

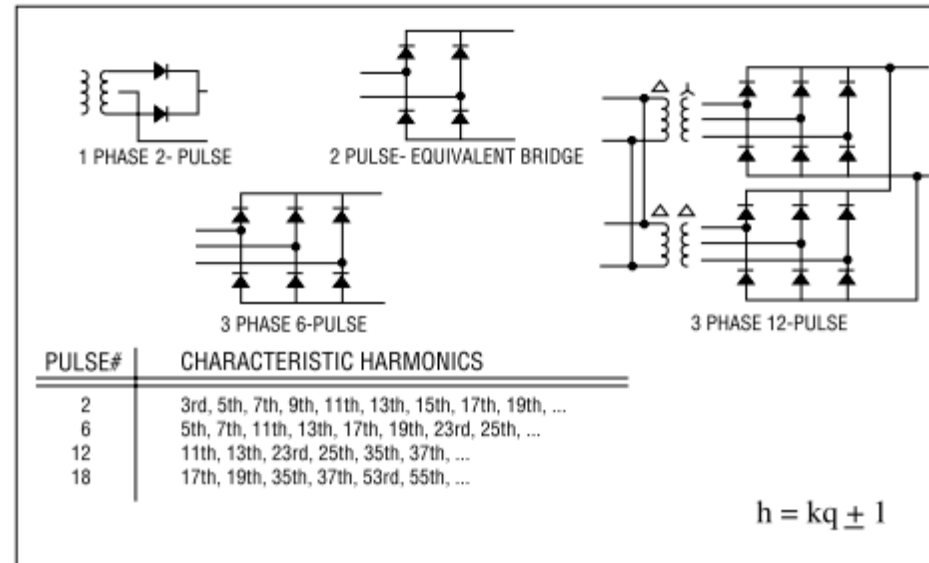
Ramon Dot
ramon.dot@vacon.com



Armónicos



Origen y problema



- Cargas no lineales
- Mayor valor eficaz de corriente RMS
- Calentamiento en transformadores, generadores y cables
- Tensiones armónicas
- Capacidad de potencia de red reducida
- Mediciones incorrectas (instrumento no RMS)

Solución 1: Inductancia AC o DC en los convertidores

- Las AC dimensiones mayores, pérdidas (2-3%). Motor
- AC protegen v. transitorios red
- Las induct. DC THDi 32% versus THDi 37% 5° sobretodo y 7° ligeramente. Las AC componentes armónicos de mayor orden
- DPF DC 0.99 versus 0.97
- THDv parecida 2-3% (+0,02% AC)
- IEC 61000-3-12

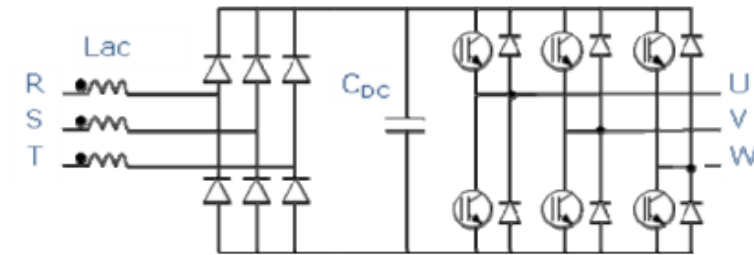


Figure 1-1. Main circuit topology with AC chokes

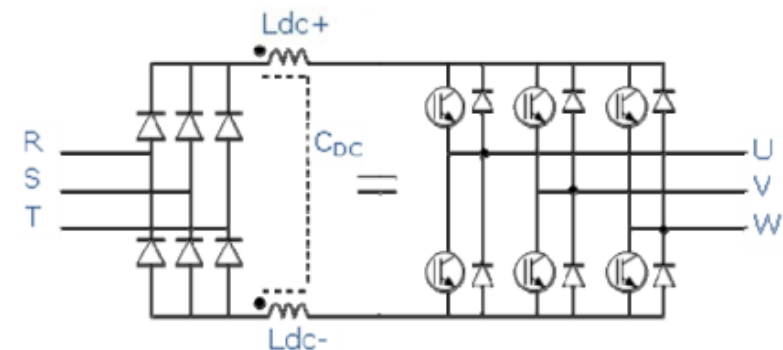
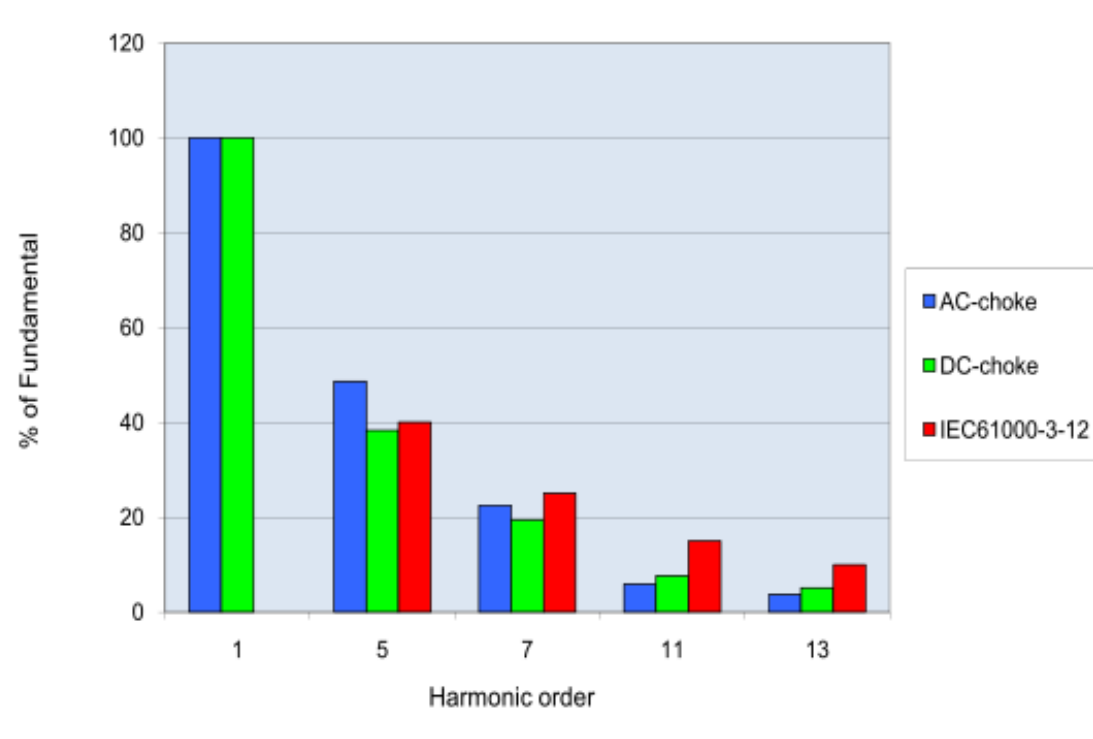


Figure 1-2. Main circuit topology with DC chokes

Solución 1: Induct. AC o DC IEC61000-3-12



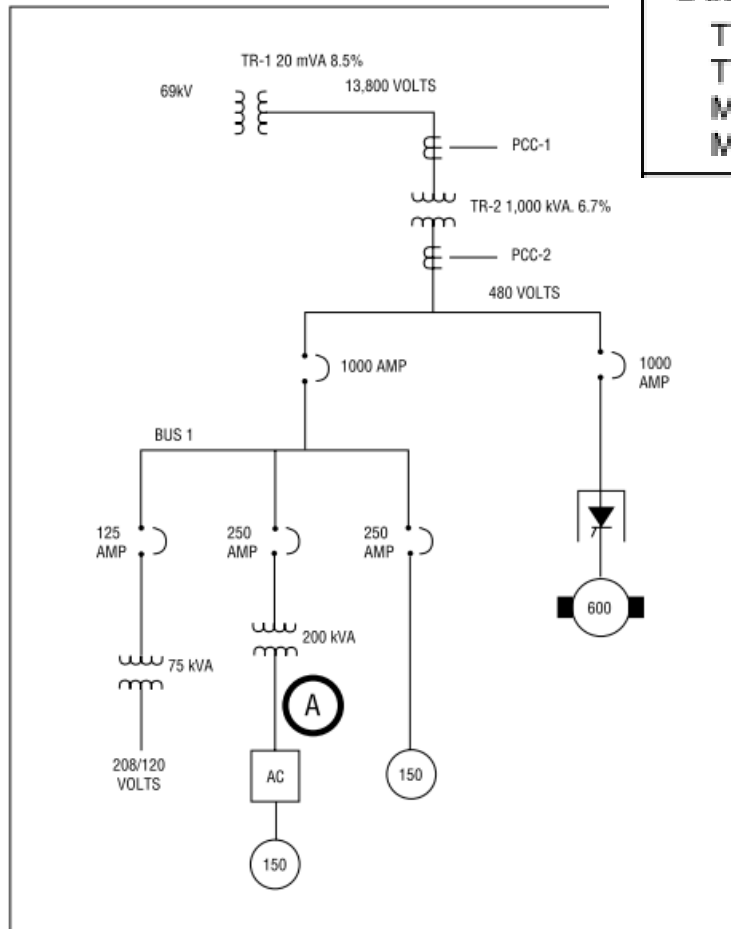
Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-12: Límites para las corrientes armónicas producidas por equipos conectados en redes públicas en sistemas de $I > 16$ A y < 75 A por fase-

IEEE 519:1992

- Es un standard de sistema– no es aplicable a producto
- Establece los niveles de distorsión en tensión permitidos, alrededor de un 5 % THD. Referido en el punto de acople PCC.

Maximum Harmonic Current Distortion in % of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc} / I_L	< 11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits. TDD refers to Total Demand Distortion and is based on the average maximum demand current at the fundamental frequency, taken at the PCC.						
* All power generation equipment is limited to these values of current distortion regardless of I_{sc} / I_L .						
I_{sc} = Maximum short circuit current at the PCC I_L = Maximum demand load current (fundamental) at the PCC h = Harmonic number						

IEEE 519:1992



Sample Calculations:

Data

TR-1: 20 mVA, (20,000kVA) 8.5% impedance, 69kV to 13,800 V

TR-2: 1,000 kVA, 6.7% impedance, 13,800 V to 480 V

Measured I_L : 1,000 amps

Measured Distortion: 90 amps 5th, 44 amps 7th

TDD And % Distortion of Each Harmonic

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_{\text{Fundamental, Maximum Demand}}} \times 100$$

$$= \frac{\sqrt{90^2 + 44^2}}{1,000} \times 100 = 10\%$$

$$5\text{th Harmonic} = \frac{90 \text{ amps}}{1,000 \text{ amps}} \times 100$$

$$5\text{th} = 9\%$$

$$7\text{th Harmonic} = \frac{44 \text{ amps}}{1,000 \text{ amps}} \times 100$$

$$7\text{th} = 4.4\%$$

IEEE 519:1992

I_{sc} PCC-1

$$I_{sc} = \frac{\text{Full Load Current, TR-1}}{\text{Impedance, TR-1}}$$

Full Load Current

$$= \frac{20,000 \text{ kVA}}{13,800V \times \sqrt{3}} \times 1,000$$

$$= 838 \text{ amps}$$

$$I_{sc} = \frac{838 \text{ amps}}{0.085}$$

I_{sc} (PCC-1)

$$= \underline{\underline{9,858 \text{ amps}}}$$

I_{sc} PCC-2

$$I_{sc} = \frac{\text{Full Load Current, TR-2}}{\text{Impedance, TR-2}}$$

Full Load Current

$$= \frac{1,000 \text{ kVA}}{480V \times \sqrt{3}} \times 1,000$$

$$= 1,204 \text{ amps}$$

$$I_{sc} = \frac{1,204 \text{ amps}}{0.067}$$

I_{sc} (PCC-2)

$$= \underline{\underline{17,970 \text{ amps}}}$$

IEEE 519:1992

I_{RMS} of The Load

I_{RMS} of the load is the load current carried by TR-2 and the wiring. The higher the harmonic currents, the more the system capacity is used up carrying non-productive currents.

$$\begin{aligned}
 I_{RMS} &= \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} \\
 &= \sqrt{I_{\text{Fundamental}}^2 + I_3^2 + I_5^2} \\
 &= \sqrt{1000^2 + 90^2 + 44^2} \\
 &= 1,005 \text{ amps} \\
 I_{RMS} &= \underline{\underline{1,005 \text{ amps}}}
 \end{aligned}$$

I_{sc} / I_L at PCC-1

$$\begin{aligned}
 I_L (13,800V) &= I_L (480V) \left(\frac{480}{13,800} \right) \\
 &= (1,000 \text{ amps}) \left(\frac{480}{13,800} \right) \\
 &= 34.8 \text{ amps}
 \end{aligned}$$

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{9,858 \text{ amps}}{34.8 \text{ amps}} = \underline{\underline{283}}$$

I_{sc} / I_L at PCC-2

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = \frac{17,970 \text{ amps}}{1,000 \text{ amps}} = \underline{\underline{17.5}}$$

IEEE 519:1992

PCC-2 →

$$\begin{aligned}
 \text{TDD} &= \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_{\text{Fundamental, Maximum Demand}}} \times 100 \\
 &= \frac{\sqrt{90^2 + 44^2}}{1,000} \times 100 = 10\%
 \end{aligned}$$

Maximum Harmonic Current Distortion in % of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc} / I_L	< 11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

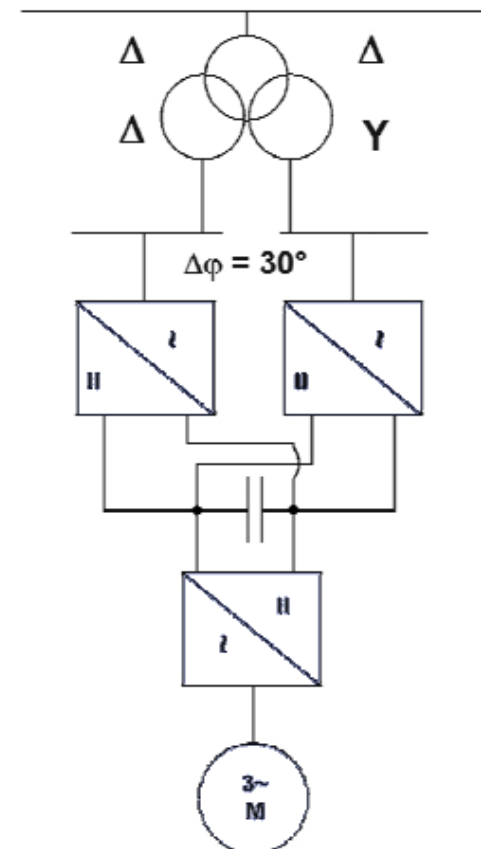
Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits. TDD refers to Total Demand Distortion and is based on the average maximum demand current at the fundamental frequency, taken at the PCC.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion regardless of I_{sc} / I_L .

I_{sc} = Maximum short circuit current at the PCC
 I_L = Maximum demand load current (fundamental) at the PCC
 h = Harmonic number

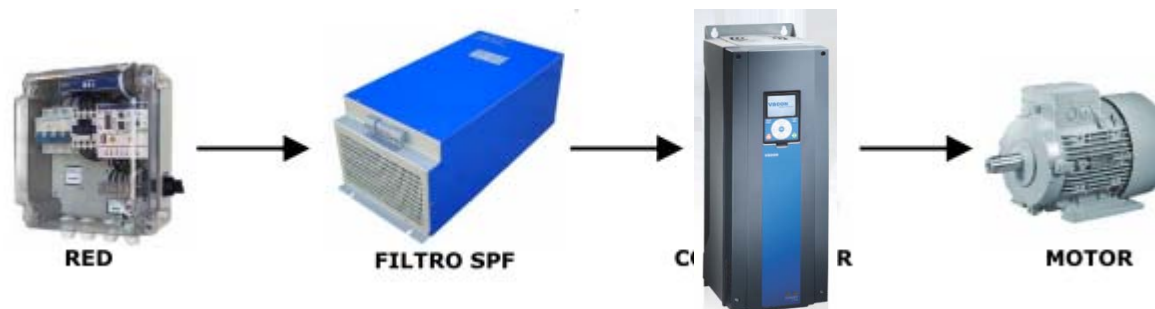
Solución 2. Rectificadores 12,18, 24 pulsos

- El típico 6 pulsos (número de diodos rectificando) es de un THDi de 35 -40 % con un 30% 5° y un 15% en el 7°
- Un 12 pulsos THDi 10-12% con un 18° 7%
- Necesitan transformadores especiales con múltiples devanados secundarios. Coste elevado.



Solución 3. Filtros pasivos +

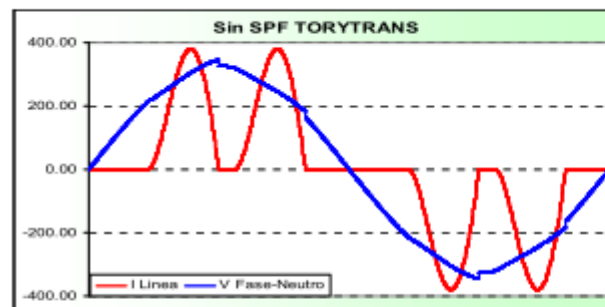
- Estan compuestos por componentes pasivos bobinas y condensadores que se absorben los armónicos hasta su límite. Típicamente se puede conseguir 10 y 5%
- Buena relación calidad-precio y niveles de reducción parecidos a la solución 12 pulsos.
- No generan interferencias en el rango por encima de 2 kHz, son inmunes a las interferencias y a la tensión mecánica



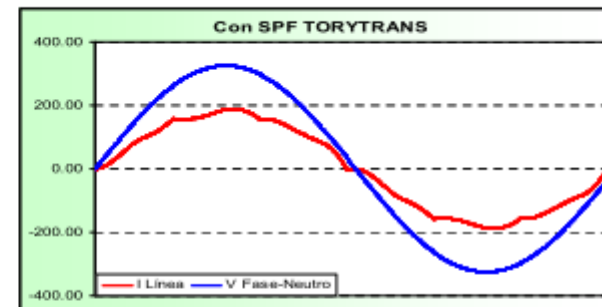
Solución 3. Filtros pasivos -

- Son grandes y pesados. 4 KW (21 kg).
- Efectivos en rango de carga 80 y 100% pero la potencia reactiva capacitiva aumenta y se recomiendan desconectar sin carga

Ejemplo de filtrado para un motor de 75 kW



$I_{rms} = 186 \text{ Arms}$
 $THDI = 81,4 \%$
 Armónicos individuales: $5^{\circ} = 69,0 \%$
 $7^{\circ} = 45,8 \%$
 $11^{\circ} = 9,0 \%$
 $13^{\circ} = 5,3 \%$
 $V_{línea} = 400 \text{ V}_{rms}$
 $THDV = 2,7 \%$



$I_{rms} = 128 \text{ Arms}$
 $THDI = 4,9 \%$
 Armónicos individuales: $5^{\circ} = 0,3 \%$
 $7^{\circ} = 3,1 \%$
 $11^{\circ} = 2,9 \%$
 $13^{\circ} = 1,9 \%$
 $V_{línea} = 400 \text{ V}_{rms}$
 $THDV = 0,3 \%$

Solucion 4: Filtros activos +

- Mayor reducción de armónicos que los filtros activos
- Filtros electrónicos paralelos compensan la corriente armónica activamente THD < 4%
- Libertad de conexión en cualquier punto de la red compensando redes, grupos de convertidores o un convertidor.



Solucion 4: Filtros activos -

- Coste de inversión relativamente elevado.
- No son efectivos por encima del 25º nivel armónico.
- Estos filtros funcionan con frecuencias de reloj y producen interferencias de la red en el rango de 4 a 18 KHz.

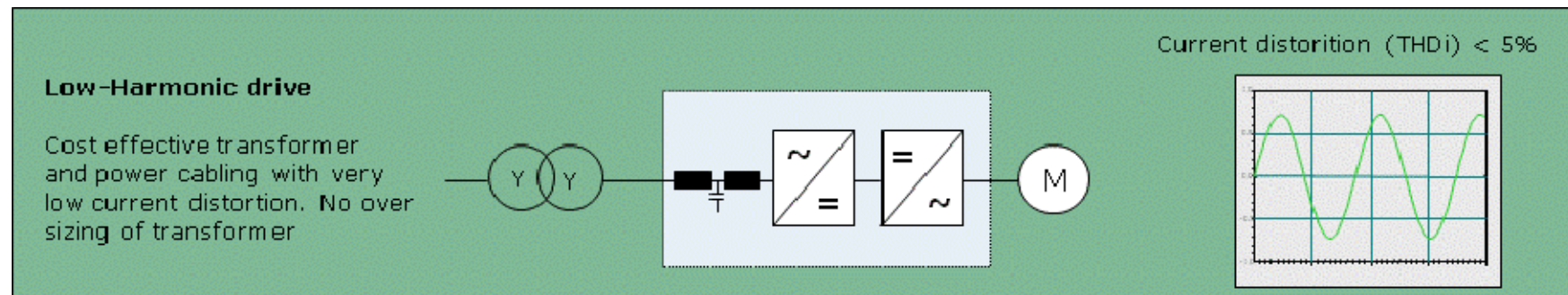
Model	ADF P300-100	ADF P300-200	ADF P300-300
Rated power *	70 kVA	140 kVA	210 kVA
Compensation current capacity	100 Arms	200 Arms	300 Arms
System voltage **	480 V (208 - 480 V), 690 V (480-690 V)		
Nominal frequency **	50/60 Hz ± 2%		
Number of phases	3 wire type		
Connection type	3 phase without neutral (TN, TT, IT)		
Harmonic current compensated	global compensation up to 50 th order		
Rate of harmonic reduction	better than 98%		
Current compensation of cos φ	up to 1.0		
Expandability	up to 8 ADF units in parallel		
Response time	<1 ms		
Power dissipation	< 1900 W	< 3800 W	< 5700 W
Maximum air flow requirement	600 m³/h	1200 m³/h	1800 m³/h
Noise level	< 60 dB		
Environment	0 to 95% RH non-condensing, max altitude 1000 m		
Operating temperature	0 to 40 °C continuous, <25 °C recommended		
Dimensions	800 x 2200 x 610 mm (W x H x D)		
Weight	319 kg	445 kg	571 kg
Cabinet color	cabinet RAL 7035 (gray), base RAL 7022 (dark gray)		
Protection class	IP 20 according to IEC 529		
Environmental conditions	chemical 3C3, mechanical 3S3		
Electromagnetic compability	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4		
Certificates	CE		
Art no 208 - 480 V (480 - 690 V)	400 043 (400 048)	400 044 (400 049)	400 045 (400 050)

* Compensation power at 400V nominal voltage

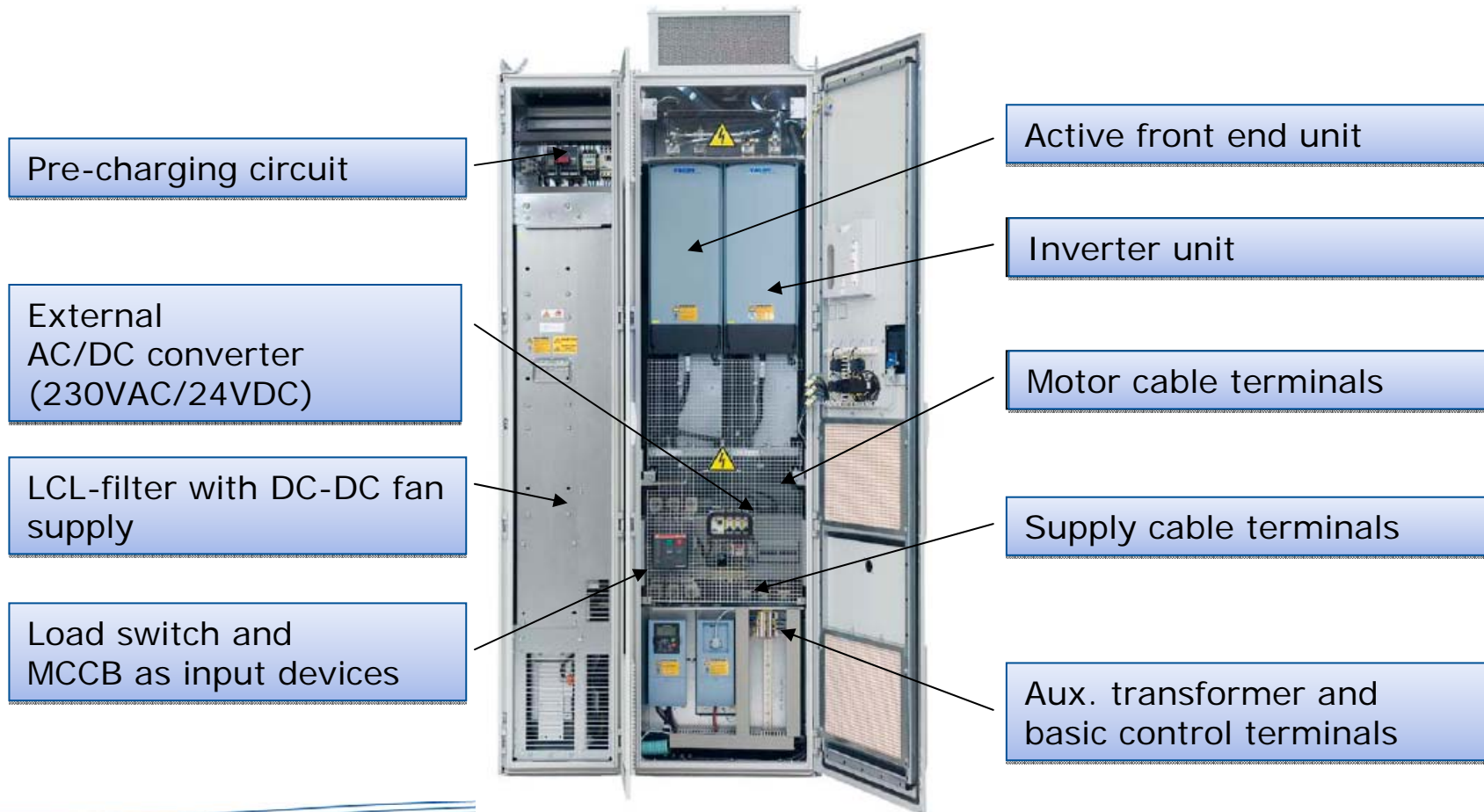
** Please state your system voltage and line frequency when ordering

Solucion 5: Variador AFE (active front end)

- Es la estrella de la reducción de armónicos a nivel de convertidores
- Variador de atenuación activa (regenerativa) como pasiva (bajos armónicos)
- Se sustituye el rectificador convencional por un conmutadores de IGBT. Conmutación rápida consumo de I senoidal
- THDi < 4% (IEE519)



Vacon NXC Low Harmonic



Solucion 5: AFE: Adios armónicos y además....

- Potencia de frenado se puede devolver a red
- Menores dimensiones de los trafos, de los cables..
- Mayor tensión en los motores 500V (menores corriente, menos pérdidas).
- Ojo Aislamiento motor.
- Debilitamiento a 62 Hz (25% incremento potencia) Menor motor y reductores
- Control del factor de potencia



NXC AF9-10, IP21

Resumen 1. Cálculo

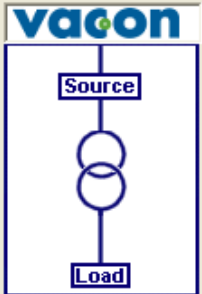
Vacon Harmonics Simulation v3.3

File Settings Help

Transformer | Generator | Serial Transformers | Generator+Transformer

Transformer parameters

Frequency: 50 Hz
 Secondary voltage: 400 V
 Power: 5000 KVA
 Total Impedance: 6 %
 Resistive Impedance: 1.1 %
 Shortcircuit power: MVA



6-pulse | 12-pulse | Regenerative | 18-pulse | Linear Load

# in parallel	1	Vacon NX	3	<input type="checkbox"/> Liquid cooled	Motor	kw	Eff.	0	Remove
# in parallel	1	Vacon NX	3	<input type="checkbox"/> Liquid cooled	Motor	kw	Eff.	0	Remove
# in parallel	1	Vacon NX	3	<input type="checkbox"/> Liquid cooled	Motor	kw	Eff.	0	Remove
# in parallel	1	Vacon NX	3	<input type="checkbox"/> Liquid cooled	Motor	kw	Eff.	0	Add

Results in percentages

Extra Choke %

Simulate

Resumen 2. Cálculo

Results of the simulation

Circuit

- THD% - 400V PCC
Current = 2,77 %
Voltage = 3,41 %

Harmonics at 400V PCC
calculated at this point.

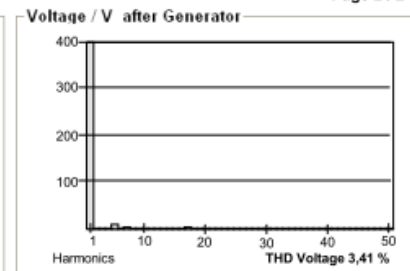
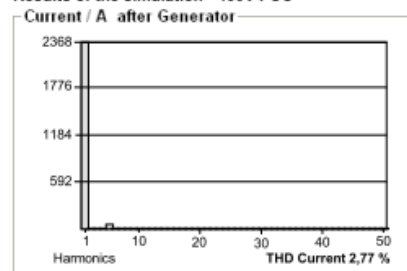


Frequency = 50 Hz
Generator Voltage = 400 V
Generator Power = 2500 KVA
Generator X"d = 17 %

1) 3# Vacon NX 1030 | reg | air cooled | motor 500 kW in parallel

Page 1 / 2

Results of the simulation - 400V PCC

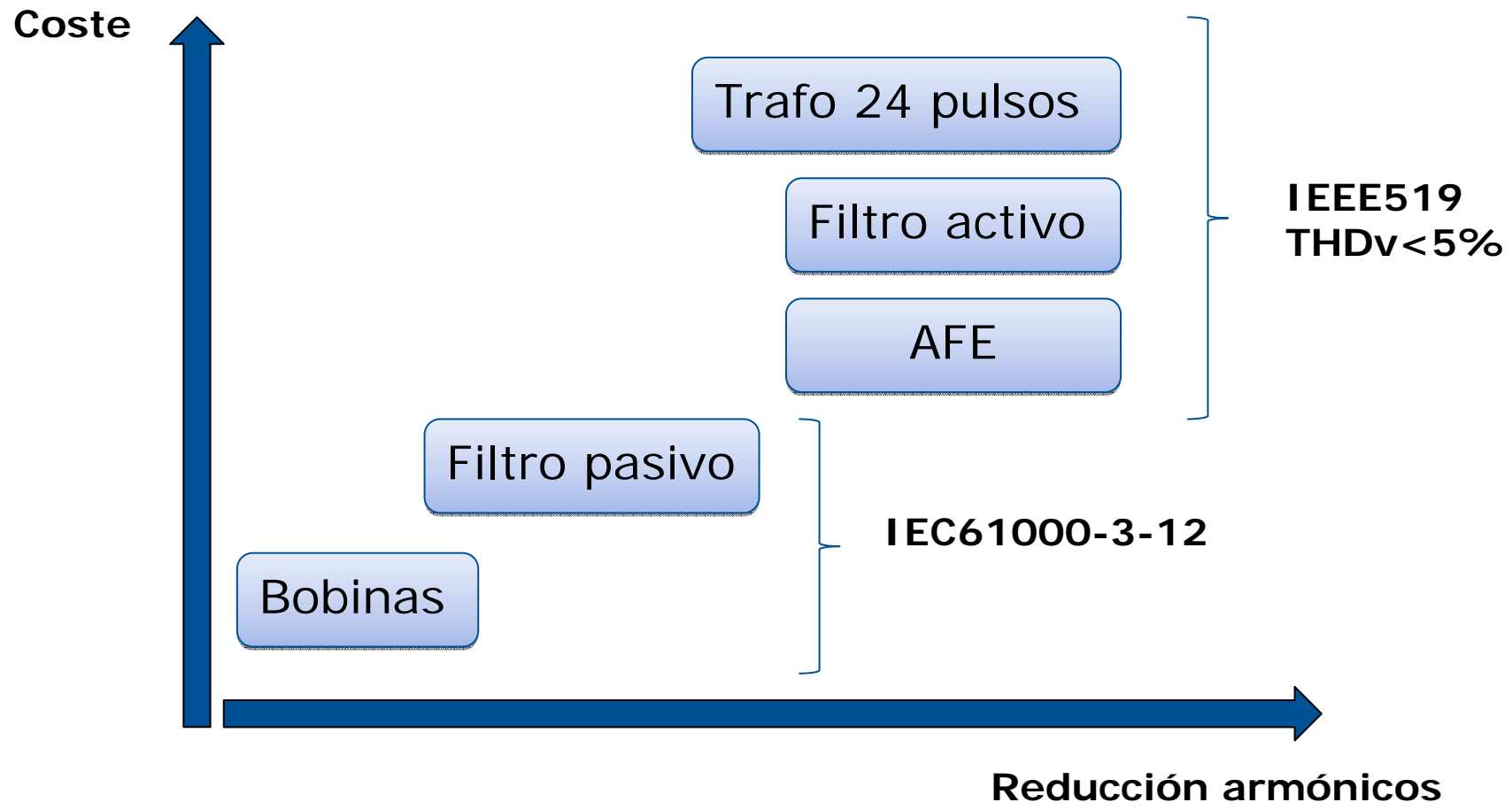


Page 2 / 2

Values after Generator

Harmonic	Frequency(Hz)	Current(%)	Voltage(%)
1	50	2368,0	400,5 V
3	150	0,7	0,4
5	250	2,4	2,4
7	350	0,8	1,1
9	450	0,0	0,0
11	550	0,3	0,7
13	650	0,4	1,0
15	750	0,0	0,0
17	850	0,4	1,5
19	950	0,2	0,7
21	1050	0,0	0,0
23	1150	0,1	0,3
25	1250	0,1	0,3
27	1350	0,0	0,0
29	1450	0,1	0,3
31	1550	0,0	0,2
33	1650	0,0	0,0
35	1750	0,0	0,3
37	1850	0,0	0,2
39	1950	0,0	0,0
41	2050	0,0	0,2
43	2150	0,0	0,0
45	2250	0,0	0,0
47	2350	0,0	0,0
49	2450	0,0	0,0

Resumen 2. Filtros.



Enrique Lupiáñez
enrique.lupianez@vacon.com



VACON

DRIVEN BY DRIVES