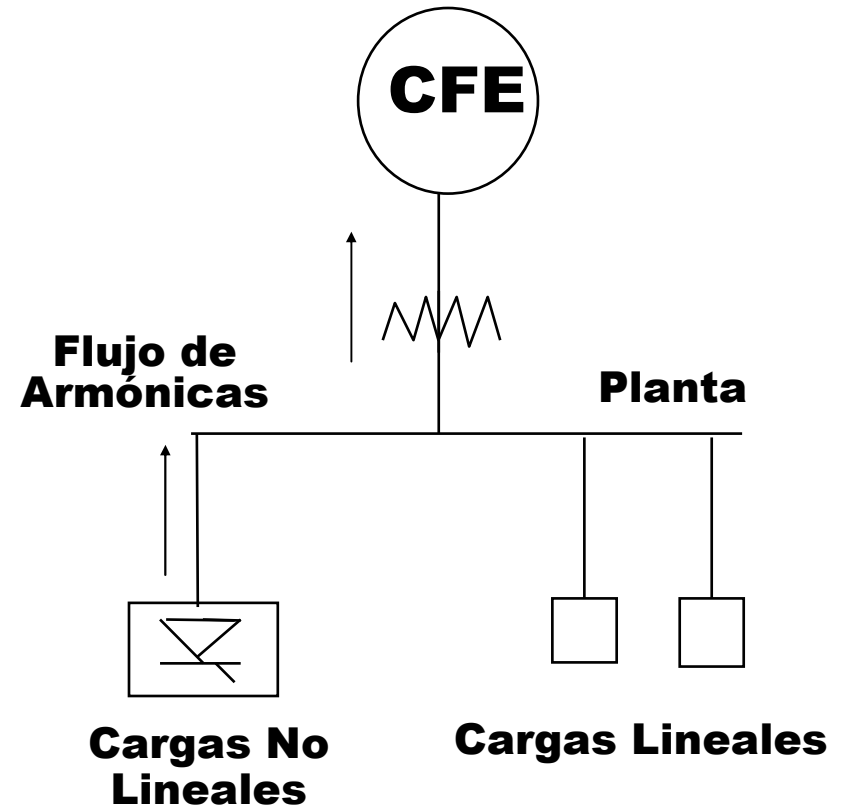
-Cuando $f \uparrow$ $X_{lh} \uparrow$

-Caídas de voltaje armónicos de acuerdo a

$V_h = X_{lh} \times I_h$ (I_h : corriente armónica que está pasando a través de la impedancia del sistema).

-Cada armónica emitida produce una caída de voltaje armónico.

-El voltaje que medimos en el bus es la superposición de todos los voltajes armónicos más el voltaje fundamental.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



4.4 EFECTO DE LOS CAPACITORES CUANDO EN EL SISTEMA DE POTENCIA EXISTEN CORRIENTES ARMÓNICAS

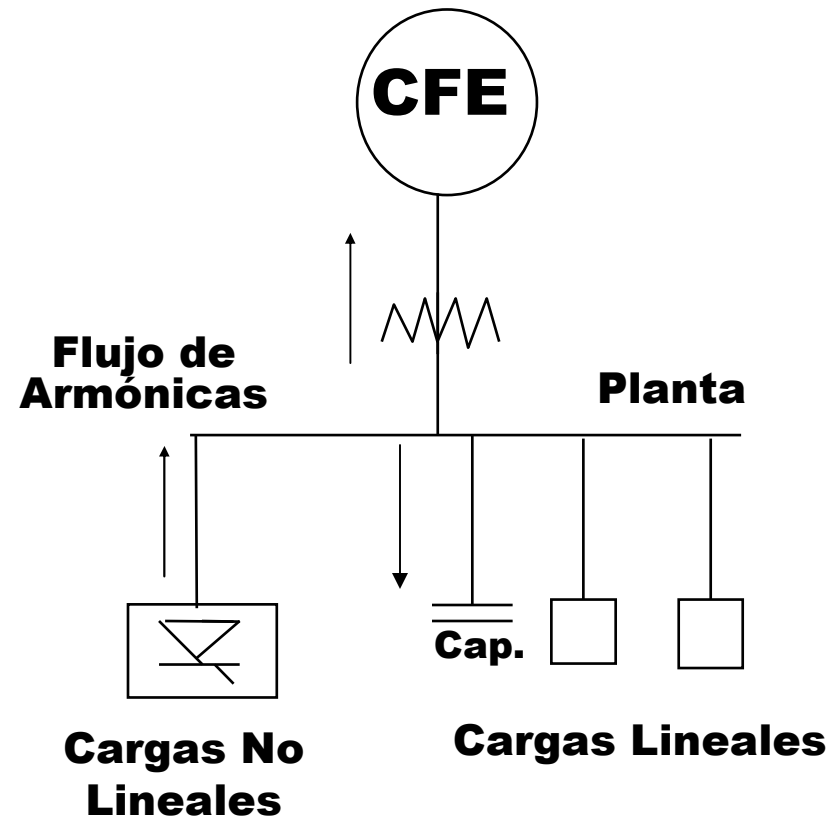
COMPORTAMIENTO DE LOS CAPACITORES

$$\omega = 2 \pi f,$$

$X_c = 1 / (\omega C)$, donde C es la capacitancia,

- Cuando $f \uparrow$ $X_c \downarrow$, entonces

- Es una trayectoria alternativa para la circulación de las armónicas.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



4.4.1 BANCOS DE CAPACITORES

Condiciones Problemáticas

- Cuando un alto porcentaje de la capacidad instalada es carga no lineal (Aprox. 35%) como variadores de velocidad y hornos de arco.

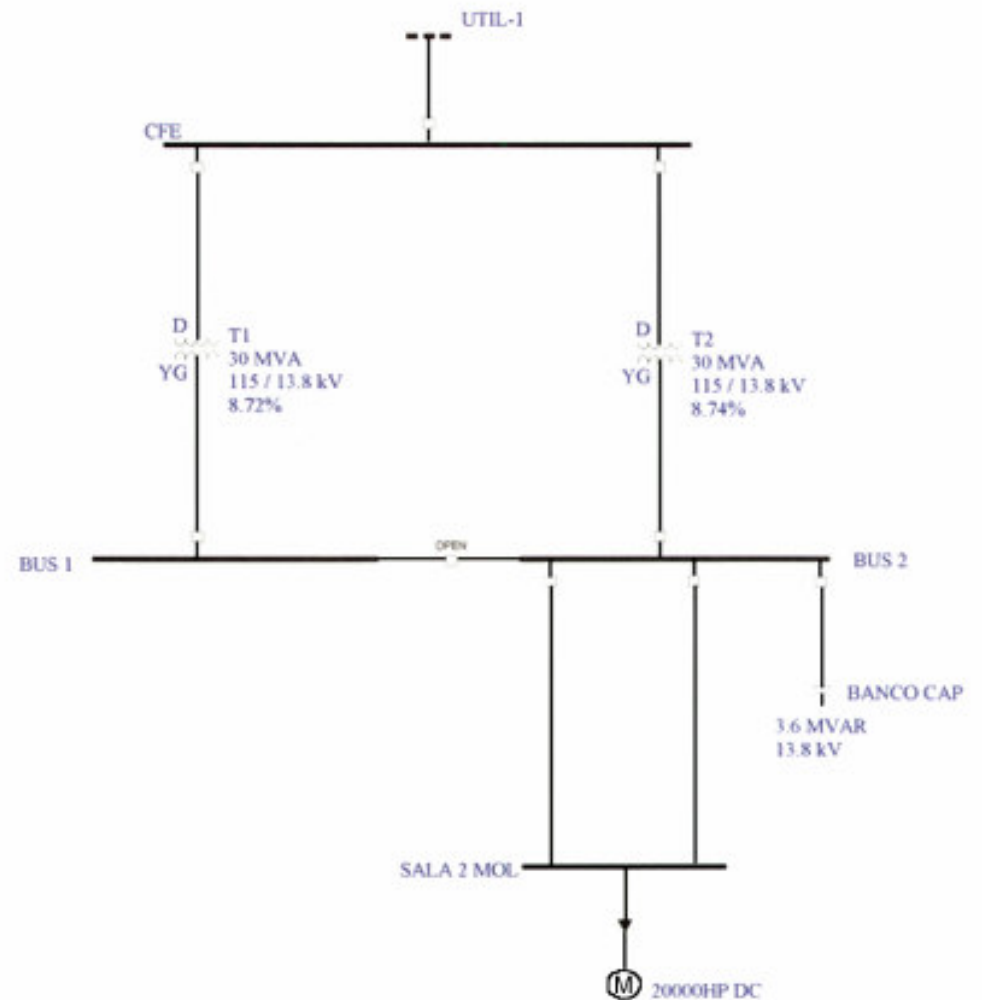
Problemas Potenciales en Orden Ascendente:

- Alta distorsión en el voltaje del sistema.
- Salidas inexplicables en la operación de equipos sensibles a la distorsión del voltaje como variadores de velocidad y PLCs.
- Salida de los bancos de capacitores de manera continua por la operación de sus protecciones.
- Destrucción de los bancos de capacitores.



4.5 RESONANCIA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

PROBLEMA



POWERTEC
INGENIERÍA, S. A. DE C. V.

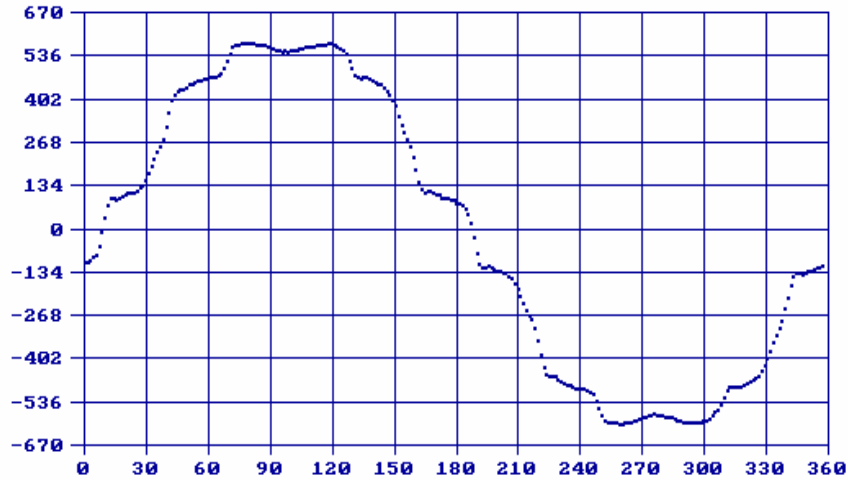


4.5 RESONANCIA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

(continuación)

30/05/1994 16:46:22 VOLTAJE DISTORSIONADO POR ARMONICAS

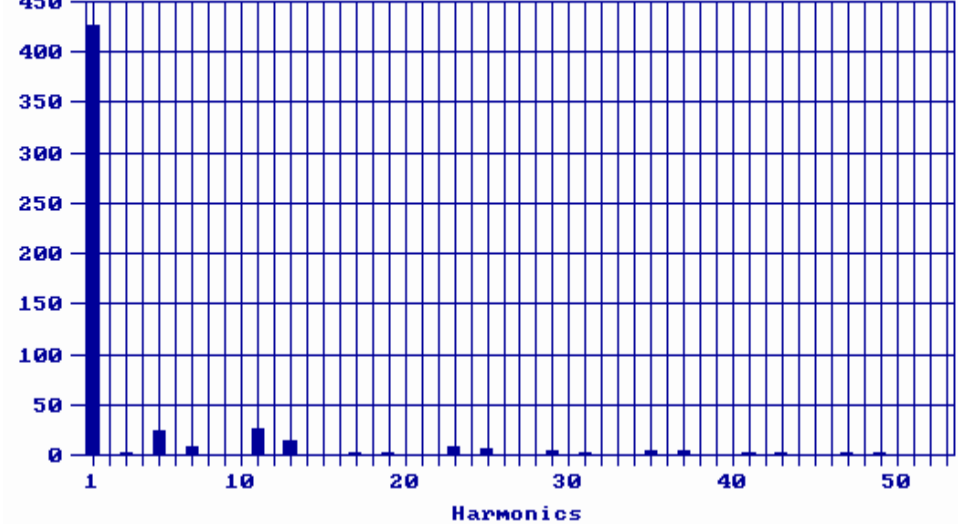
channel 6 CORRIENTE FASE C AP-4
THD = 9.5% RMS = 427.9 A



30/05/1994 16:46:22 VOLTAJE DISTORSIONADO POR ARMONICAS

channel 6 CORRIENTE FASE C AP-4

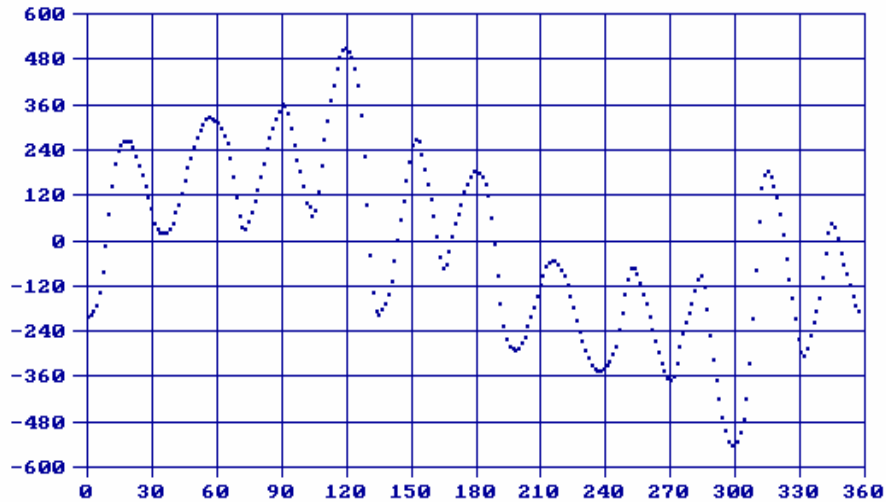
#01 = 426.0 A 100.0% 7.2° THD = 9.5% RMS = 427.9 A



4.5 RESONANCIA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

20/06/1994 14:56:44 RESONANCIA EN BANCO DE CAPACITORES

channel 2 CORRIENTE FASE A
THD = 88.1% RMS = 241.4 A

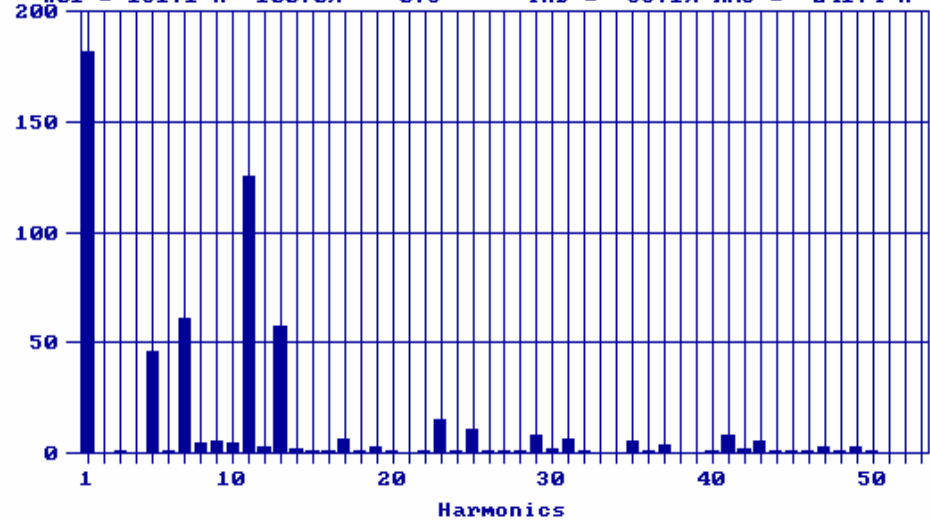


(continuación)

20/06/1994 14:56:44 RESONANCIA EN BANCO DE CAPACITORES

channel 2 CORRIENTE FASE A

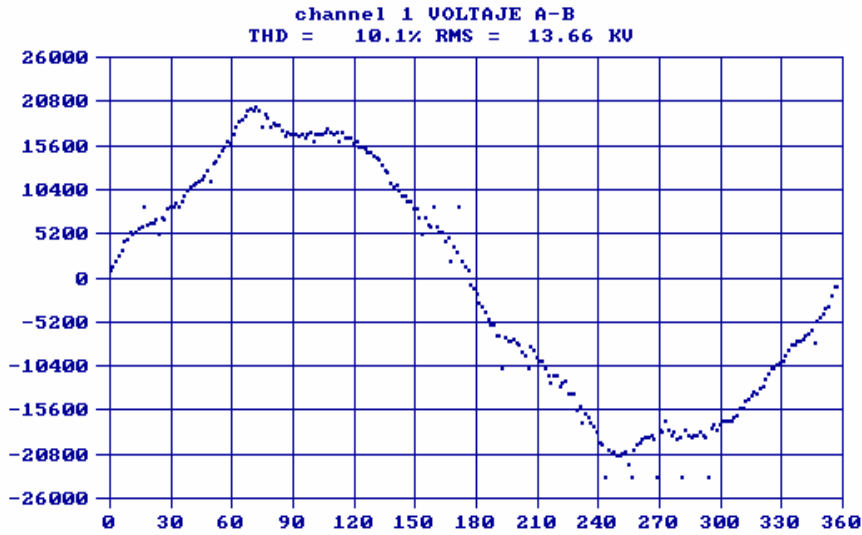
#01 = 181.1 A 100.0% -0.5° THD = 88.1% RMS = 241.4 A



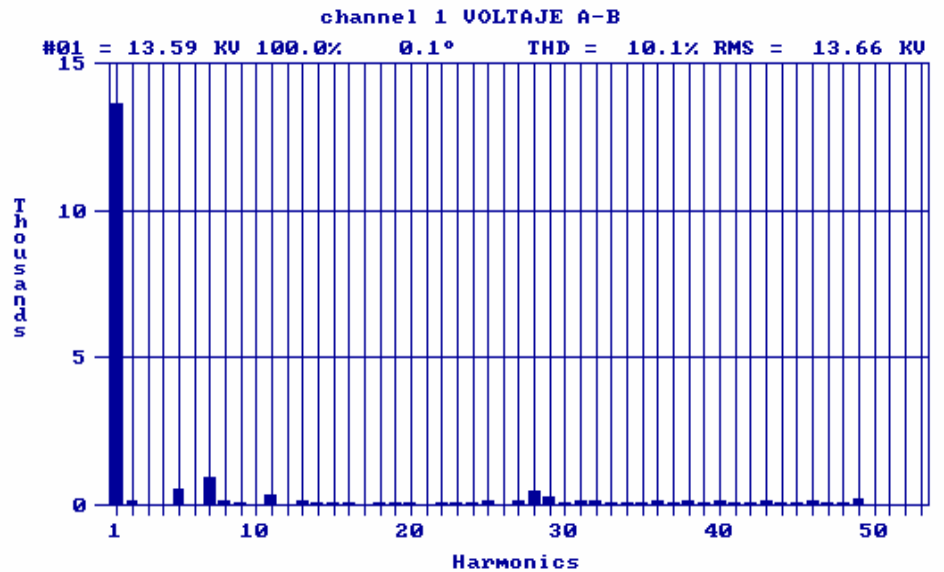
4.5 RESONANCIA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

(continuación)

30/05/1994 16:46:22 VOLTAJE DISTORSIONADO POR ARMONICAS



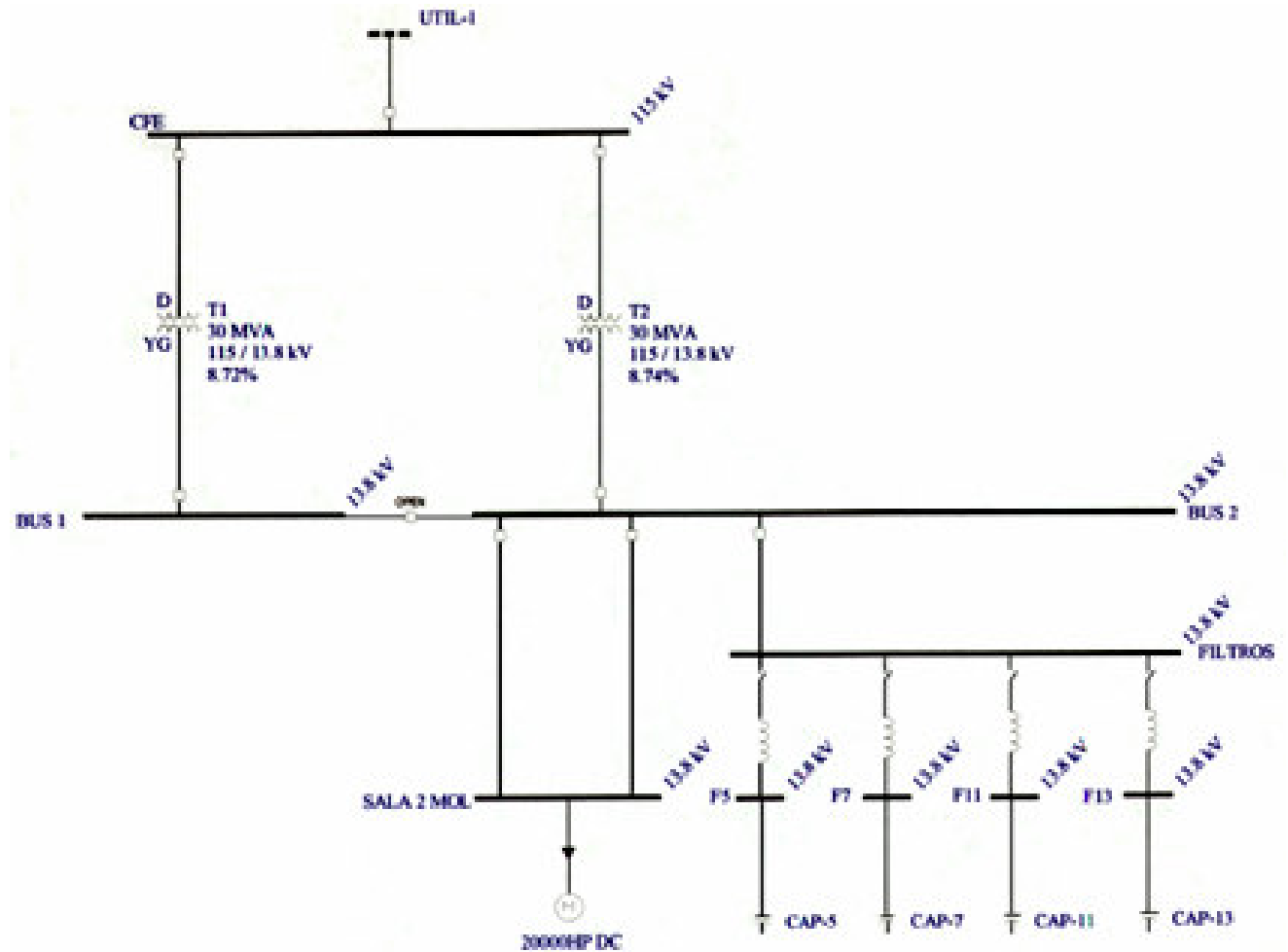
30/05/1994 16:46:22 VOLTAJE DISTORSIONADO POR ARMONICAS



4.5 RESONANCIA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

(continuación)

SOLUCIÓN



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

- **Errores sobre los dispositivos de protección:**

Los relevadores electromecánicos que responden a la temperatura del conductor pueden operar cuando efectivamente no hay una falla presente.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

62



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

(continuación)

- **Neutro sobrecargado, 1.73 la corriente de línea.**

Debido a que la tercera armónica se suma en el neutro. Posibilidad de causar incendios cuando el cableado eléctrico está mal dimensionado.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

63



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

(continuación)

- **Errores sobre los aparatos de telecomunicaciones:**

Creación de interferencia telefónica (principalmente la componente de secuencia cero)



POWERTEC
INGENIERÍA, S. A. DE C. V.

64



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

(continuación)

- Aumento de pérdidas por efecto Joules: (I_r^2) en los conductores.
- Misma pérdida por efecto Joules y adicionalmente por efecto Foucault. Los **transformadores** se calientan y en el mejor de los casos tienen que ser utilizados debajo de su nivel de operación nominal.
- Pérdidas similares en los transformadores para los **motores**, y peligro de daño por los componentes de secuencia de armónicas que aceleran o frenan el motor de forma no deseada.

¡Recordemos los componentes de secuencia!



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

(continuación)

- Errores de medición:

Los instrumentos calibrados para medir solamente una onda sinusoidal de 60 Hz, actúan como filtros, y no dan mediciones precisas de consumo.

dPF = cosQ a 60 Hz

$$PF = \frac{W}{VA}$$

$$VA = \sqrt{W^2 + VAR^2 + D^2}; \quad D = \text{distorsión}$$



POWERTEC
INGENIERÍA. S.A. DE C.V.

66



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

(continuación)

- **Errores sobre los dispositivos de control electrónico:**

Los cruces por cero introducidos por las armónicas pueden afectar ciertos controladores.

Ejemplo trivial: los relojes digitales marcharán más de prisa.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

67



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

(continuación)

- Errores sobre los bancos de condensadores utilizados para la corrección de factor de potencia:

Típicamente conectados en paralelo, pueden crear una resonancia dañina para la red. También pueden crear sobretensiones no deseadas.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

68



4.6 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

INTERFERENCIA TELEFÓNICA

(continuación)

TIF: La presencia de corrientes armónicas o voltajes en circuitos asociados con aparatos convertidores de potencia pueden producir campos eléctricos o magnéticos, los cuales pueden interferir en el buen desempeño de los equipos de comunicación, que por su proximidad y susceptibilidad pueden ser perturbados. El TIF. Es una dimensión que es indicativo de la forma de onda y no de la amplitud y está dada por:

$$\text{TIF} = \frac{\sqrt{\sum (I_f \cdot W_f)^2}}{X_t} \quad \text{O equivalente} \quad \text{TIF} = \sqrt{\sum \left[\frac{(I_f \cdot W_f)}{X_t} \right]^2}$$

Donde:

X_t : Voltaje Corriente Total rms.

X_f : Frecuencia Simple rms de la Corriente o Voltaje a Frecuencia f .

W_f : Frecuencia Simple TIF a Frecuencia f .



5. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



5.1 CÓMO SE MANIFIESTA LA CONTAMINACIÓN POR ARMÓNICAS

Distorsión Armónica Total

La forma de evaluar la distorsión que tiene un voltaje o una corriente es a través del parámetro denominado distorsión armónica total THD (Total Harmonic Distortion).

$$\text{THD}_{v,I} = \frac{\sqrt{h_2^2 + h_3^2 + \dots + h_{50}^2}}{h_1} * 100$$

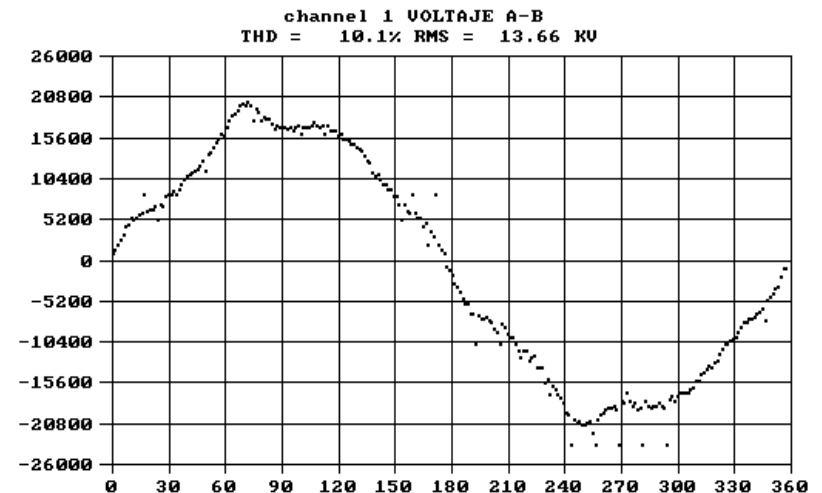
Donde:

h_1 : voltaje o corriente fundamental.

h_2, h_3, \dots, h_{50} : armónicas de voltaje o corriente, presentes en la señal medida.

El parámetro más importante a evaluar en el sistema eléctrico de potencia es el THD de voltaje.

30/05/1994 16:46:22 VOLTAJE DISTORSIONADO POR ARMONICAS



5.2 INTERPRETACIÓN FÍSICA DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL DE UNA FORMA DE ONDA

Distorsión Armónica Total del Voltaje THDv:

El THD puede darnos una idea de cuánto más calor será disipado cuando un voltaje que tiene una forma de onda distorsionada es aplicado a una resistencia.

Distorsión Armónica Total de la Corriente THDi:

El THD de la corriente es el valor potencial de capacidad de calentamiento de las armónicas relativo a la componente fundamental.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



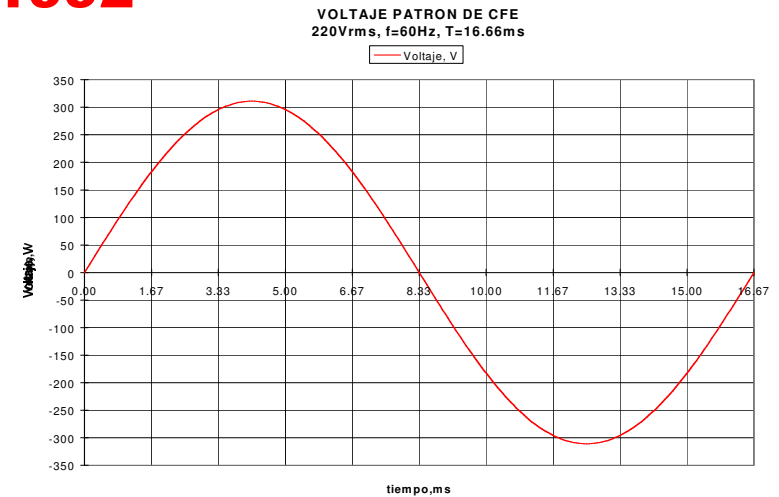
5.3 FILOSOFÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR ARMÓNICAS

STD. IEEE519-1992

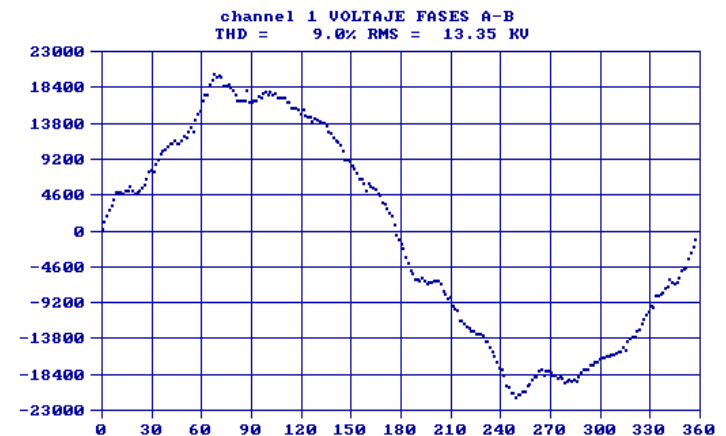
Debido a la introducción en la industria de equipos eléctricos diseñados con nuevas tecnologías y que son en su mayoría cargas no lineales que introducen grandes cantidades de armónicas en los sistemas de potencia, se decidió establecer límites en la emisión de armónicas para los sistemas industriales, bajo la siguiente filosofía;

1. Limitar la inyección individual en cada alimentador para no provocar distorsiones en el voltaje del sistema industrial.
2. Y como consecuencia, limitar la distorsión del voltaje suministrado por CFE.

El estándar también sugiere soluciones para aquellos usuarios cuya inyección de armónicas sea considerada como dañina según el mismo.



20/06/1994 14:56:44 APM\ BUS PRINCIPAL DE 13.8 KV

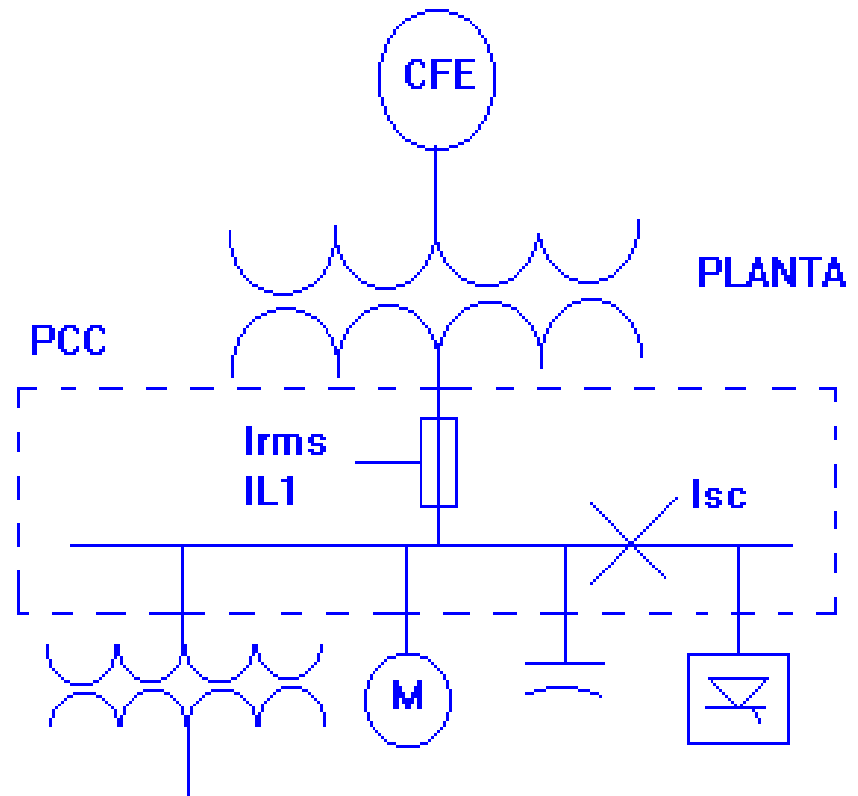


5.4 EVALUACIÓN CONTRA EL STD. IEEE519-1992

La evaluación de un sistema contra la norma se realiza con base en **mediciones** de voltaje y corriente en puntos estratégicos del sistema.

- 1) **PCC**: punto de acoplamiento común, es el punto donde se distribuye la energía de la planta.
- 2) **IL**: máxima corriente de 60Hz medida en el PCC (esta corriente forma parte de la corriente rms que vamos a evaluar)
- 3) **Isc**: corriente de corto circuito disponible en el PCC.

La relación **Isc/IL** es una medida de la fortaleza que presenta un sistema para evitar que las armónicas distorsionen su voltaje.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



5.4.1 EVALUACIÓN CONTRA EL STD. IEEE519-1992

La tabla que se muestra a continuación presenta los límites de las armónicas que pueden circular en el PCC, el término TDD es la distorsión armónica total de la corriente rms máxima medida.

En cuanto a las Armónicas pares los límites permitidos son el 25% de las impares.

Corrientes Armónicas Individuales Máximas en % de IL						
Armónicas Individuales (Impares)						
Isc PCC/IL	< 11	11 <= h < 17	17 <= h < 23	23 <= h < 35	h <= 35	TDD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

IEEE-519 :
Límites de Distorsión de Corrientes Para Sistemas de Distribución (120 V a 69 000 V)



6. METODOLOGÍA PARA LA REDUCCIÓN DE CORRIENTES ARMÓNICAS

REACTORES DE LÍNEA
TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO
FILTROS DE ARMÓNICAS
TRANSFORMADORES DE TRES DEVANADOS



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

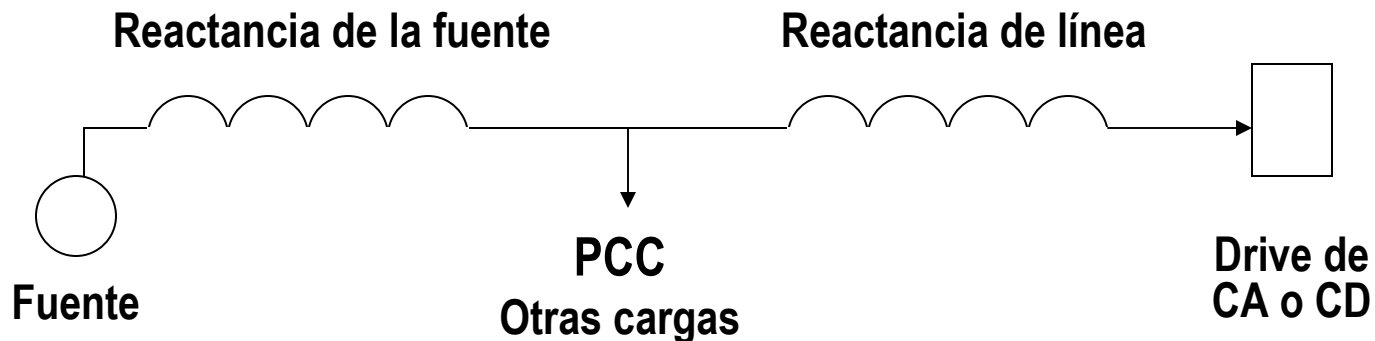
76



REACTORES DE LÍNEA

Los drives de CA pueden requerir reactancia de línea para proteger su parte capacitiva o inductiva-capacitiva de CD de los sobrevoltajes transitorios o disturbios en el voltaje del sistema de alimentación, tiene la función de un divisor de voltaje que hace que el drive vea más pequeños los disturbios de la línea.

- Limita la cantidad de armónicas que el drive inyecta al sistema.
- Disminuye la distorsión armónica en el voltaje.
- Agrega reactancia en la entrada de un drive de CA.
- Mejora el factor de potencia del mismo.



Unifilar equivalente de un drive y una reactancia de línea.



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

DEFINICIÓN DE REACTOR

OPOSICIÓN AL
CAMBIO DE LA
CORRIENTE:

- Incremento de la corriente > se almacena la energía.
- Disminución de la corriente > se restablece la energía.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

PORCENTAJE DE IMPEDANCIA

- **% Impedancia = $\frac{\text{Caída de Voltaje}}{\text{Voltaje del Sistema}}$**
- **3% Impedancia = 0.03 x 480 Volts
= 14.4 Volts**
- **5% Impedancia = 0.05 x 480 Volts
= 24 Volts**



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

79



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

REACTORES DE LA ENTRADA

Aplicaciones Típicas

- Protección de cuchillas de desconexión en acometidas y bancos de capacitores.
- Reducción de distorsión armónica.
- Reducción del efecto de circuitos SCR.
- Mejoramiento del factor de potencia (RMS).



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

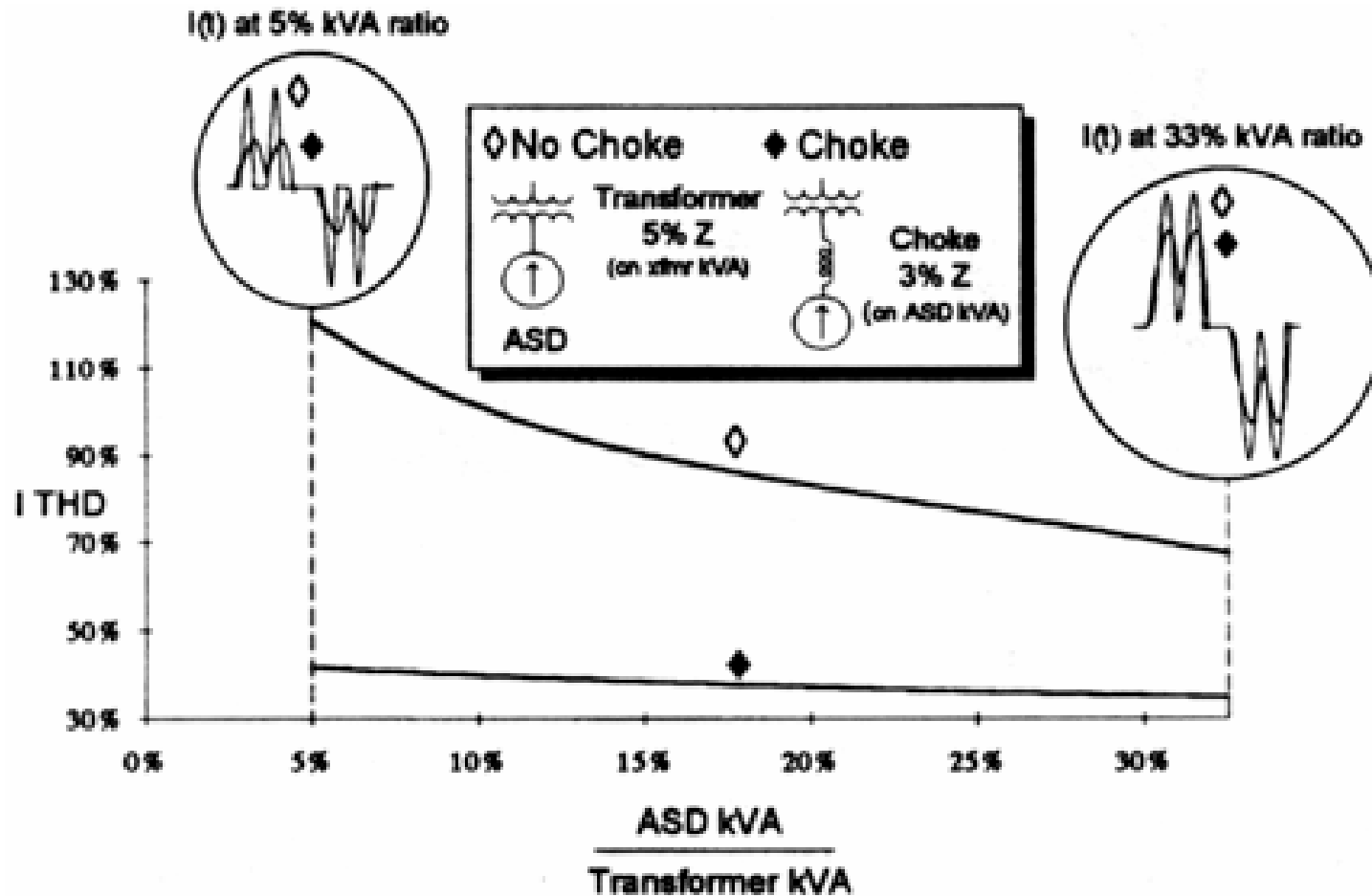


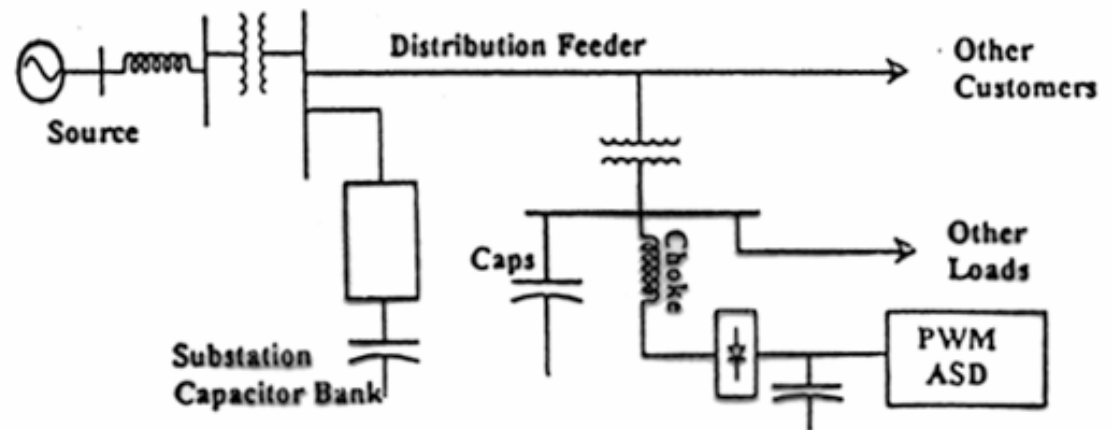
Figure 5.15 Effect of ac line chokes on ASD current harmonics.



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

DESCONECCIÓN DE CAPACITORES

- Capacitores para corregir el factor de potencia.
- La energización causa voltajes momentáneos que pueden ser del doble del valor normal (2.0 pu) en el capacitor desconectado.



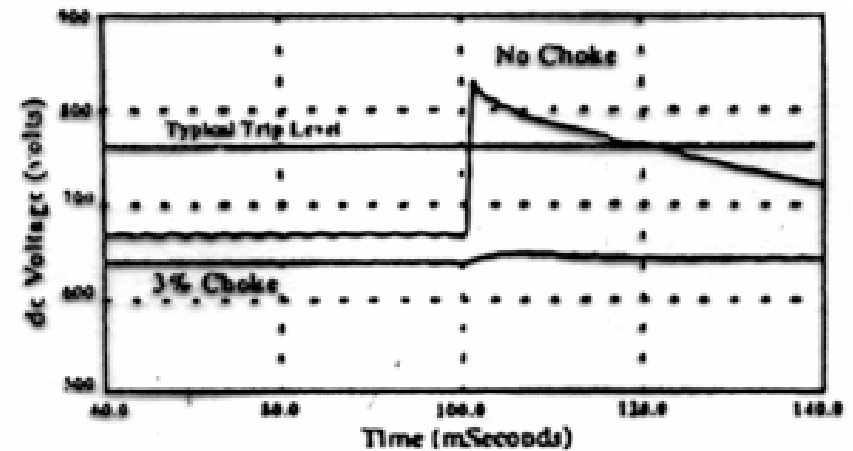
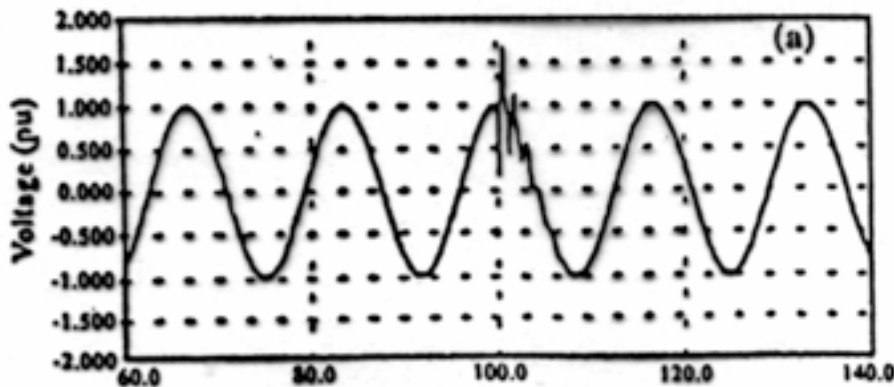
POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

DESCONECCIÓN DE CAPACITORES

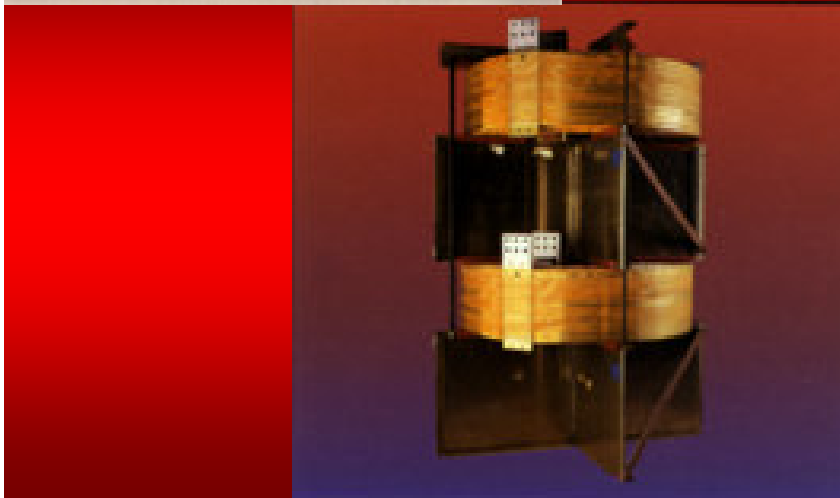
- La desconexión de capacitores causa voltajes instantáneos.
- Los voltajes instantáneos en el bus de corriente directa pueden provocar sobrevoltajes.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



REACTORES DE LÍNEA (continuación)



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

REACTORES A LA SALIDA Aplicaciones Típicas

- Eficiencia del motor
- Temperatura de operación del motor
- Sonido del motor
- Protección contra corto circuito
- Picos de voltaje entre el motor y el inversor



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

85



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

PROBLEMAS
RESUELTOS
CON
REACTORES:



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

86



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

**PROBLEMAS
RESUELTOS
CON
REACTORES:**

- Reactores a la entrada:
 - Disparo por “Ruido”
 - Distorsión armónica
 - Formación de valles (circuitos SCR)
 - Mejoramiento del factor de potencia



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

87



REACTORES DE LÍNEA (continuación)

PROBLEMAS RESUELTOS CON REACTORES:

- Reactores a la salida:
 - Mayor eficiencia del motor
 - Sonido del motor
 - Temperatura de operación del motor
 - Picos de voltaje entre el motor y el inversor



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

88



REACTORES DE LÍNEA (continuación)



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO

TRANSFORMADOR

VS

REACTOR:

- **TRANSFORMADOR**
 - Cambia voltaje
 - Aisla
 - Reduce armónicas de alta frecuencia
 - Permite el paso de picos y valles
- **REACTOR**
 - Reduce valles
 - Mejora la forma de onda
 - Reduce armónicas
 - Atenúa transitorios de voltaje
 - Atenúa depresiones del voltaje



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

90



TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO

TRANSFORMADOR vs REACTOR:

- El reactor incrementa la eficiencia del sistema reduciendo el contenido de armónicas.
- Su costo es la quinta parte de un transformador, siendo más compacto, más ligero y disipa menos calor.
- Los reactores son la solución tecnológica más moderna a los problemas con inversores.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



FILTROS DE ARMÓNICAS

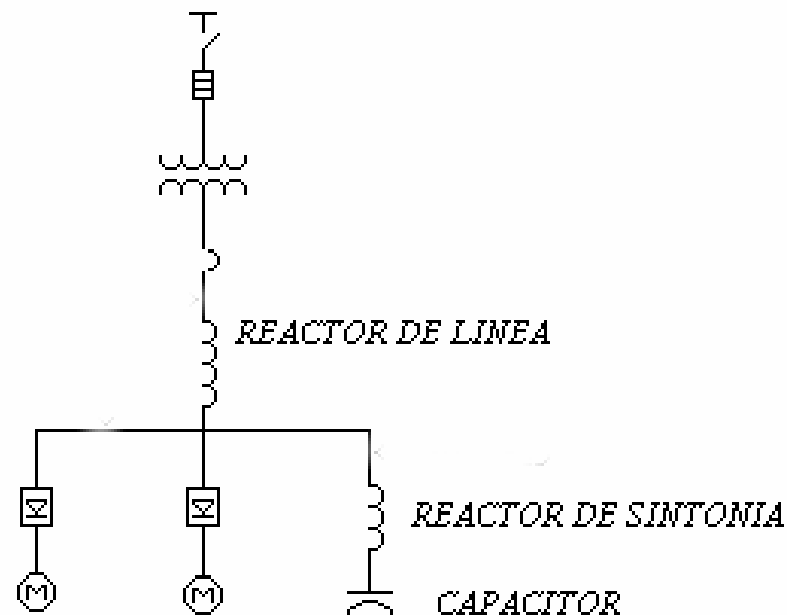


POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



¿QUÉ ES UN FILTRO DE ARMÓNICAS Y CÓMO FUNCIONA?

Es un dispositivo que proporciona una trayectoria de baja impedancia para las corrientes armónicas que emiten las cargas no lineales, con el objetivo de que no circulen por el sistema de distribución y no distorsionen la forma de onda del voltaje a través de caídas armónicas de voltaje en las impedancias del sistema eléctrico.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.



¿QUÉ ES UN FILTRO DE ARMÓNICAS Y CÓMO FUNCIONA?

La adición de un reactor serie a la combinación carga-filtro, desvía una gran cantidad de corriente armónica no sintonizada al filtro y previene que armónicas de otras cargas no lineales sobrecarguen al filtro, debido a la baja impedancia que presenta. Otro efecto es que previene la profundidad de los cortes o 'notches' que le hacen al voltaje del bus de alimentación los rectificadores los cuales utilizan SCRs, debido a que se comporta como un divisor del voltaje visto desde el drive.



POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

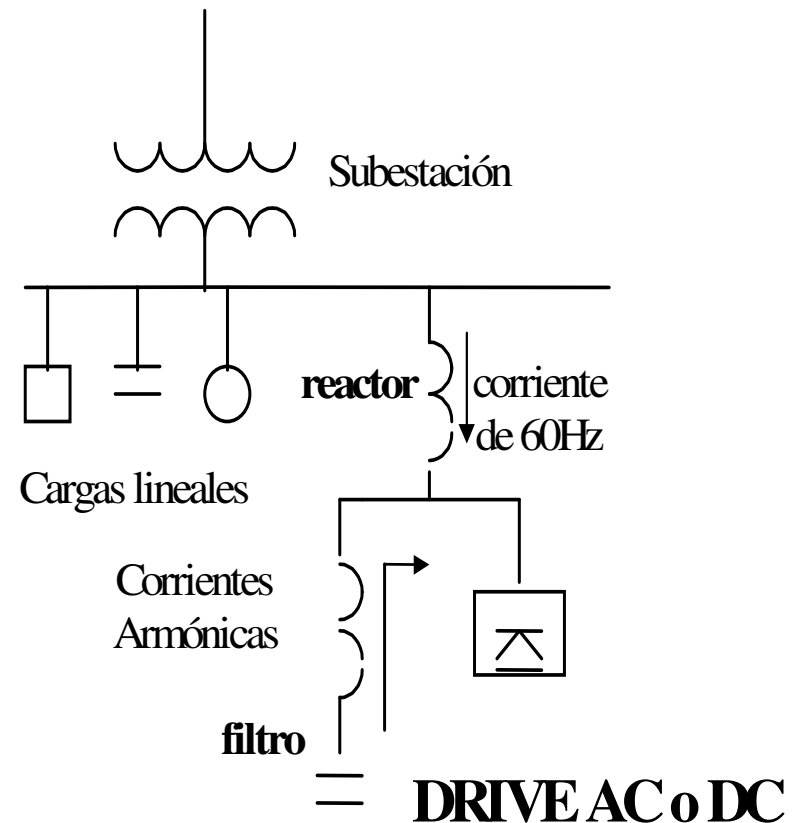
94



COMPORTAMIENTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

El filtro se conecta en paralelo con el drive y se aísla del sistema agregando un reactor serie de hasta 5% de caída de voltaje, con el objetivo de aislar a la combinación carga-filtro de las armónicas que se emiten en otras partes del sistema.

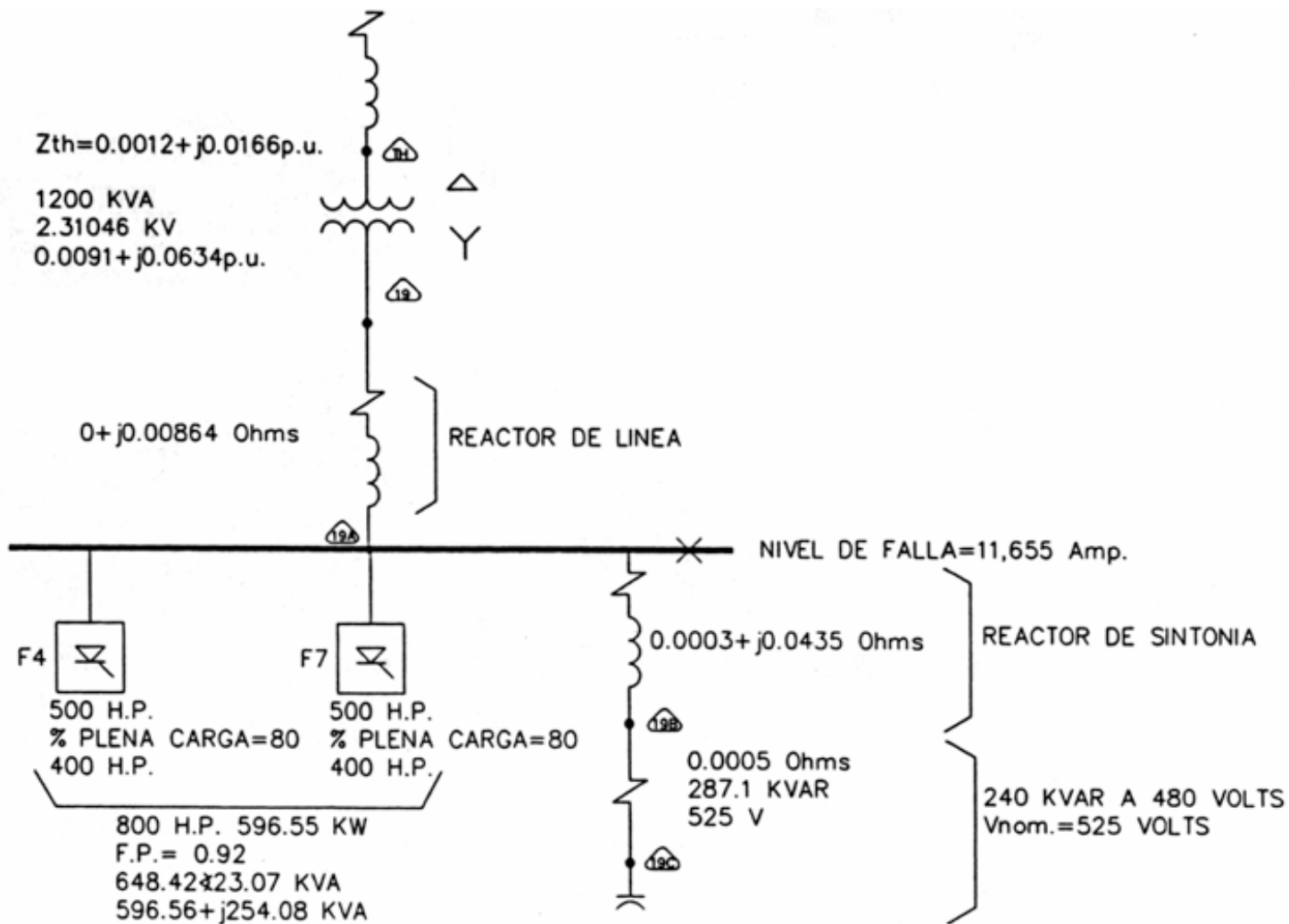
Esta combinación reduce la cantidad de 5a, 7a etc. que pasan hacia CFE a través de la impedancia de la subestación principal, el hecho de pasar por esta impedancia se manifiesta en caídas de voltaje armónicas que distorsionan la forma de onda del voltaje del bus de alimentación de la planta. Los filtros disminuyen esta distorsión del voltaje.



POWERTEC
INGENIERÍA. S.A. DE C.V.



COMPORTAMIENTO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO



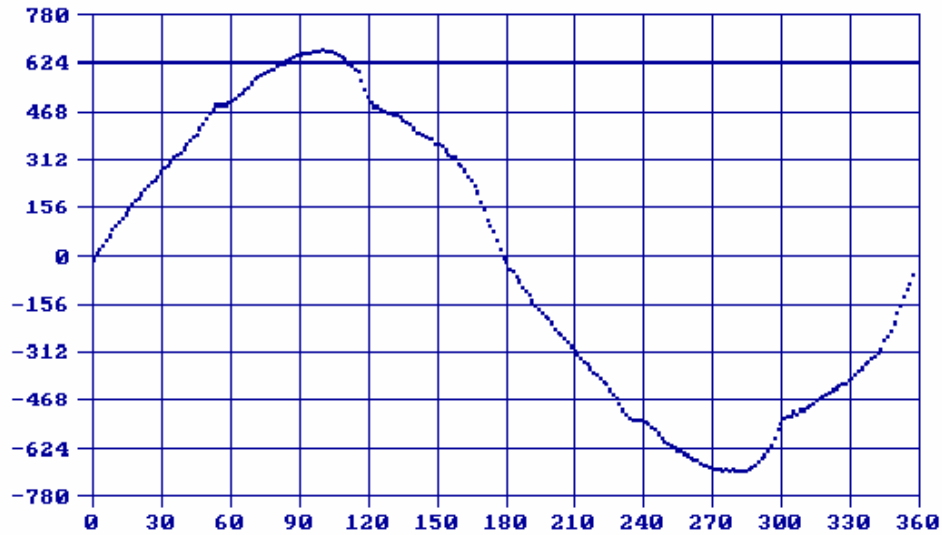
POWERTEC
INGENIERIA, S.A. DE C.V.



7. CASO DE ESTUDIO

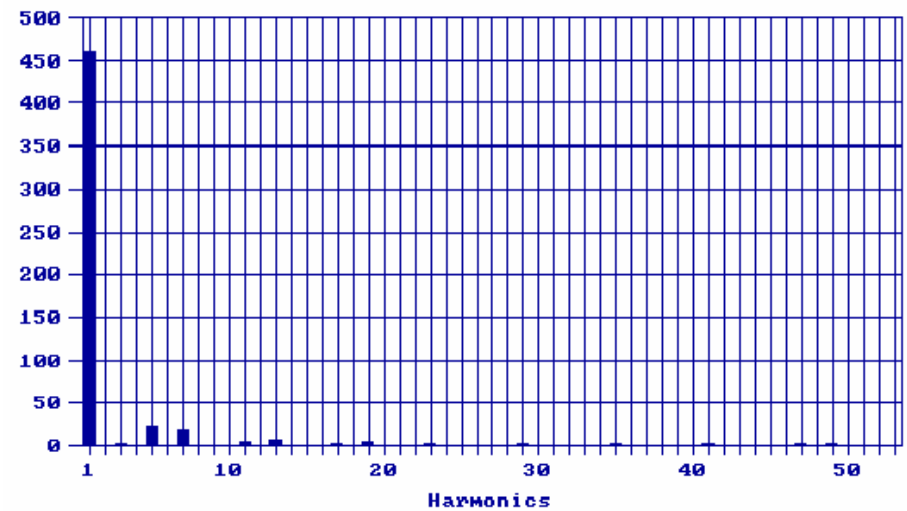
25/07/1997 16:05:00 FERSINSA\FERMENTADOR 3 DIA 2

channel 1 PHASE AB VOLTAGE
THD = 6.7% RMS = 460.7 V



25/07/1997 16:05:00 FERSINSA\FERMENTADOR 3 DIA 2

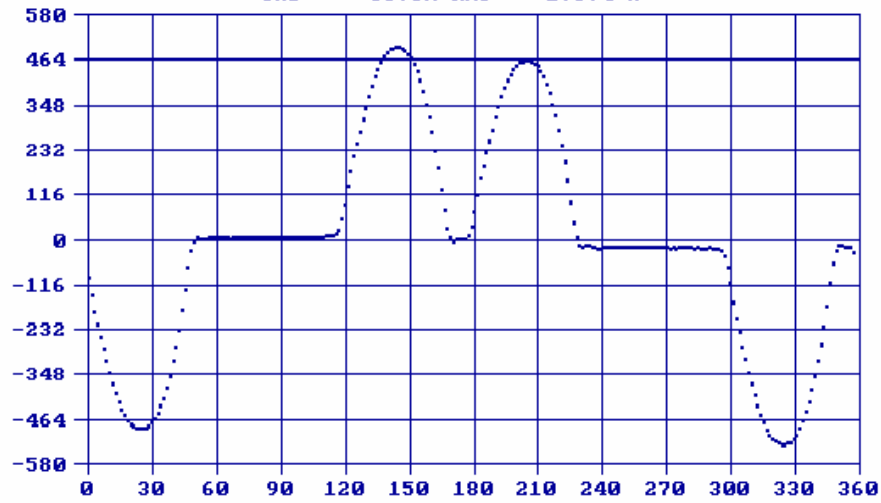
channel 1 PHASE AB VOLTAGE



7. CASO DE ESTUDIO

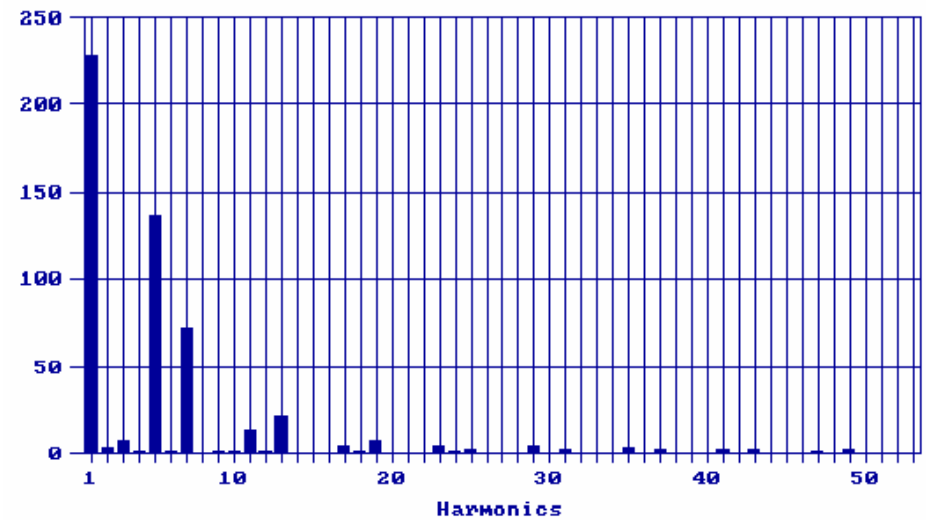
25/07/1997 16:05:00 FERSINS\FERMENTADOR 3 DIA 2

channel 2 Phase A Current
THD = 68.5% RMS = 276.4 A



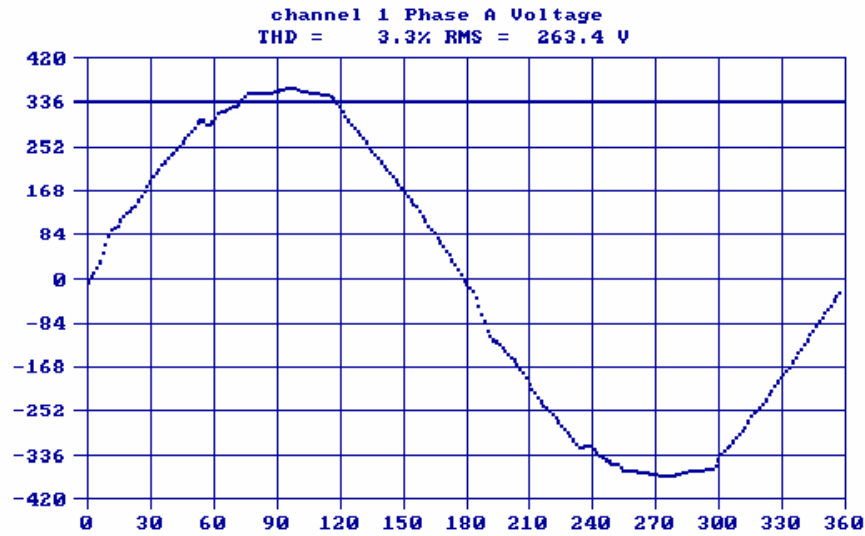
25/07/1997 16:05:00 FERSINS\FERMENTADOR 3 DIA 2

channel 2 Phase A Current

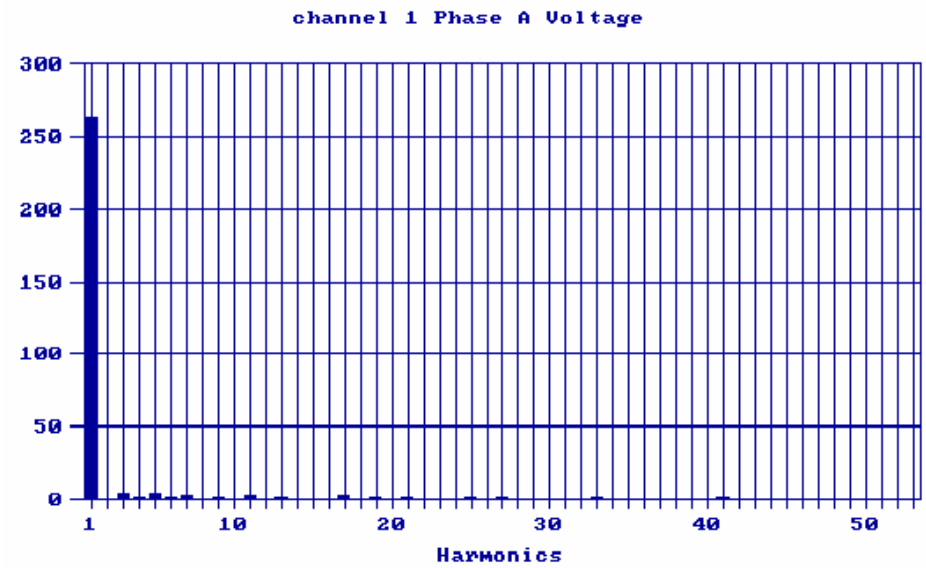


7. CASO DE ESTUDIO

14/01/1998 15:41:00 FERSINSAN\F3F6 CON FILTRO

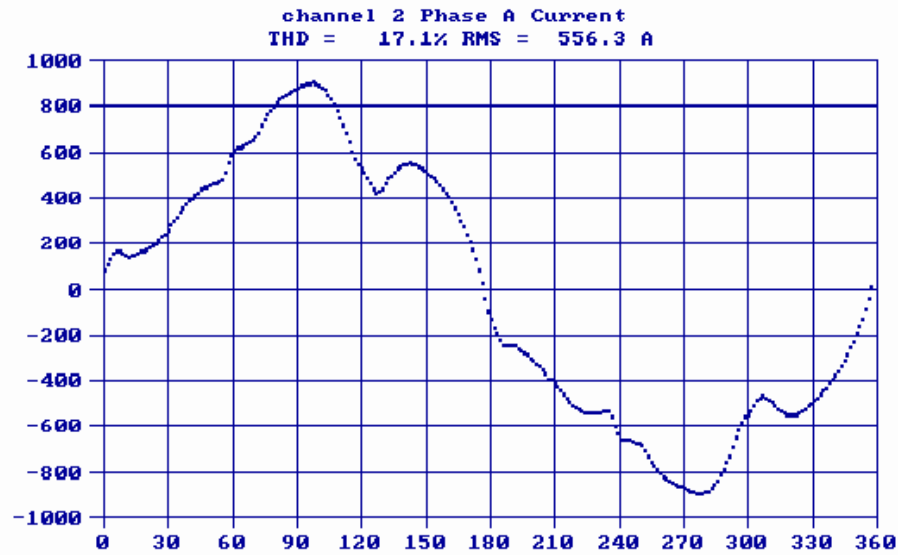


14/01/1998 15:41:00 FERSINSAN\F3F6 CON FILTRO

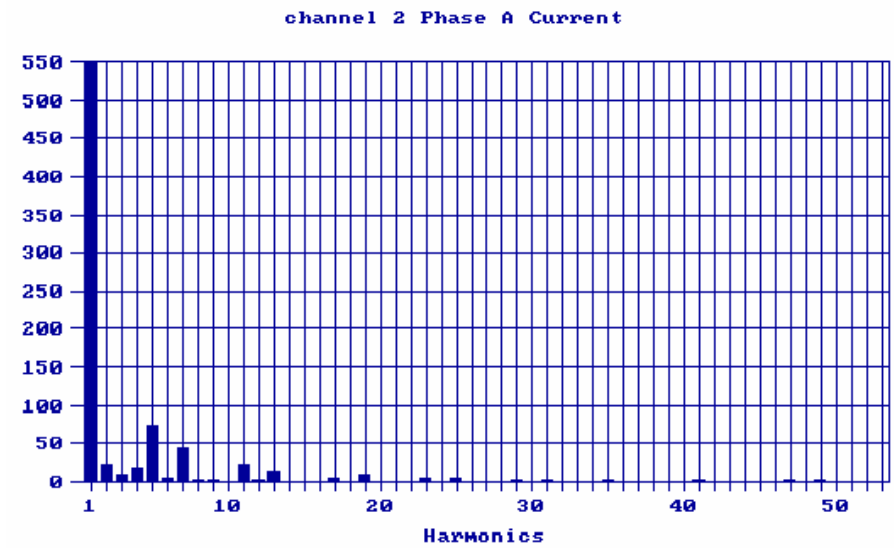


7. CASO DE ESTUDIO

14/01/1998 15:41:00 FERSINSA\F3F6 CON FILTRO



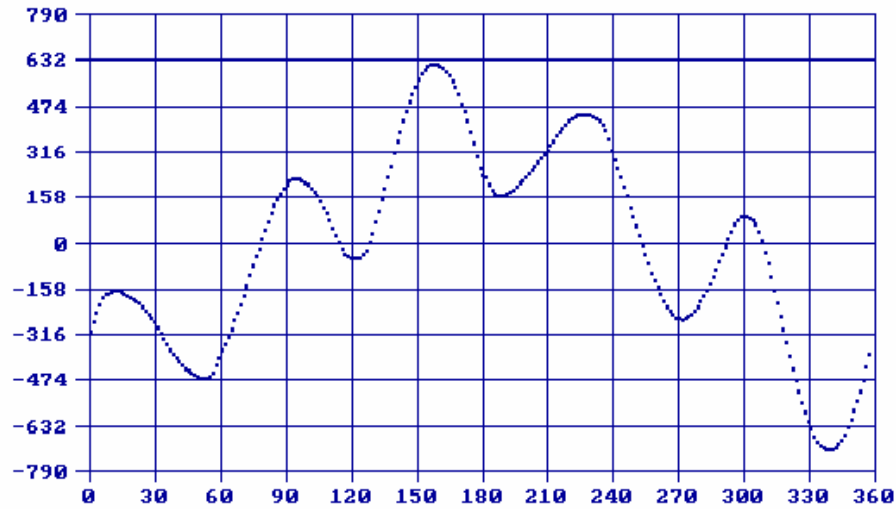
14/01/1998 15:41:00 FERSINSA\F3F6 CON FILTRO



7. CASO DE ESTUDIO

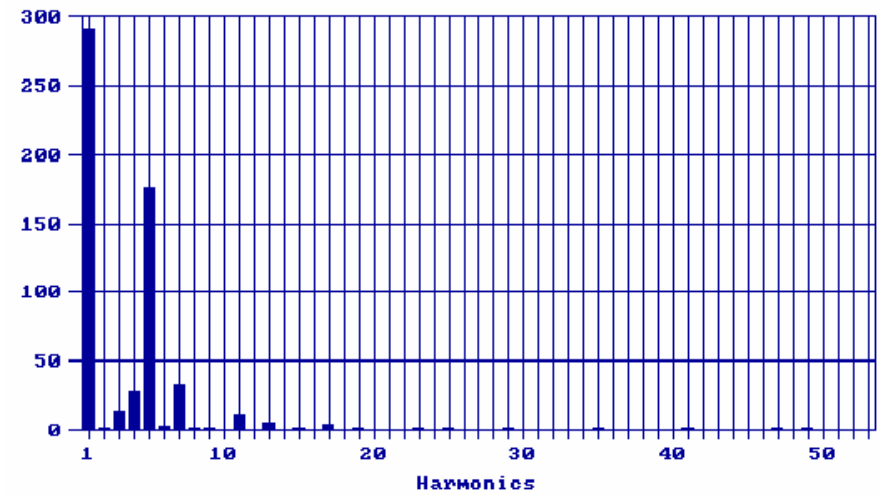
14/01/1998 15:41:00 FERSINSANF3F6 CON FILTRO

channel 4 Phase B Current
THD = 62.6% RMS = 342.3 A



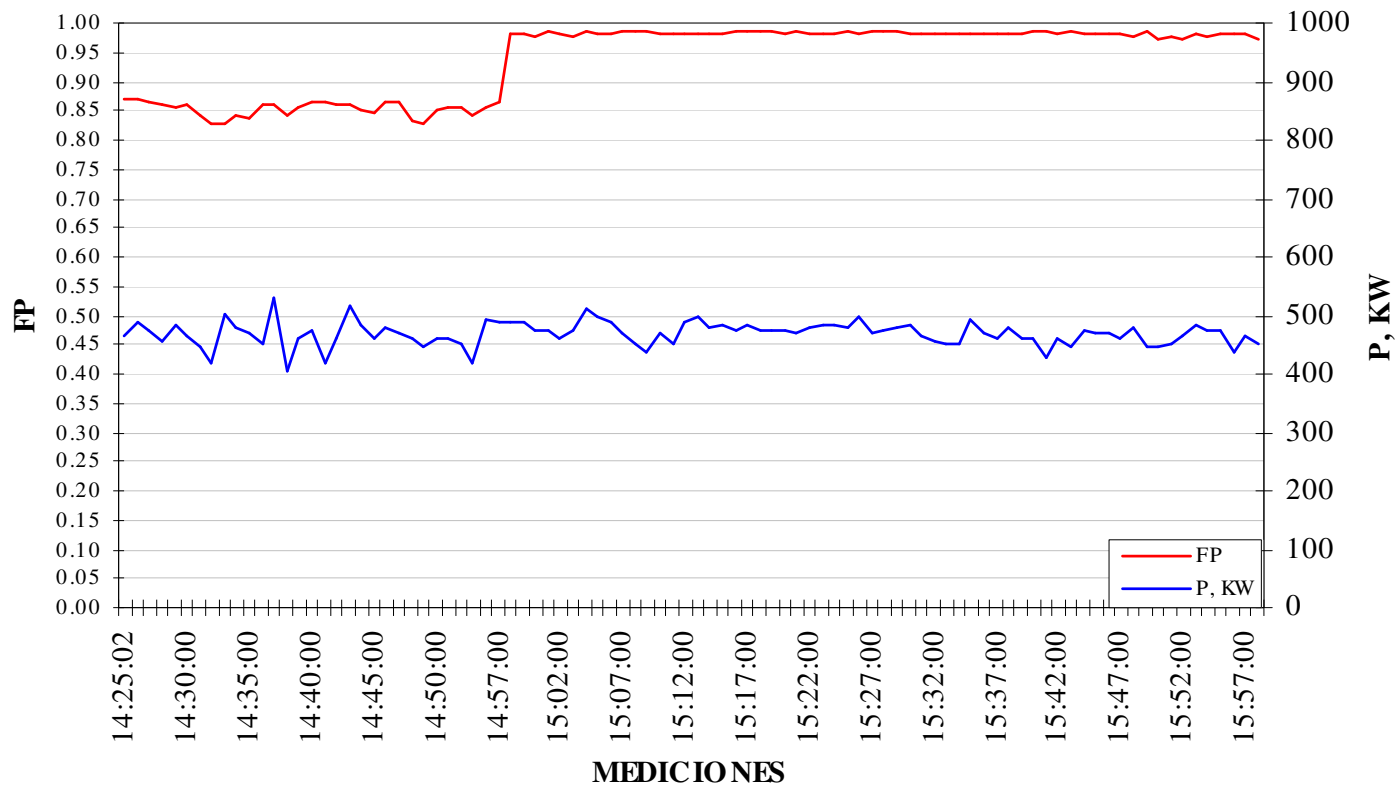
14/01/1998 15:41:00 FERSINSANF3F6 CON FILTRO

channel 4 Phase B Current



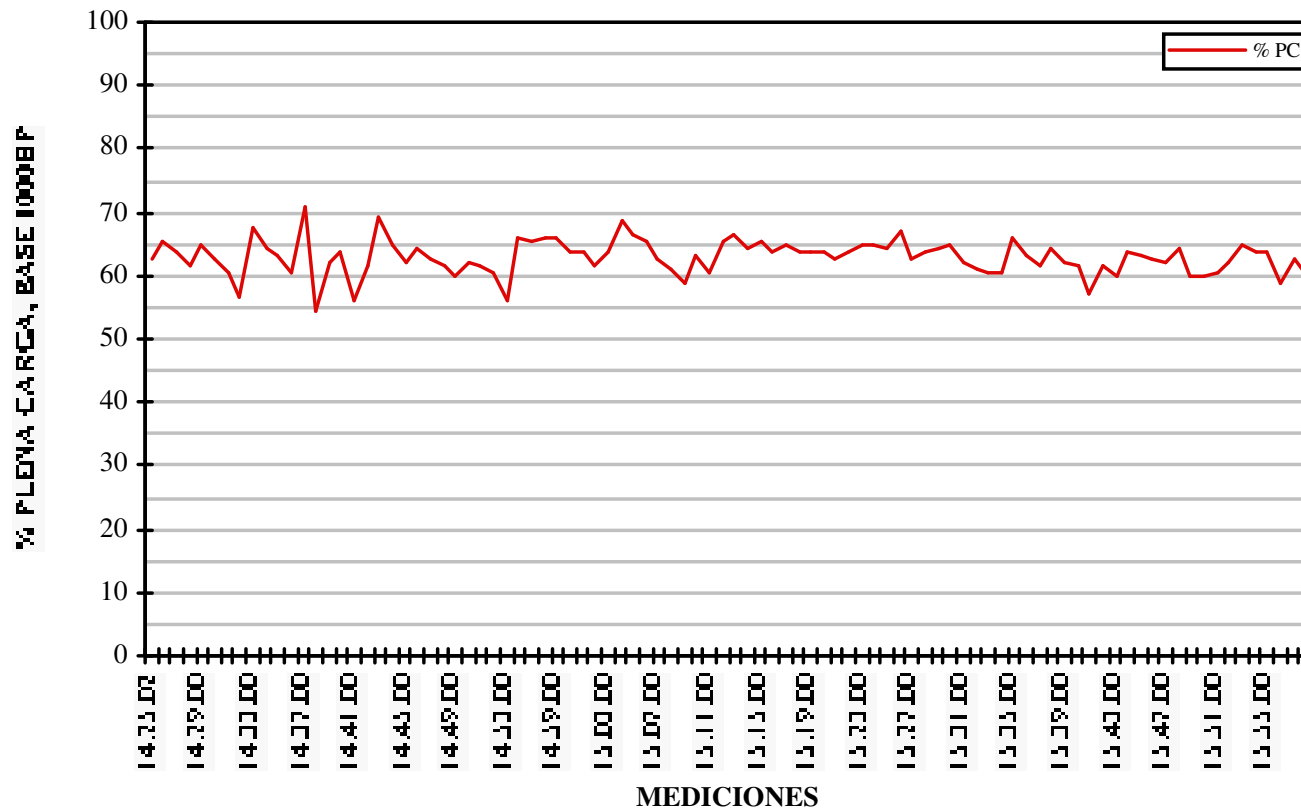
7. CASO DE ESTUDIO

FERSINSA\ FERMENTADORES 3 Y 6
MEDICIONES DE POTENCIA Y FACTOR DE POTENCIA
SIN FILTRO 14/01/98 14:25:00 A 14/01/98 14:55:00
CON FILTRO 14/01/98 14:55:00 A 14/01/98 15:58:00



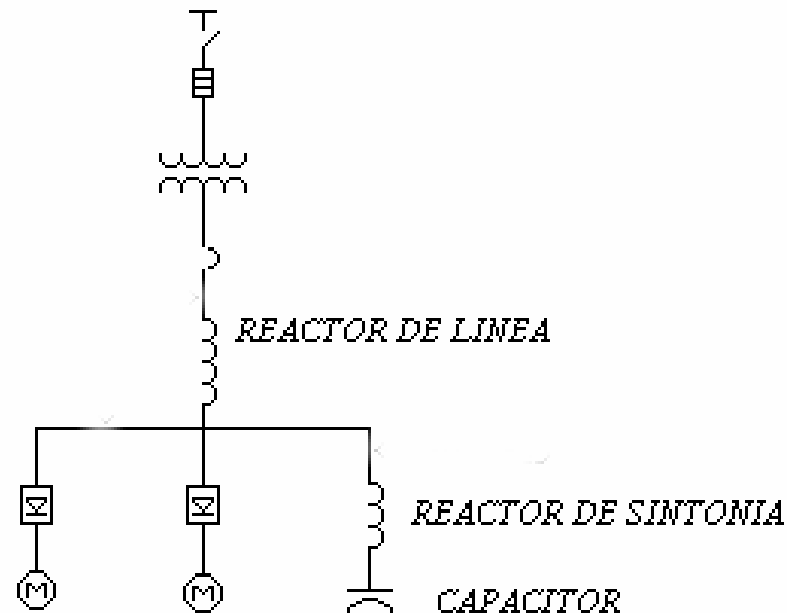
7. CASO DE ESTUDIO

FERSINSA FERMENTADORES 3 Y 6
MEDICIONES DE CARGA EN HP
SIN FILTRO 14/01/98 14:25:00 A 14/01/98 14:55:00
CON FILTRO 14/01/98 14:55:00 A 14/01/98 15:58:00



¿QUÉ ES UN FILTRO DE ARMÓNICAS Y CÓMO FUNCIONA?

Es un dispositivo que proporciona una trayectoria de baja impedancia para las corrientes armónicas que emiten las cargas no lineales, con el objetivo de que no circulen por el sistema de distribución y no distorsionen la forma de onda del voltaje a través de caídas armónicas de voltaje en las impedancias del sistema eléctrico.



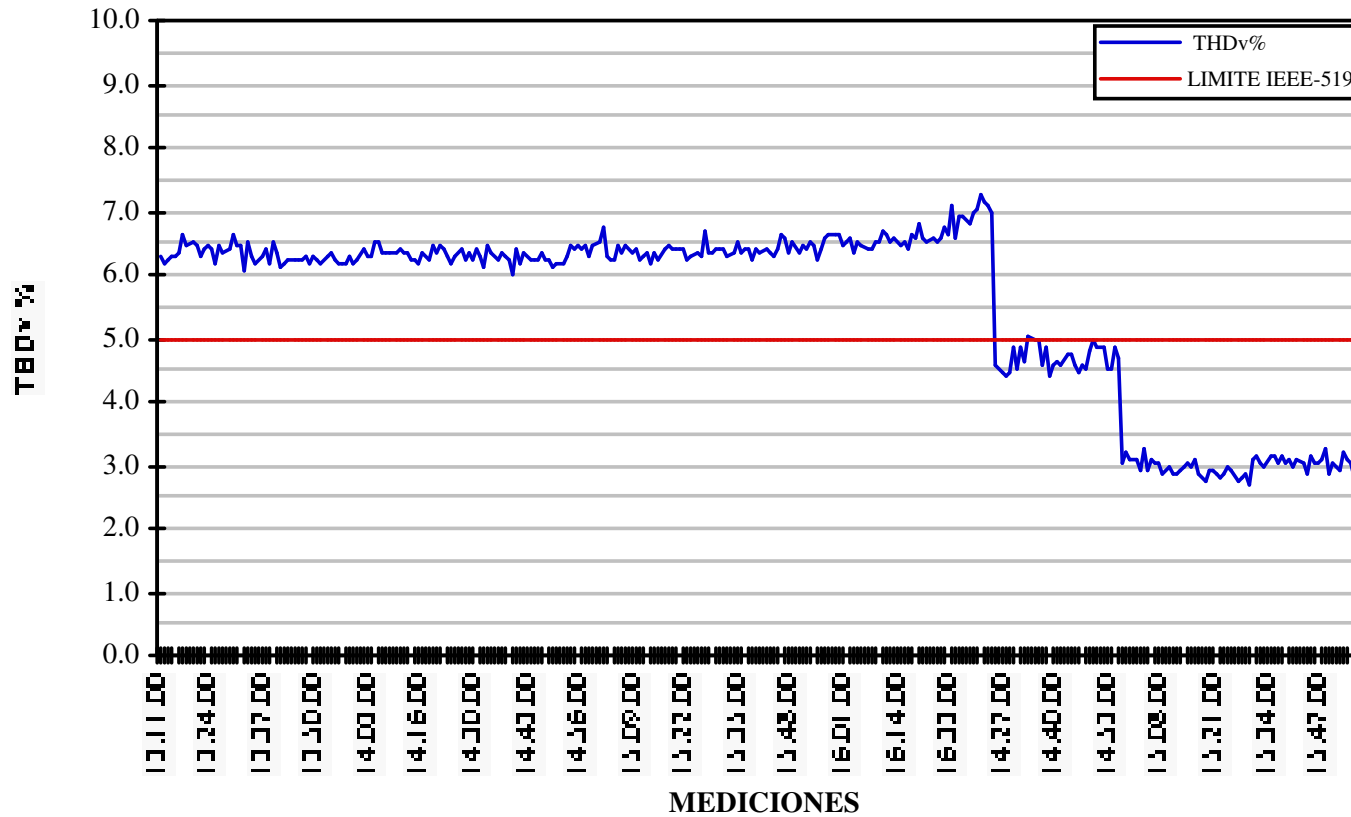
POWERTEC
INGENIERÍA, S.A. DE C.V.

104



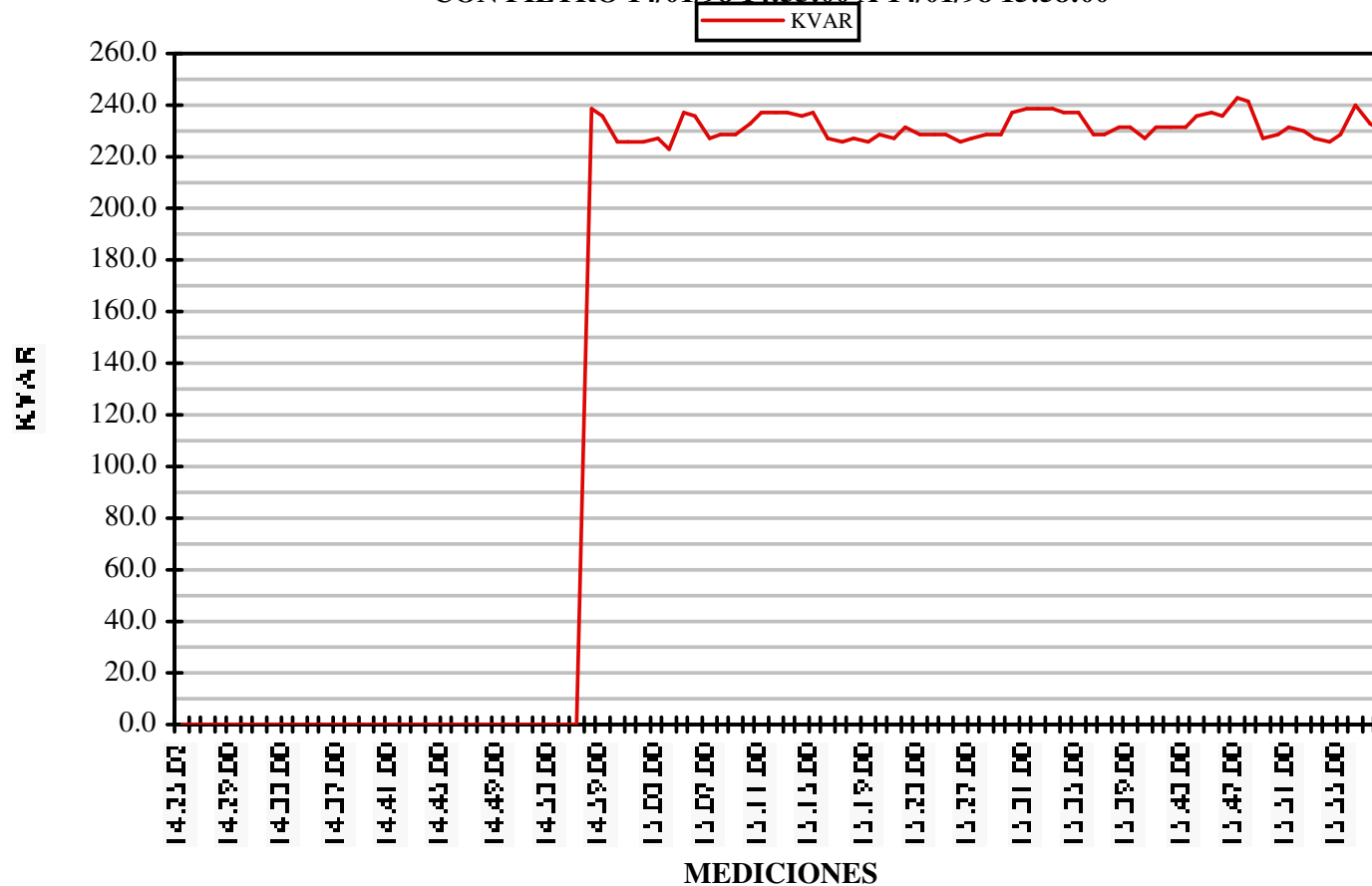
7. CASO DE ESTUDIO

FERSINSA FERMENTADORES 3 Y 6
MEDICIONES DE DISTORSION ARMONICA TOTAL DE VOLTAJE
SIN FILTRO 25/07/97 13:11:00 A 25/07/97 16:43:00
CON REACTOR DE LINEA Y SIN FILTRO 14/01/98 14:25:00 A 14/01/98 14:55:00
CON FILTRO 14/01/98 14:55:00 A 14/01/98 15:58:00



7. CASO DE ESTUDIO

FERSINSA\ FERMENTADORES 3 Y 6
MEDICIONES DE KVAR QUE ENTREGA EL FILTRC
SIN FILTRO 14/01/98 14:25:00 A 14/01/98 14:55:00
CON FILTRO 14/01/98 14:55:00 A 14/01/98 15:58:00



Calidad de Energía

**Reactores
de
Línea**



**Filtros
para
Armónicas**

