Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen I
Índice General – Memoria - Anexos

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Índice General

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en INGENIERÍA ELÉCTRICA

Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE GENERAL

1. Volumen I

1.1 Índice general

1.2 Memoria

Índice de la memoria 5

Índice de figuras 9

Índice de tablas 11

Resumen 13

Resum 14

Abstract 14

Agradecimientos 15

Capítulo 1: Objetivos del proyecto 17

1.1. Objetivo 17

1.2. Motivación 18

1.3. Alcance 19

Capítulo 2: Introducción 21

2.1. Calidad del suministro eléctrico 21

2.2. SEAT 22

2.2.1. SEAT Martorell 23

2.2.2. Taller de chapistería 24

Capítulo 3: Perturbaciones eléctricas 25

3.1. Sintomatología 25

3.1.1. Bloqueo de ordenadores 25

3.1.2. Fluctuaciones de pantalla 26

3.1.3. Luces parpadeantes 26

3.1.4. Sobrecalentamiento de transformadores 26

3.1.5. Motores de inducción 26

3.1.6. Sobrecalentamiento de conductores 26

3.1.7. Corrección del factor de potencia 26

3.1.8. Sobrecarga del neutro 27
3.1.9. Desconexión de las protecciones 27
3.2. Terminología 28
3.3. Definición de perturbaciones 29
3.3.1. Impulsos transitorios 30
3.3.2. Subtensiones 30
3.3.3. Interrupción de alimentación 30
3.3.4. Sobretensión temporal 31
3.3.5. Sobretensión transitoria 31
3.3.6. Tensión armónica 31
3.3.7. Tensión interarmónica 31
3.3.8. Variaciones de frecuencia 31
3.3.9. Desequilibrios y asimetrías 31
3.4. Costes 32
3.4.1. Coste de los armónicos 32
Capítulo 4: Armónicos, origen y efectos 33
4.1. Generalidades de los armónicos 33
4.2. Análisis de Fourier 35
4.3. Origen de los armónicos 36
4.4. Efecto de los armónicos 37
4.4.1. Resonancia y efecto en condensadores 38
4.4.2. Efecto en máquinas rotativas 38
4.4.3. Efecto en la alimentación 38
4.4.4. Efecto en transformadores 39
4.4.5. Efecto en sistemas de protección 39
4.4.6. Efecto en el cálculo de potencia 39
4.4.7. Efecto en el factor de potencia 40
4.4.8. Vibraciones y acoplamientos 40
4.5. Normativa y finalidad 40
Capítulo 5: Mitigación 43
5.1. Nuevas instalaciones 43
5.2. Selección de transformadores 43
5.3. Actuación sobre el cableado 45
5.3.1. Aumento del nº de conductores por fase 45
5.3.2. Aumento de la sección del neutro 45
5.3.3. Recableado completo y TN-S 45

5.4. Filtrado de armónicos 46
5.4.1. Filtro pasivo 46
5.4.2. Filtro activo 49
5.4.3. Compensación reactiva SAH 49
Capítulo 6: Medición y equipos 51
6.1. Procedimiento de análisis 51
6.2. Medición eficiente 53
6.3. Equipos de medida 53
6.3.1. Verdadero valor eficaz 53
6.3.2. Registrador trifásico FLUKE 1735 55
Capítulo 7: Especificaciones básicas 57
7.1. Generalidades 57
7.2. Descripción del sistema 58
7.2.1. Distribución de blindo barras 58
7.2.2. Transformadores con salida 400 V 59
7.2.3. Transformadores con salida 660 V 60
7.2.4. Batería de condensadores 60
7.2.5. Cuadros eléctricos 61
7.3. Finalidad de la instalación 62
Capítulo 8: Análisis y solución 63
8.1. Descripción del estudio realizado 63
8.2. Análisis de armónicos 64
8.2.1. Secundario transformador 1026 64
8.2.2. Batería de condensadores 67
8.2.3. Cuadros eléctricos 68
8.3. Propuesta de soluciones 73
Capítulo 9: Planificación y ejecución 75
9.1. Planificación de tareas 75
9.2. Método de ejecución 77
9.3. Materiales de obra e instalación 78
Capítulo 10: Normativa 81
10.1. Normas internas de SEAT 81
10.2. Normativa legal 82
Capítulo 11: Conclusiones 83
Capítulo 12: Bibliografía 85
12.1. Bibliografía de consulta 85

1.3 Anexos

Índice de anexos 3

Índice de figuras 5

Índice de tablas 7

Anexo I: Medición del transformador 1026 9

Anexo II: Cálculos justificativos 19

II.1. Tensión y corriente armónica 19

II.1.1. Máximos en tensión, Trafo 1026 19

II.1.2. Máximos en corriente, Trafo 1026 21

II.2. K-factor y factor-K 23

II.3. Potencia admisible y demandada 24

II.4. Frecuencia de resonancia 24

II.5. Armario de compensación 25

Anexo III: Resumen de normativas 27

III.1. Normativa UNE-EN 27

III.1.1. UNE-EN 61642 27

III.1.2. UNE-EN 50160 28

III.1.3. UNE-EN 61000-2-2 29

III.1.4. UNE-EN 61000-2-4 30

III.1.5. UNE-EN 61000-3-2 31

III.1.6. UNE-EN 61000-3-4 31

III.2. Recomendaciones IEEE 519 1992 35

III.3. Normas CENELEC 36

Anexo IV: Fichas técnicas 37

IV.1. Reactancias antiarmónicos 37

IV.2. Condensadores 46

IV.3. Regulador del factor de potencia 54

2. Volumen II

2.1 Planos

3. Volumen III

3.1 Pliego de condiciones

Índice de pliego de condiciones 3

Capítulo 1: Legalización 5

1.1. Certificados 5

1.2. Documentación 6

Capítulo 2: Formación y mantenimiento 7

2.1. Formación 7

2.1.1. Cursos de formación 8

2.2. Asistencia técnica a la explotación 8

2.3. Plan de mantenimiento 8

Capítulo 3: Normas de trabajo 9

3.1. Generales de la instalación 9

3.1.1. Armarios eléctricos 9

3.1.2. Instalaciones de datos 10

3.1.3. Instalaciones eléctricas generales 11

3.1.4. Compensación de energía reactiva 11

3.1.5. Puesta en marcha 11

3.1.6. Conexión a RED 12

3.2. Gestión ambiental 12

3.3. Prohibición de uso de silicona 12

3.4. Memorando de seguridad 13

3.5. Medios de elevación y transporte 13

3.6. Vallados 13

3.7. Trabajos con obra civil 13

3.8. Retirada de restos materiales 14

3.2 Presupuesto y análisis de beneficios

Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memoria

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en INGENIERÍA ELÉCTRICA

Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE DE LA MEMORIA

Índice de la memoria 5
Índice de figuras 9
Índice de tablas 11
Resumen 13
Resum 14
Abstract 14
Agradecimientos 15
Capítulo 1: Objetivos del proyecto 17
1.1. Objetivo 17
1.2. Motivación 18
1.3. Alcance 19
Capítulo 2: Introducción 21
2.1. Calidad del suministro eléctrico 21
2.2. SEAT 22
2.2.1. SEAT Martorell 23
2.2.2. Taller de chapistería 24
Capítulo 3: Perturbaciones eléctricas 25
3.1. Sintomatología 25
3.1.1. Bloqueo de ordenadores 25
3.1.2. Fluctuaciones de pantalla 26
3.1.3. Luces parpadeantes 26
3.1.4. Sobrecalentamiento de transformadores 26
3.1.5. Motores de inducción 26
3.1.6. Sobrecalentamiento de conductores 26
3.1.7. Corrección del factor de potencia 26
3.1.8. Sobrecarga del neutro 27
3.1.9. Desconexión de las protecciones 27
3.2. Terminología 28
3.3. Definición de perturbaciones 29
3.3.1. Impulsos transitorios 30
3.3.2. Subtensiones 30

3.3.3. Interrupción de alimentación 30
3.3.4. Sobretensión temporal 31
3.3.5. Sobretensión transitoria 31
3.3.6. Tensión armónica 31
3.3.7. Tensión interarmónica 31
3.3.8. Variaciones de frecuencia 31
3.3.9. Desequilibrios y asimetrías 31
3.4. Costes 32
3.4.1. Coste de los armónicos 32
Capítulo 4: Armónicos, origen y efectos 33
4.1. Generalidades de los armónicos 33
4.2. Análisis de Fourier 35
4.3. Origen de los armónicos 36
4.4. Efecto de los armónicos 37
4.4.1. Resonancia y efecto en condensadores 38
4.4.2. Efecto en máquinas rotativas 38
4.4.3. Efecto en la alimentación 38
4.4.4. Efecto en transformadores 39
4.4.5. Efecto en sistemas de protección 39
4.4.6. Efecto en el cálculo de potencia 39
4.4.7. Efecto en el factor de potencia 40
4.4.8. Vibraciones y acoplamientos 40
4.5. Normativa y finalidad 40
Capítulo 5: Mitigación 43
5.1. Nuevas instalaciones 43
5.2. Selección de transformadores 43
5.3. Actuación sobre el cableado 45
5.3.1. Aumento del nº de conductores por fase 45
5.3.2. Aumento de la sección del neutro 45
5.3.3. Recableado completo y TN-S 45
5.4. Filtrado de armónicos 46
5.4.1. Filtro pasivo 46
5.4.2. Filtro activo 49
5.4.3. Compensación reactiva SAH 49
Capítulo 6: Medición y equipos 51
6.1. Procedimiento de análisis 51

6.2. Medición eficiente 53
6.3. Equipos de medida 53
6.3.1. Verdadero valor eficaz 53
6.3.2. Registrador trifásico FLUKE 1735 55
Capítulo 7: Especificaciones básicas 57
7.1. Generalidades 57
7.2. Descripción del sistema 58
7.2.1. Distribución de blindo barras 58
7.2.2. Transformadores con salida 400 V 59
7.2.3. Transformadores con salida 660 V 60
7.2.4. Batería de condensadores 60
7.2.5. Cuadros eléctricos 61
7.3. Finalidad de la instalación 62
Capítulo 8: Análisis y solución 63
8.1. Descripción del estudio realizado 63
8.2. Análisis de armónicos 64
8.2.1. Secundario transformador 1026 64
8.2.2. Batería de condensadores 67
8.2.3. Cuadros eléctricos 68
8.3. Propuesta de soluciones 73
Capítulo 9: Planificación y ejecución 75
9.1. Planificación de tareas 75
9.2. Método de ejecución 77
9.3. Materiales de obra e instalación 78
Capítulo 10: Normativa 81
10.1. Normas internas de SEAT 81
10.2. Normativa legal 82
Capítulo 11: Conclusiones 83
Capítulo 12: Bibliografía 85
12.1. Bibliografía de consulta 85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Grupo Volkswagen 22
Figura 2.2. Distribución de la planta de Martorell 23
Figura 2.3. Cadena de producción del taller 01 24
Figura 3.1. Incidencia media de síntomas para la Unión Europea 27
Figura 3.2. Rangos de compatibilidad electromagnética 28
Figura 4.1. Descomposición de una onda distorsionada 33
Figura 4.2. Espectro de armónicos de corriente de una carga no lineal 36
Figura 4.3. Variación de la impedancia en función de la frecuencia 38
Figura 5.1. Transformador con conexión Dyd 44
Figura 5.2. Conexión a tierra TN-S 45
Figura 5.3. Conexión del filtrado activo 49
Figura 5.4. Impedancia relativa de una batería de condensadores 50
Figura 6.1. Procedimiento de estudio de armónicos 52
Figura 6.2. Forma de onda típica de ordenadores 54
Figura 6.3. Registrador trifásico FLUKE 1735 55
Figura 8.1. Variación de reactiva al desconectar la batería de condensadores 67
Figura 8.2. Variación del THD al desconectar la batería de condensadores 68
Figura 8.3. FFT de la corriente de línea del HSA/3B-44 KV-H20-0M 68
Figura 8.4. FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-44 KV-H20-0M 69
Figura 8.5. FFT de la corriente de línea del HS-H20 69
Figura 8.6. FFT de la corriente de línea del UV-J19-0M 70
Figura 8.7. FFT de la corriente de línea del HSA/3B-42 KV-H18-4M 70
Figura 8.8. FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-42 KV-H18-4M 71
Figura 8.9. FFT de la corriente de línea del HSA/3B-30 P-KAV-G24/F10 71
Figura 8.10. FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-30 P-KAV-G24/F10 72
Figura 8.11. FFT de la corriente de línea del HSA/3B-28 P-KAV-G18/F10 72
Figura 8.12. FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-28 P-KAV-G18/F10 72
Figura 9.1. Diagrama de Gantt 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Definición de perturbaciones según norma UNE 50160 29
Tabla 4.1. Orden y comportamiento de los armónicos 34
Tabla 4.2. Indicaciones sobre la inyección de armónicos de cada carga 37
Tabla 5.1. Comparación de filtros pasivos según tipo de instalación 48
Tabla 6.1. Diferencia de medida entre un aparato RMS y uno TRMS 54
Tabla 6.2. Especificaciones técnicas del FLUKE 1735 56
Tabla 7.1. Ficha técnica Transformador 400 V 59
Tabla 7.2. Ficha técnica Transformador 660 V 60
Tabla 7.3. Ficha técnica batería de condensadores 60
Tabla 8.1. HD (U) secundario Trafo-1026 65
Tabla 8.2. HD (I) secundario Trafo-1026 66
Tabla 9.1. Elementos que componen la instalación 78

RESUMEN

El presente proyecto desarrolla el análisis de armónicos en la instalación eléctrica del taller de chapistería T01 de Seat Martorell. El análisis se ha realizado en la blindo barra HSA/3B de 400V, que alimenta diferentes equipos de soldadura, oficinas, iluminación, clima y otros equipos conectados a la red industrial.

El proyecto parte de la introducción al concepto de calidad del suministro eléctrico. Incluye la definición de distorsión armónica, la conceptualización del procedimiento de medida de armónicos, la exposición de métodos de filtrado de armónicos y la normativa actualmente aplicable.

Después de desarrollar el análisis experimental del sistema eléctrico de fábrica, se proponen un conjunto de posibles soluciones realizables para la empresa.

RESUM

El present projecte desenvolupa l'anàlisi d'harmònics a la instal·lació elèctrica del taller de xapa T01 de Seat Martorell. L'anàlisi s'ha realitzat a l'embarrat HSA/3B de 400V, que alimenta diferents equips de soldadura, oficines, il·luminació, clima i altres equips connectats a la xarxa industrial.

El projecte parteix de la introducció al concepte de qualitat del subministrament elèctric. Inclou la definició de distorsió harmònica, la conceptualització del procediment de mesura d'harmònics, la exposició de mètodes de filtrat d'harmònics i la normativa actualment aplicable.

Després de desenvolupar l'anàlisi experimental del sistema elèctric de fàbrica, es proposen un conjunt de possibles solucions realitzables per la empresa.

ABSTRACT

This project develops the analysis of harmonics in the electrical installation of sheet metal workshop T01 of Seat Martorell. The analysis was made at the bar HAS/3B of 400V, that feed different welding equipment, offices, lighting, climate and other equipment connected to the network industry.

The project starts with the introduction to the concept of power quality. It includes the definition of harmonic distortion, the conceptualization of the measurement of harmonics, the exposition of harmonic filtering methods and regulations currently applicable.

After developing the experimental analysis of the factory electrical system, a set of feasible solutions for the company is proposed.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la colaboración de todo el personal de mantenimiento de SEAT Martorell que ha participado directa o indirectamente en este proyecto. En concreto, mis agradecimientos a Daniel Orea por proponer este proyecto y elegirme para su realización, a Ismael Vega por aceptar la codirección, a Raúl Juberías y, especialmente, a Santiago Pérez por encargarse día a día de la supervisión, por ofrecerme toda la ayuda y documentación posible, y por conseguir la colaboración de los operarios que han realizado conmigo todas las mediciones eléctricas necesarias.

Agradezco también el soporte de mi amigo Juan Linares y le dedico este proyecto a él y a mi familia:

Micaela.

Pedro Alejandro.

Alejandro.

CAPÍTULO 1: OBJETIVOS DEL PROYECTO

En el siguiente capítulo se exponen las diferentes motivaciones que han llevado a la realización del proyecto y los objetivos que desde un principio se han querido alcanzar.

1.1. Objetivo

El objetivo principal del proyecto es analizar la actual calidad del suministro eléctrico del taller 01 de Seat Martorell en relación al contenido de armónicos generados por las cargas de éste.

Se han acotado zonas concretas del taller como lugar de estudio, con el fin de que dicho proceso de análisis sea posible trasladarlo al resto de las zonas de fábrica. Para ello se han realizado diferentes mediciones en la zona estudiada.

Las mediciones se han realizado partiendo de los transformadores que alimentan el taller y posteriormente actuando aguas abajo, con el objetivo de medir próximo a las cargas que producen distorsión armónica, para luego proponer un conjunto de medidas y soluciones posibles de realizar por la empresa.

El proyecto pretende ejemplificar la metodología de trabajo en la medición eléctrica, trabajando con tensión, bajo la influencia de los cambios de carga producidos por la producción de la planta y sin la posibilidad de alterar dicha producción.

1.2. Motivación

La motivación del proyecto nace de la preocupación de la empresa por el estado de su suministro eléctrico. Desde el departamento de Mantenimiento Central se consideró, en diversos momentos, la problemática de los armónicos en sus equipos electrónicos y máquinas eléctricas a lo largo de los últimos años.

Cada día son mayores las necesidades de utilización de la electrónica de potencia en los procesos industriales. Esto conlleva un aumento de la deformación de la forma de onda sinusoidal inicial que nos ha llevado a estudiar el efecto de los armónicos en las instalaciones eléctricas, a buscar métodos de reducción de las pérdidas de potencia y de la reducción del tiempo de vida de los equipos causados por este fenómeno y, en definitiva, al intento de conseguir evitar el sobrecoste económico que conlleva en el diseño y mantenimiento de las instalaciones industriales.

Un suministro eléctrico perfecto sería aquél que siempre está disponible, con las variaciones de tensión y frecuencia dentro de las tolerancias admisibles, y con una forma sinusoidal libre de perturbaciones.

Por ello este proyecto intenta aglutinar todo un conjunto de conceptos que sirvan como manual aplicable en un futuro para la empresa, además intenta solucionar un problema ya detectado en fábrica con anterioridad. Por otro lado existe la motivación de utilizar la mejora de la calidad del suministro como medio de ahorro.

El estudio de armónicos y su eliminación son un tema interesante para un ingeniero eléctrico, ya que permite aplicar todos los conceptos sobre anomalías eléctricas, protecciones en instalaciones, máquinas eléctricas, regulación automática y electrónica.

1.3. Alcance

Este proyecto se ha realizado a petición del supervisor de mantenimiento del Taller 01, ha sido aprobado por Mantenimiento Central, dirigido por el responsable del departamento de Mantenimiento de Instalaciones de Seguridad y Protección Contra Incendios y supervisado por el coordinador de Centrales y Redes Eléctricas, además de recibir toda la colaboración del personal de mantenimiento del Taller de Mantenimiento Central.

En la ejecución de este proyecto se ha utilizado el registrador de redes 1735 marca Fluke. Este instrumento de medida permite realizar estudios de armónicos, potencias y formas de onda durante periodos largos, elegidos por el usuario, en función del rango de medida. Además permite la visualización de los datos obtenidos en un ordenador a partir del software del producto: Power Log.

Para la realización de esquemas eléctricos se ha utilizado el software EPLAN v8.

CAPÍTULO 2: INTRODUCCIÓN

Este capítulo introduce la dificultad existente en la red eléctrica para asegurar la calidad del suministro eléctrico. Además explica brevemente la historia de la creación de la empresa y nos sitúa en la fábrica de Martorell, particularmente en el taller de chapistería.

2.1. Calidad del suministro eléctrico

Hoy en día no podemos concebir un mundo sin consumo de energía eléctrica. Éste es un producto particular ya que los usuarios disponen de ella al instante, pero, en cambio, es imposible su almacenamiento en elevadas cantidades. Además, no es posible controlar su calidad antes de estar en disposición del usuario, sino que depende del propio uso del consumidor.

Actualmente debería garantizarse la continuidad de su suministro y controlarse, dentro de unos límites, las variaciones de sus características para evitar problemas en el consumo.

Sin embargo, la electricidad se genera lejos del consumo y se mezcla en la red con electricidad procedente de otras centrales de generación, antes de llegar al usuario, lo que provoca que la gestión y el mantenimiento dependan de varias empresas y organismos. Esto dificulta el control de la calidad energética.

Desde el lado del consumidor puede llegar a ser más difícil aun asegurar la calidad del suministro, ya que suele generarse una confrontación entre las exigencias del suministrador y las propias necesidades del usuario.

Las perturbaciones más notables en el suministro eléctrico son su interrupción y las oscilaciones de tensión. Hay que pensar que breves interrupciones pueden alterar los ritmos productivos de una industria o, en el caso del procesamiento de datos, provocar pérdidas económicas.

Las empresas suministradoras defienden que es el usuario con necesidades críticas quien debería costear los sobrecostes necesarios para garantizar la calidad.

Garantizar la calidad de la electricidad conlleva una inversión en equipos adicionales de distribución que solo benefician a ciertos usuarios y que resultan inviables, por eso se intentan resolver las perturbaciones eléctricas de forma localizada. Para ello existen diversas soluciones técnicas para la eliminación y reducción de dichos problemas.

En nuestro caso se estudia el fenómeno de los armónicos que son normalmente generados en las cargas del consumidor y de relevante importancia para la empresa solicitante de este proyecto.

Sin embargo, antes de realizar cualquier tipo de acción para mitigar dichas perturbaciones, es necesario seguir un procedimiento de medición que no solo involucre a la red eléctrica industrial, sino a las diferentes partes organizativas de la empresa usuaria.

2.2. SEAT

La Sociedad Española de Automóviles de Turismo (SEAT) fue creada, a partir del acuerdo de cinco bancos españoles más la empresa automovilística FIAT, el 9 de mayo de 1950. FIAT aportó su tecnología y experiencia en el sector e impuso los criterios económico-industriales.

La primera fábrica fue construida en los terrenos que forman parte del polígono Industrial de Zona Franca, por sus buenas condiciones de comunicación, ya fuera vía portuaria o vía tren. Su plantilla inicial se componía de 950 trabajadores.

En 1953 se fabricó el primer modelo de coche, el SEAT 1400. En 1957 se comenzó a producir el automóvil más importante de la historia de España, el SEAT 600, bajo el eslogan "para la familia y el hombre de negocios". Se fabricaron 2.585 unidades el primer año y se continuó con su fabricación durante 17 años de constante evolución de diseño.

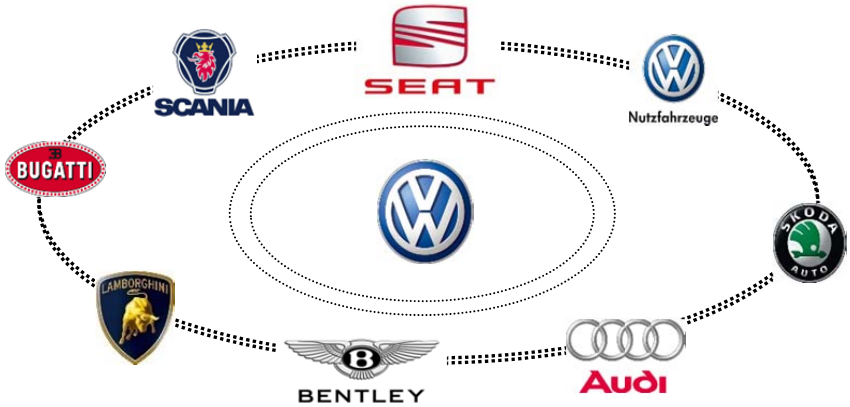


Figura 2.1. *Grupo Volkswagen*

SEAT Enjoyneering es el último eslogan de la marca, que contiene los siguientes valores: diseño, juventud, carácter deportivo y tecnología innovadora. La compañía española, propiedad del grupo alemán Volkswagen desde 1986, está presente en más de 70 países alrededor del mundo, teniendo como primeros núcleos de venta España y México, y adaptándose al nuevo mercado chino.

Actualmente, cerca de 11.000 empleados trabajan en SEAT desarrollando, fabricando y vendiendo aproximadamente 400.000 vehículos SEAT cada año y 100.000 más de la marca Audi.

2.2.1. SEAT Martorell

La fábrica de Martorell, situada a 30 kilómetros de Barcelona, fue inaugurada en febrero de 1993 por el rey Juan Carlos I y es una de las más modernas de Europa. Tiene una superficie de más de 2.800.000 metros cuadrados, de los cuales 260.000 corresponden a zonas verdes. En sus trece edificios trabajan 7.000 personas. Actualmente, la producción diaria de la fábrica ronda las 2.000 unidades y la producción anual se sitúa en torno a las 425.000 unidades que se distribuyen, para su venta, a 72 países.

La introducción de innovaciones en los procesos de producción, la ampliación de la formación del personal y la incorporación de la más moderna tecnología han permitido la modernización de la factoría, cuyas líneas de montaje ofrecen una gran versatilidad de producción con la premisa fundamental de utilizar todos los medios disponibles para ofrecer un producto de elevada calidad capaz de satisfacer todas las necesidades de los clientes.

Además, SEAT Martorell dispone del Centro Técnico (I + D) ubicado dentro de sus instalaciones, siendo el único fabricante de coches en España con capacidad para diseñar, desarrollar, producir y distribuir sus propios vehículos de forma completamente independiente.

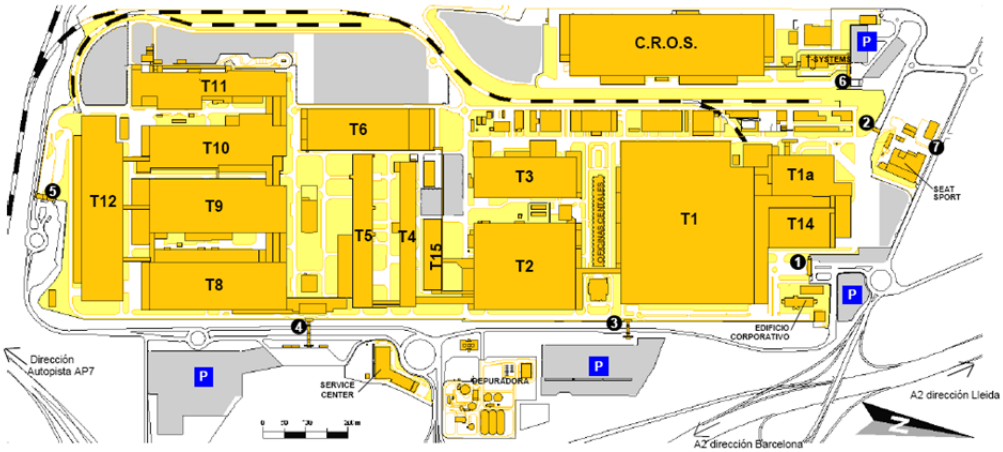


Figura 2.2. *Distribución de la planta de Martorell*

Localización fábrica:

Autovía A-2, Km. 585 Martorell (Barcelona), España; Latitud: 41.492426, Longitud: 1.89997.

2.2.2. Taller de chapistería

El taller de chapistería es el encargado de realizar la unión de los largueros del vehículo con los pisos. Cada coche atraviesa diferentes estaciones de trabajo, donde grupos de robots aplican con sus pinzas los diferentes puntos de soldadura con exactitud.

Cada carrocería contiene una media de 5.000 puntos de soldadura y solamente en la factoría de Martorell se realizan 10 millones de puntos diarios. Además, se añaden los engrapados mediante pestañas y se aplica resina epoxi para proporcionar resistencia estructural y estanqueidad.

Figura 2.3. *Cadena de producción del taller 01*

1.518 robots son los encargados de realizar esta labor conjuntamente con 1.573 trabajadores. Los robots que operan en el taller 01 se distinguen por su color, siendo: naranja los de la marca alemana Kuka y amarillos los japoneses Fanuc.

CAPÍTULO 3: PERTURBACIONES ELÉCTRICAS

En el siguiente capítulo se exponen los efectos visibles producidos por una alimentación eléctrica no sinusoidal, se definen las diferentes perturbaciones eléctricas existentes y se expone el efecto económico causado por estas deficiencias.

3.1. Sintomatología

El total de alteraciones de calidad del suministro es muy numeroso. Dichos efectos son complejos de detectar y necesitan de personal experto para su evaluación y solución. Esto se debe a la similitud de síntomas que aparecen para causas diferentes.

La aparición de perturbaciones en el suministro puede deberse a la calidad de la tensión entregada por el suministrador, a los tipos de carga de la instalación o incluso a la sensibilidad de los equipos a diferentes cambios.

En la actualidad no existe una solución única, tanto técnica como económica, que solucione el conjunto de problemas pero se puede crear un procedimiento genérico de evaluación de instalaciones y detección de problemas para luego diseñar las soluciones pertinentes.

A continuación se muestran ciertos síntomas que pueden ser detectados por el equipo de mantenimiento de fábrica:

3.1.1. Bloqueo de ordenadores

Los equipos informáticos son sensibles a perturbaciones, viéndose incrementado con el aumento de la frecuencia de la perturbación. La corriente a tierra originada por los ordenadores genera una diferencia de potencial entre la masa

del equipo y tierra que supera las tensiones de señal del propio equipo. Las normativas de comunicación obligan a que el hardware minimice el efecto, lo que provoca la ralentización de los equipos e incluso su bloqueo. Hay que advertir que el bloqueo de ordenadores puede ser debido, también, al software.

3.1.2. Fluctuaciones de pantalla

Las corrientes armónicas múltiplos del 3º retornan por el neutro. Con una toma a tierra del tipo TN-C el conductor de neutro se combina al de tierra y se conecta a puntos de la estructura del taller, lo que provoca que las corrientes del neutro puedan circular por el edificio, generando campos magnéticos que provocan la fluctuación de las pantallas.

3.1.3. Luces parpadeantes

Variaciones de tensión de corta duración pueden provocar fluctuaciones de luz que en exceso perjudican al personal de la empresa, causándole migrañas o trastornos psicológicos como el llamado síndrome del edificio enfermo.

3.1.4. Sobrecalentamiento de transformadores

En un transformador, las pérdidas debidas a corrientes parasitarias aumentan con el cuadrado de la frecuencia. En el caso de la existencia de armónicos se generan pérdidas adicionales, lo que conlleva un aumento de la temperatura del núcleo.

3.1.5. Motores de inducción

Al igual que en los transformadores, la existencia de armónicos afecta al funcionamiento de los motores. En este caso el 5º armónico provoca un campo que se opone al sentido de giro del motor mientras que el 7º provoca un campo de igual sentido y mayor velocidad que la componente normal.

La resultante de estas componentes de tensión genera desgastes y roturas en cojinetes y acoplamientos. Además se inducen corrientes armónicas que provocan calentamiento adicional y como consecuencia la reducción del tiempo de vida de la máquina.

3.1.6. Sobrecalentamiento de conductores

El efecto pelicular se ve aumentado por el incremento de la frecuencia, hecho que ocurre en el caso de aparición de corrientes armónicas. La reactancia de un conductor aumenta con la frecuencia, luego provoca un aumento de la caída de la tensión y en consecuencia mayor distorsión de la tensión.

3.1.7. Corrección del factor de potencia

En caso de tener baterías de condensadores para la corrección del factor de potencia, se puede dar el caso de que coincidan las frecuencias armónicas con frecuencias resonantes de dichos equipos, o incluso con inductancias parásitas sin existir dichas baterías, incrementándose los niveles de tensión y corriente y provocando fallos en la instalación.

3.1.8. Sobrecarga del neutro

Cuando aparecen armónicos múltiplos del 3º, estos retornan por el conductor neutro incrementando el valor máximo de la corriente con la posibilidad de que la máxima corriente permitida del conductor se vea superada.

3.1.9. Desconexión de las protecciones

Las protecciones pueden detectar de forma incorrecta las corrientes armónicas, desconectándose por error en momentos de arranque. A la vez, las corrientes de fuga pueden provocar, también, la desconexión de los dispositivos de corriente residual.

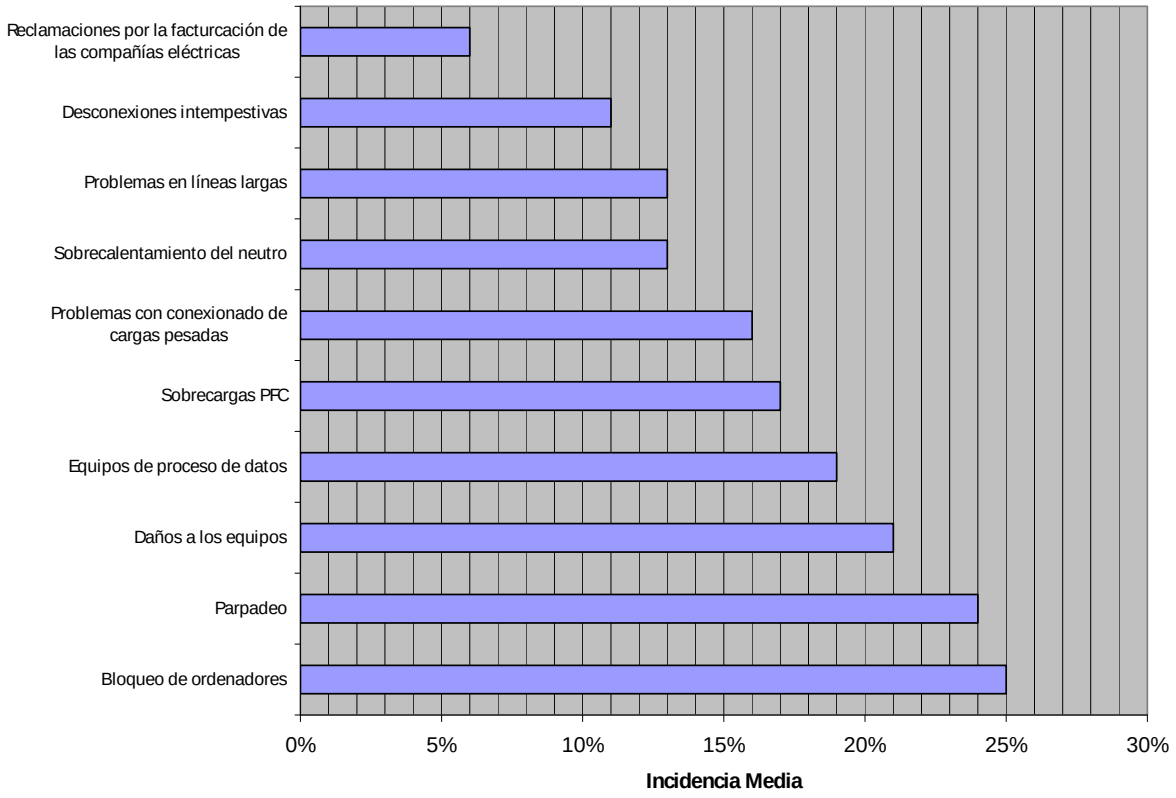


Figura 3.1. *Incidencia media de síntomas para la Unión Europea*

3.2. Terminología

- Compatibilidad electromagnética (CEM): Aptitud de un equipo o sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma correcta y sin producir perturbaciones electromagnéticas intolerables para los demás equipos de su entorno.
- Nivel de susceptibilidad: Nivel de perturbación a partir del cual un equipo comienza a funcionar inadecuadamente.
- Límite de inmunidad: Nivel normalizado de perturbación que puede soportar un equipo.
- Límite de emisión: Nivel normalizado de emisión de perturbaciones que un equipo no debe superar.

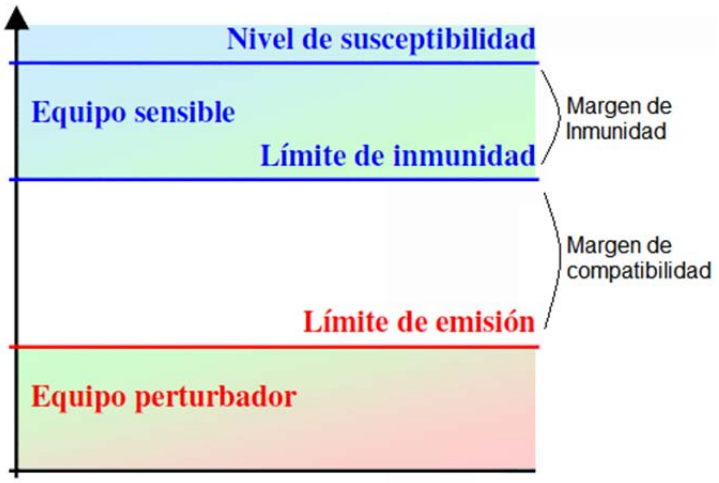


Figura 3.2. *Rangos de compatibilidad electromagnética*

- Perturbaciones según frecuencia: Las perturbaciones electromagnéticas pueden ser de baja frecuencia, de hasta 30 MHz, o de alta frecuencia, a partir de 30 MHz.
- Perturbaciones según propagación: Las perturbaciones pueden ser conducidas, si se propagan por el mismo circuito mediante corrientes producidas por diferencia de potencial, o radiadas, si se propagan sin la necesidad de conexión física y a través de campos electromagnéticos.
- Perturbación según naturaleza temporal: Las perturbaciones pueden ser permanentes, si son de duración prolongada, o transitorias, si son de aparición espontánea.
- Calidad del suministro eléctrico: Dentro de la CEM, las perturbaciones conducidas de baja frecuencia son aquellas a las que se refiere dicho término.

3.3. Definición de perturbaciones

Los defectos de la calidad de la energía tienen causas diferentes y se clasifican, según norma UNE 50160, tal como muestra la tabla 3.1.

Tabla 3.1. *Definición de perturbaciones según norma UNE 50160*

Parámetro	Nombre	Definición
Amplitud	Fluctuación de tensión	$\Delta U < 10\% U_{ref}$
	Hueco de tensión	$90\% U_{ref} > U > 1\% U_{ref}$ $10ms < \Delta t \leq 1\min$
	Interrupción alimentación: Corte breve Corte largo	 $U < 1\% U_{ref}, \Delta t \leq 3\min$ $U < 1\% U_{ref}, \Delta t > 3\min$
	Sobretensión temporal	Sobretensión relativamente larga
	Variación de tensión	Aumento o disminución de tensión
Forma de onda	Sobretensión transitoria	$\Delta t = de \quad ns \quad a \quad ms$
	Tensión armónica	$f_{armónico} = n \cdot f_{fundamental}$ $n = entero$
	Tensión interarmónica	$f_{interarmónico} = m \cdot f_{fundamental}$ $m = no \quad entero$
	Señales de información transmitidas por red	$110\ Hz \leq f \leq 148{,}5\ kHz$ e impulsos de corta duración
Frecuencia	Variaciones de frecuencia	$f \neq 50 Hz$
Simetría	Desequilibrios de tensión	$\lvert U_R \rvert \neq \lvert U_S \rvert \neq \lvert U_T \rvert$ y/o $\varphi_{R,S} \neq \varphi_{S,T} \neq \varphi_{T,R} \neq 120^{o}$

A continuación se definen las diferentes tipologías de perturbaciones eléctricas:

3.3.1. Impulsos transitorios

Existen impulsos transitorios cuando aparecen desviaciones de tensión muy cortas de duración, de entre microsegundos a milisegundos, caracterizadas por su contenido energético. Son causadas por descargas atmosféricas, conexiones a tierra deficientes, conmutación de cargas inductivas o conmutación de baterías de condensadores. Son perturbaciones conducidas pero pueden radiarse a otros circuitos debido a su alta frecuencia. Afectan destruyendo equipos o causando el reinicio de microprocesadores.

3.3.2. Subtensiones

Existen subtensiones cuando disminuye el valor de la tensión eficaz durante más de un segundo. Son causadas por averías en la compañía, cortocircuitos en líneas de suministro, errores de regulación o la conexión de grandes consumidores cercanos. Afectan causando dificultades en la maniobra de motores, la desconexión de relés y contactores, pérdidas de iluminación o apagado de lámparas de descarga. Se clasifican en los siguientes tipos:

- Fluctuación de tensión

Existe fluctuación de tensión cuando se producen variaciones periódicas en la tensión de alimentación. Su duración es menor a los 10 segundos y no supera el 10% de variación de la tensión nominal.

Cuando hay fluctuación de la tensión aparece el fenómeno "flicker", definido como el nivel de molestia que percibe un observador como consecuencia de la variación de la luminosidad de una lámpara.

- Hueco de tensión

Existe hueco de tensión cuando aparece una disminución brusca de la tensión de alimentación, estando su valor comprendido entre el 90% y el 1% de la tensión nominal, seguida de un restablecimiento de la tensión al poco tiempo. Son causados por cortocircuitos, conexión de grandes cargas, conmutación de fuentes o problemas de regulación. Afectan al funcionamiento de fuentes de alimentación, equipos electrónicos convertidores y motores.

- Variación de tensión

Existe variación de tensión cuando hay una variación del valor eficaz de la tensión entre dos niveles consecutivos mantenidos durante intervalos de tiempo definidos, pero no especificados, es decir, entre dos situaciones de régimen permanente, y sin que la variación sea mayor al 10% de la tensión.

3.3.3. Interrupción de alimentación

Existe interrupción cuando hay una disminución de la tensión a valores inferiores al 1% de la tensión nominal. Es causada por interruptores de reconexión, conmutación de fuentes y semiconductores, descargadores de sobretensiones y falsos contactos en uniones y bornes. Afectan al funcionamiento de fuentes de alimentación, motores y equipos informáticos.

3.3.4. Sobretensión temporal

Existe sobretensión temporal cuando hay un aumento de tensión relativamente larga. Son causadas por averías del suministro de la compañía, errores de regulación, desconexión de grandes consumidores cercanos o por la cercanía de un centro de generación eléctrica. Afectan causando sobrecalentamiento de las instalaciones, disparo de interruptores y destrucción de componentes.

3.3.5. Sobretensión transitoria

Existe sobretensión transitoria cuando hay sobretensiones oscilatorias o no oscilatorias, de corta duración, fuertemente amortiguadas y con una duración de milisegundos. Las causas son debidas a maniobras en carga, conmutación de redes, disparos de aparamenta, errores de regulación o distorsiones armónicas. Pueden afectar provocando la destrucción de componentes electrónicos y aislantes o la fusión de lámparas incandescentes.

3.3.6. Tensión armónica

Existe tensión armónica cuando hay una tensión sinusoidal de frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

3.3.7. Tensión interarmónica

Existe tensión interarmónica cuando hay tensión sinusoidal de frecuencia no múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

3.3.8. Variaciones de frecuencia

Se define la frecuencia de la tensión de alimentación como la tasa de repetición de la componente fundamental de la tensión de alimentación, medida durante un intervalo de tiempo determinado. Existe variación de la frecuencia cuando hay cualquier cambio de esta tasa.

3.3.9. Desequilibrios y asimetrías

Existe desequilibrio o asimetría cuando un sistema trifásico no es equilibrado o simétrico, es decir, cuando el módulo de las tensiones y corrientes no es igual para las tres fases y no presentan un desfase entre ellas de 120º. Son causados por la conexión de cargas monofásicas o la propia asimetría de las cargas. Afectan al funcionamiento de motores, generadores, transformadores y convertidores, y a la capacidad de transformadores y conductores.

3.4. Costes

Actualmente no existe ninguna penalización en la tarifa por provocar una disminución de la calidad en el suministro eléctrico. Aun así, existe un coste significativo en pérdidas y en desaprovechamiento de las instalaciones debido a los problemas de calidad.

La pérdida de sincronización de una industria debido al tiempo que pasa entre un apagón y el encendido del suministro propio de emergencia, el tiempo de reiniciado de los equipos debido a una bajada breve de tensión o el fallo catastrófico de maquinaria a causa de perturbaciones transitorias, tales como descargas atmosféricas, dan cuenta del coste que puede significar para una empresa la aparición de éstas perturbaciones.

En el caso de los armónicos, que es el foco de estudio del proyecto, la valoración del coste económico debe hacerse en base a cuatro factores: El aumento de sección de los cables, el aumento de las pérdidas en el cobre, el aumento de la potencia de los transformadores y el aumento de las pérdidas en el hierro.

3.4.1. Coste de los armónicos

La distorsión armónica es causante de corrientes superiores a la calculada. Dichas corrientes no son medidas correctamente, provocando la elección de secciones de conductor inferiores a la necesidad y provocando que trabajen a temperaturas superiores a las normales. De esta manera, el punto de disparo de las protecciones está diseñado demasiado próximo a las corrientes de trabajo, lo que produce saltos inesperados de estos elementos.

Las componentes de frecuencia armónica aumentan las pérdidas de corriente en los transformadores, ya que dependen del cuadrado de la frecuencia. Con el aumento de las pérdidas se produce un aumento de la temperatura del núcleo del transformador, lo que nos lleva a la reducción de la vida útil de éste.

La distorsión armónica es causante de la reducción de la vida útil de los equipos, de la eficiencia energética de la instalación y de algunas desconexiones repentinas, causantes de pérdidas económicas para la empresa. La solución a estos problemas viene por la adecuada selección de los equipos de la instalación, así como el correcto dimensionado de ésta.

CAPÍTULO 4: ARMÓNICOS, ORIGEN Y EFECTOS

En relación al tema principal de este proyecto, el objetivo del siguiente capítulo es la exposición de definiciones, conceptos y teoría en relación a la aparición de armónicos en sistemas eléctricos.

4.1. Generalidades de los armónicos

Actualmente las instalaciones eléctricas alimentan infinidad de cargas no lineales que consumen corrientes armónicas.

Estás corrientes armónicas no son sinusoidales ya que están compuestas por la onda fundamental, de frecuencia 50 Hz, más un conjunto de ondas sinusoidales de frecuencia múltiplo de la fundamental. En la siguiente figura se observa como la suma de diferentes ondas de diferente frecuencia provoca una onda distorsionada de armónicos:

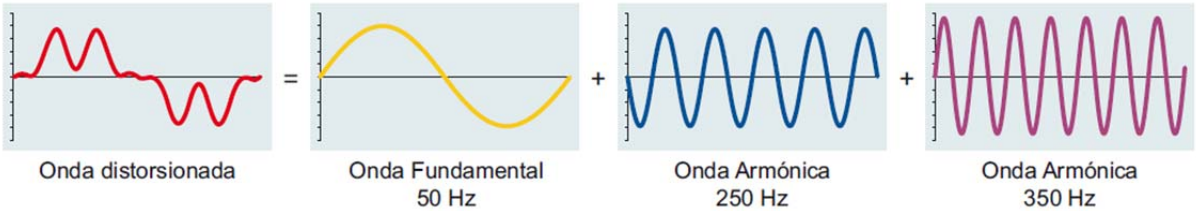


Figura 4.1. *Descomposición de una onda distorsionada*

El resultado de la deformación de la onda de corrientes (o tensión) conlleva un conjunto de problemas asociados que se explicarán posteriormente.

Cada armónico tiene una secuencia diferente respecto a la secuencia de fases de la componente fundamental. Con el ejemplo de un motor es fácil de entender. Armónicos de secuencia directa (+) acelerarían dicho motor; armónicos de secuencia inversa (-) se opondrían al campo de la frecuencia fundamental de manera que actuarían como freno; y, por último, armónicos de secuencia homopolar (0) circularían únicamente por el neutro. La tabla 4.1 muestra la secuencia de cada armónico según su orden o frecuencia.

Tabla 4.1. *Orden y comportamiento de los armónicos*

Orden	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**N**
FREC.	50	100	150	200	250	300	350	400	450	50xn
SEC.	+	-	0	+	-	0	+	-	0	…

Para la definición, medición e interpretación se usan los siguientes conceptos:

- Frecuencia fundamental (f1): frecuencia de onda de la red eléctrica (50Hz).
- Orden del armónico (n): Relación de la frecuencia del armónico entre la frecuencia fundamental.
- Componente fundamental (U1 o I1): Componente sinusoidal de orden uno, del desarrollo en serie de Fourier, de frecuencia fundamental.
- Componente armónica (Un o In): Componente sinusoidal de orden superior a la fundamental de la serie de Fourier.
- Tasa de distorsión individual (HD (U) % o HD (I) %): Relación en tanto por ciento de la componente armónica entre la componente fundamental.

$$HD(U)\% = 100.\frac{Un}{U1} \qquad [1]$$

$$HD(I)\% = 100.\frac{In}{I1} \qquad [2]$$

- Valor eficaz total (TRMS): Raíz cuadrada de la suma de todas las componentes de la onda.

$$U = \sqrt{\sum_{h=1}^{n} U_h^{\,2}} \qquad [3]$$

$$I = \sqrt{\sum_{h=1}^{n} I_h^{\,2}} \qquad [4]$$

- Factor de pico: Relación del valor máximo de la onda entre el valor eficaz.

$$f_p = \frac{X\max}{X\,rms} \qquad [5]$$

- Factor de forma: Relación del valor medio de la onda entre el valor eficaz.

$$f_f = \frac{X\,med}{X\,rms} \qquad [6]$$

- Residuo armónico: Diferencia entre la onda distorsionada y la onda fundamental.
- Tasa de distorsión armónica (THD): Relación del valor eficaz total del residuo armónico entre el valor de la componente fundamental.

$$THD(U)\% = 100.\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} U_h^{\,2}}}{U_1} \qquad [7]$$

$$THD(I)\% = 100.\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} I_h^{\,2}}}{I_1} \qquad [8]$$

4.2. Análisis de Fourier

El análisis de Fourier es utilizado para calcular las componentes, de frecuencia múltiple de la componente fundamental, que forman parte de la onda distorsionada. Jean Babtiste Joseph Fourier definió toda función repetitiva y continua en un intervalo T como suma de una componente sinusoidal fundamental y una serie de componentes armónicas, múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

$$f(x)\% = \frac{a_o}{2} + a_1\cos x + b_1\sin x + a_2\cos 2x + b_2\sin 2x + ... + a_n\cos nx + b_n\sin nx + ... =$$

$$= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n\cos nx + \sum_{n=1}^{\infty} b_n\sin nx = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n\sin(nx + \phi_{n))}$$

[9]

Donde f(x) es la función genérica de la forma de onda y los demás coeficientes se calculan de la forma siguiente:

$$a_0 = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\cdot dx \quad [10]$$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\cos(nx)\cdot dx \quad [11]$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\sin(nx)\cdot dx \quad [12]$$

$$c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad [13]$$

$$\phi_n = arctg\frac{a_n}{b_n} \quad [14]$$

Esta serie resultante se denomina Serie de Fourier y establece una relación entre la función definida en el tiempo y la expresión de ésta en el dominio de la frecuencia.

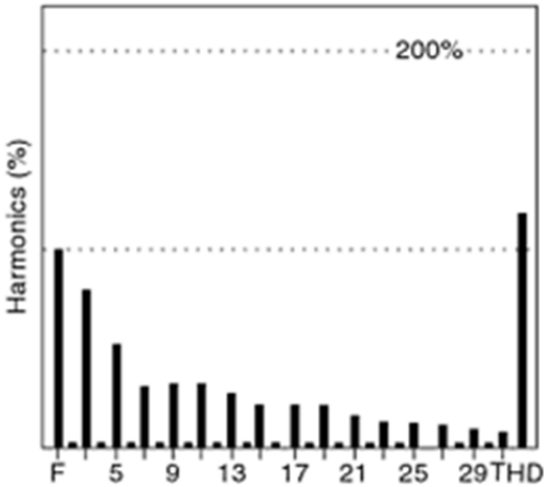


Figura 4.2. *Espectro de armónicos de corriente de una carga no lineal*

4.3. Origen de los armónicos

En la consideración de los efectos de la distorsión armónica, la electrónica de potencia es el mayor responsable y, por lo tanto, es primordial centrar el análisis en dichas cargas. No obstante los elementos de generación, transporte y maquinaria también son generadores de armónicos, aun siendo cargas lineales.

En condiciones normales, el funcionamiento de máquinas rotativas y transformadores no causan elevadas distorsiones, pero se ven amplificadas durante procesos transitorios y con sobretensiones, ya que provocan distorsión en las corrientes magnetizantes.

A continuación se citan las cargas del taller 01 generadoras de armónicos y se dan indicaciones de la inyección de armónicos de cada una de las cargas:

- Variadores de velocidad: Utilizados para variar la velocidad de giro de los motores del taller.
- Servomotores: Encargados del movimiento de los brazos de los robots.
- Rectificadores: Encargados de la alimentación de los servomotores.
- Soldadores: Situados en la extremidad del brazo robotizado y encargados de realizar el punto de soldadura.
- Iluminación.
- Cicloconvertidores: Encargados de elevar la frecuencia y tensión a los niveles de soldadura.
- Transformadores: Alimentan las diferentes blindo barras del taller.

Tabla 4.2. *Indicaciones sobre la inyección de armónicos de cada carga*

Carga	**Inyección de armónicos**	
Transformador	Orden par e impar	Componente en CC
Motor asíncrono	Orden impar	Inter. y subarmónicos
Lámpara de descarga	3º y otros impares	Llegan al 30% de I1
Soldadura de arco	3º	
Rectificador con filtro inductivo	Orden impar $h=k\cdot P\pm 1$	SAI y variadores de velocidad
Rectificador con filtro capacitivo	Orden impar $h=k\cdot P\pm 1$	Alimentación equipos electrónicos
Cicloconvertidor	Variable	Variadores de velocidad
Regulador PWM	Variable	SAI y onduladores

4.4. Efecto de los armónicos

Después de definir las fuentes generadoras de armónicos, es conveniente pasar a explicar los efectos que producen en el sistema eléctrico de fábrica. Todas las cargas deben ser estudiadas por separado para ver su influencia en el sistema y poder mitigar sus efectos en base a la normativa. Las principales consecuencias en un sistema de potencia se pueden resumir en las siguientes:

- Amplificación de armónicos debido a la resonancia.
- Reducción del rendimiento en el transporte y utilización de la electricidad.
- Envejecimiento del aislamiento de los elementos de la red y reducción del tiempo de vida útil.
- Mal funcionamiento del sistema y de los componentes.

A continuación se definen los diferentes efectos producidos por las corrientes y tensiones con presencia de armónicos:

4.4.1. Resonancia y efecto en condensadores

Un sistema resonante en paralelo (batería de condensadores) presenta alta impedancia a las intensidades inyectadas a la frecuencia de resonancia, la resonancia paralela crea tensiones y corrientes elevadas de armónicos en las ramas de derivación, ya que en éstas se produce el efecto contrario creando un camino de baja impedancia tal como muestra la figura 4.3.

Figura 4.3. *Variación de la impedancia en función de la frecuencia*

Suponiendo una impedancia inductiva pura del sistema de suministro, la frecuencia de resonancia se calcula de la manera siguiente:

$$f_p = f \cdot \sqrt{\frac{S_{cc}}{S_c}} \qquad [15]$$

f: frecuencia fundamental

f_p: frecuencia de resonancia

S_{cc}: potencia de cortocircuito del punto de conexión.

S_c: potencia nominal del condensador

La resonancia origina elevadas corrientes y sobretensiones que aumentan las pérdidas y el sobrecalentamiento pudiendo deteriorar la batería de condensadores.

4.4.2. Efecto en máquinas rotativas

Los armónicos generan pérdidas adicionales en las diferentes partes del motor:

- A causa del efecto pelicular y de Foucault, las pérdidas del estator son superiores a las asociadas a la resistencia de la máquina.
- Los flujos de dispersión creados en los terminales del estator y rotor aumentan también las pérdidas.
- Altas frecuencias originan pérdidas en el hierro.

4.4.3. Efecto en la alimentación

Las pérdidas adicionales de energía se deben al aumento del valor eficaz de la corriente. Además, el flujo de corrientes armónicas produce caídas de tensión adicionales. En el caso de los conductores, el efecto pelicular se ve agravado con el aumento de la frecuencia.

4.4.4. Efecto en transformadores

La distorsión armónica de tensión aumenta las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault fatigando el aislamiento del transformador y su vida útil. La presencia de armónicos de corriente aumenta las pérdidas del cobre.

Las pérdidas en los transformadores aumentan con la frecuencia y, por lo tanto, los armónicos de orden elevado pueden influir en el calentamiento más que los de orden inferior, en cambio la amplitud de los armónicos de corriente se reduce generalmente con el aumento de la frecuencia, lo que contrarresta dicho efecto.

4.4.5. Efecto en sistemas de protección

Dependiendo de su funcionamiento y diseño, los dispositivos de protección pueden verse afectados por la presencia de armónicos. Principalmente se ven afectados aquellos dispositivos digitales basados en el muestreo de información y en los cruces por cero de la onda de tensión y corriente.

Actualmente se considera que el funcionamiento de relés de señales múltiples es menos previsible y varía dependiendo del fabricante y lote. En general tienden a funcionar más lentamente y, siendo elementos de protección de baja frecuencia, son muy sensibles a la presencia de armónicos. Factores de distorsión del 10% al 20% son críticos para su funcionamiento.

4.4.6. Efecto en el cálculo de potencia

Debido a la presencia de distorsión armónica, el cálculo de la potencia del sistema se ve afectado modificándose la composición de la potencia aparente:

- Potencia activa:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot i(t)\cdot dt \qquad [16]$$

$$P = \sum_h V_h \cdot I_h \cdot \cos\phi_h \qquad [17]$$

- Potencia reactiva según Budeanu:

$$Q = \sum_h V_h \cdot I_h \cdot \sin\phi_h \qquad [18]$$

- Potencia aparente:

$$S = V\cdot I = \sqrt{\sum_h V_h^2 \cdot \sum_h I_h^2} \qquad [19]$$

- Potencia de distorsión:

$$D^2 = S^2 - (P^2 + Q^2) \qquad [20]$$

De tal manera, la definición de potencia reactiva pierde el sentido para ciertas afirmaciones. Con presencia de armónicos ocurre lo siguiente:

- Si la potencia reactiva se reduce a cero, el factor de potencia no se hace cero.
- La potencia reactiva no completa el triángulo de potencias ya que aparece la cuarta componente, la potencia de distorsión.
- La potencia reactiva no puede ser eliminada de forma única con componentes capacitivos o inductivos.

4.4.7. Efecto en el factor de potencia

El factor de potencia es un índice de eficacia del consumo de la potencia, de manera que, un valor bajo indicaría una mala utilización del suministro. En sistemas con presencia de armónicos se definen los siguientes índices:

- Factor de potencia: relación entre la potencia activa y la aparente.

$$PF = \frac{P(W)}{S(VA)} \qquad [21]$$

- Coseno de fi: relación entre la componente fundamental de la potencia activa y la componente fundamental de la potencia aparente.

$$\cos\phi = \frac{P_{h1}(W)}{S_{h1}(VA)} \qquad [22]$$

4.4.8. Vibraciones y acoplamientos

Debido a las elevadas frecuencias de los armónicos y a las fluctuaciones de las señales distorsionadas, se producen interferencias electromagnéticas que pueden ser conducidas. Dichas interferencias electromagnéticas pueden provocar vibraciones en los cuadros eléctricos y en los transformadores, y acoplamientos en las líneas de comunicación y ordenadores. Es precisamente en el procesamiento de ordenadores donde puede llegar a provocarse errores de información.

4.5. Normativa y finalidad

Todos los documentos normalizados responden a la necesidad de reducir el nivel de armónicos, basándose en las tolerancias de los equipos y en el sentido físico de dichas perturbaciones, en las afectaciones que aparecen en los sistemas eléctricos de potencia.

Los niveles de presencia de armónicos son parte de la relación derechos y deberes entre los consumidores y suministradores. Las normativas pretenden reducir los niveles de armónicos en el sistema introduciendo límites individuales para ciertos armónicos de tensión y corriente. Dichos límites deben ser aplicados

en los puntos de conexión común (PCC), en la interconexión entre usuarios y suministradores o bien entre el transporte y el distribuidor.

No obstante, aparece también el problema de la compatibilidad magnética. Los equipos de los consumidores causan perturbaciones en la red, provocando defectos de funcionamiento a otros equipos de la instalación. Para evitar esto, las normativas intentan que los límites sean coherentes, con el fin de conseguir unos niveles de calidad suficientes para que todos los equipos sean inmunes a estas alteraciones.

Por todo esto se han desarrollado, también, normas que aseguran que los niveles de emisión de perturbaciones de los equipos sean tales que no afecten al nivel total de perturbación, y que los equipos no sean afectados por los niveles esperados de perturbación de la red.

En concreto, para instalaciones de tipo industrial, es importante cumplir las siguientes normas:

- UNE-EN 50160: Características de la tensión suministrada para las redes públicas de distribución.
- UNE-EN 61000-2-4: Compatibilidad electromagnética, entorno, niveles de compatibilidad en las instalaciones industriales de potencia, BT o MT, a 50 o 60 Hz.
- UNE-EN 61000-3-2: Compatibilidad electromagnética, límites de emisión de corriente armónica (aparatos de intensidad de entrada inferior a 16 A por fase).
- UNE-EN 61000-3-4: Compatibilidad electromagnética, límites de emisión de corriente armónica en las redes de BT para aparatos con una corriente asignada superior a 16 A.

CAPÍTULO 5: MITIGACIÓN

A continuación se definen las diferentes alternativas de protección ante las distorsiones armónicas y las posibilidades de eliminación o atenuación de los niveles de distorsión. Estas medidas deberían tomarse en cuenta a la hora de diseñar la instalación, ya que una posterior modificación puede generar un incremento del coste. No obstante, algunas de las alternativas son de aplicación para instalaciones ya construidas en las cuales se ha detectado un problema de calidad del suministro.

5.1. Nuevas instalaciones

En la proyección de una instalación nueva debe evaluarse la posibilidad de que aparezca distorsión armónica y reducir las cantidades inyectadas al sistema de alimentación industrial.

Es posible disminuir la amplitud de los armónicos eligiendo convertidores de elevado índice de pulsación.

Con la separación de cargas distorsionantes de las no distorsionantes, se facilita el posterior filtrado de la señal, y distribuyendo dichas cargas en embarrados distintos, no conectando varios transformadores al mismo, reducimos la potencia de cortocircuito y, consecuentemente, el factor de amplificación.

Un análisis inicial de las características de las diferentes cargas ayudará en la selección de éstas para evitar futuros problemas de calidad del suministro.

5.2. Selección de transformadores

Siendo conocidos los niveles de distorsión armónica de la instalación, podemos sobredimensionar el transformador de forma que soporte la pérdida añadida por dichas corrientes.

Se define el factor de desclasificación (K-factor), según las corrientes armónicas, de forma que indica el incremento de pérdidas:

$$K = \sum_{1}^{\max} h^2 \cdot \left(\frac{I_h}{I} \right)^2 \qquad [23]$$

- h: orden del armónico.
- I_h: corriente eficaz total del armónico h.
- I: valor eficaz total de la corriente.

Se define el factor de desclasificación (factor K), según las corrientes armónicas, de manera que las pérdidas totales en la carga armónica no superen las pérdidas de frecuencia fundamental:

$$K = \sqrt{\left[1 + \frac{e}{1+e} \cdot \left(\frac{I_1}{I} \right) \cdot \sum_{1}^{\max} \left(h^q \cdot \left(\frac{I_h}{I_1} \right)^2 \right) \right]} \qquad [24]$$

- e: cociente de las pérdidas por corrientes parásitas divididas por las pérdidas óhmicas, ambas a la temperatura de referencia.
- h: orden del harmónico
- I: valor eficaz total de la corriente
- I_h: corriente del armónico h.
- I_1: corriente de la fundamental
- Q: constante exponencial que depende del tipo de arrollamiento y de la frecuencia. Los valores típicos son 1,7 para transformadores con conductores de sección circular o rectangular en ambos arrollamientos y 1,5 para transformadores con arrollamientos de conductores de lámina.

Se trata de dos factores que dan cuenta del sobredimensionado de la potencia nominal del transformador para mitigar el efecto de los armónicos a lo largo de su vida útil. Algunos tipos de conexión de transformadores permiten suprimir ciertos niveles de armónicos:

- Conexión Dyd: elimina armónicos de orden 5 y 7.

Figura 5.1. *Transformador con conexión Dyd*

- Conexión Dy: elimina armónicos de orden 3.
- Conexión Dz5: elimina armónicos de orden 5.

5.3. Actuación sobre el cableado

Existen diferentes posibilidades de recableado para la reducción de los efectos de una mala calidad del suministro eléctrico. A continuación se presentan aquellas actuaciones útiles en el caso de tener armónicos en la distribución:

5.3.1. Aumento del nº de conductores por fase

Para evitar el aumento del efecto pelicular, que se ve amplificado a partir del armónico 7, es aconsejable la utilización de varios cables por fase de forma equilibrada, ya que con el aumento de la sección continuaría existiendo dicho defecto.

5.3.2. Aumento de la sección del neutro

Con la presencia de armónicos es necesaria la utilización adecuada del neutro para que sea capaz de conducir correctamente las corrientes de manera que en ciertos casos es necesario que también esté protegido.

5.3.3. Recableado completo y TN-S

Los sistemas de distribución TN-C, en los que se unifican las funciones de neutro y cable de protección en un único conductor llamado PEN, están demostrando que son una mala aplicación. Actualmente se sustituyen por el sistema TN-S ya que mejora aspectos de compatibilidad electromagnética. Al instalar un cable de protección, estamos introduciendo un circuito de baja impedancia por el cual irán las corrientes de distorsión y fuga, asegurando de esta manera que el cable de neutro cumple únicamente con sus funciones como tal.

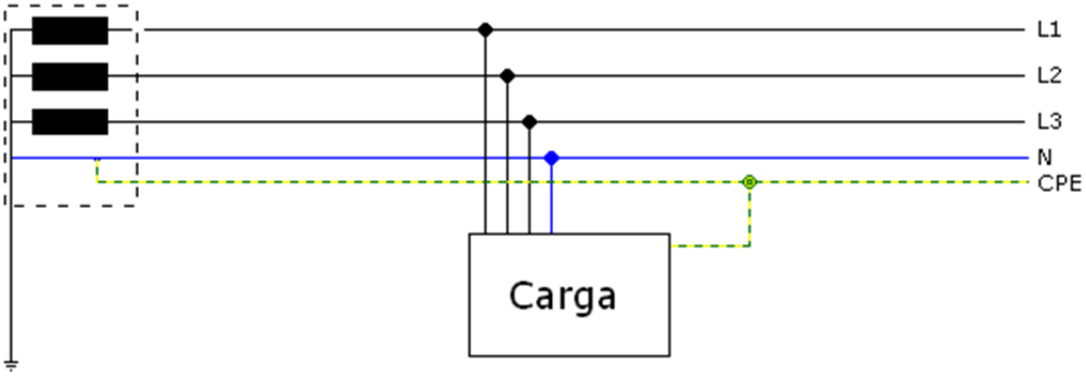


Figura 5.2. *Conexión a tierra TN-S*

5.4. Filtrado de armónicos

En el caso de que las acciones preventivas explicadas anteriormente sean insuficientes, es necesario equipar la instalación distorsionada con dispositivos de filtrado con compensación reactiva o sin ella.

Se pueden considerar los siguientes dos dispositivos de filtrado dependiendo de si su utilización se realiza con componentes pasivos o bien activos:

5.4.1. Filtro pasivo

Los filtros pasivos están compuestos únicamente de componentes pasivos utilizados para la cancelación de la energía reactiva y la distorsión armónica.

Para la compensación reactiva de carácter inductivo se trata de la conexión en paralelo de condensadores a la blindo barra de alimentación de las cargas, cuya capacidad varía de forma escalonada para adaptarse al consumo variable de energía reactiva.

Cuando la presencia de armónicos es elevada, se minimiza la circulación de corriente por el sistema capacitivo de compensación. Consiste en la instalación de una inductancia serie a los condensadores de forma que la frecuencia de resonancia del conjunto L-C no coincida con ningún armónico posible (en red de 50 Hz se adopta un valor de 189 Hz o 192 Hz).

Si además es necesaria la eliminación del nivel de armónicos de las cargas, se facilita el paso de la distorsión a través de caminos de baja impedancia o se impide su paso a partir de altas impedancias.

Los filtros pasivos pueden ser, según la necesidad:

- Filtros serie.

Evitan el paso de una componente de frecuencia particular, desde la carga emisora o parte del sistema de alimentación, mediante la instalación de una gran impedancia serie a la frecuencia específica.

- Filtros paralelos o shunt.

Proveen un paso alternativo de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas, consistiendo en una rama resonante serie, compuesta por elementos RLC en conexión paralela con el sistema de alimentación.

El filtrado paralelo es más económico, solo transporta corrientes armónicas de orden igual al diseñado y proporciona parte de potencia reactiva al sistema.

Existen dos tipologías de filtros paralelos: el filtro sintonizado y el filtro paso alto. Debido a que el filtro paralelo paso alto tiene un factor de calidad bajo, además de originar problemas de resonancia paralela, pérdidas resistivas elevadas y necesidad de ser diseñado para mayor potencia reactiva; a continuación se explica el filtro sintonizado y su proceso de cálculo:

- Filtro sintonizado simple.

Elimina una armónica determinada consistiendo en una batería de condensadores en serie con un inductor.

$$\omega_h = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot h \qquad [25]$$

- h: armónico a eliminar.
- ω: frecuencia angular.
- f: frecuencia fundamental.

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{|V|^2}{Q_c} \qquad [26]$$

- X_c: reactancia capacitiva.
- Q_c: potencia reactiva que suministrará el filtro en cada rama.
- V: tensión nominal.

$$C_F = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} \qquad [27]$$

$$L_F = \left[\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sqrt{C_F}} \right]^2 \qquad [28]$$

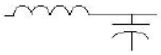
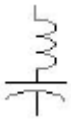
$$X_{Lh} = \omega_h \cdot L_F \qquad [29]$$

$$R_F = \frac{X_{Lh}}{Q} \qquad [30]$$

- C_F: capacitancia del filtro.
- L_F: inductancia del filtro.
- Q: factor de calidad del filtro.
- R: resistencia interna del inductor.
- X_{Lh}: reactancia inductiva del filtro.

El filtro se sintoniza a la frecuencia armónica, h determinada a eliminar, de manera que para dicha frecuencia las reactancias capacitivas e inductivas son iguales y se anulan, así el filtro absorberá la corriente armónica contaminante causando únicamente las pérdidas de la resistencia.

Tabla 5.1. *Comparación de filtros pasivos según tipo de instalación*

Tipo	**Filtro armónico Pasa bajos**	**Filtro armónico Serie**	**Filtro armónico Paralelo**	**Reactancia Serie**
Instalación				
Frecuencia filtrada	- Todas las frecuencias de armónicos.	- Frecuencia específica de armónico.	- Frecuencia específica de armónico.	- Todas las frecuencias de armónicos.
Ventajas	- Minimiza todas las frecuencias. - Armónicos desde la carga hasta la fuente AC. - No introduce resonancia. - No importa armónicos de otras fuentes. - No requiere análisis de potencia del sistema. - Mejora el factor de potencia y el coseno de fi.	- Alta impedancia de filtrado. - Utilizado para el armónico 3 de una única fase. - No introduce resonancia. - No importa armónicos de otras fuentes. - No requiere análisis de potencia del sistema. - Mejora el factor de potencia y el coseno de fi.	- Baja impedancia de filtrado. - Armónicos desde la carga hasta la fuente AC. - Muy efectivo para el armónico determinado. - Solamente diseñado para la corriente del armónico. - Mejora el factor de potencia y el coseno de fi.	- Bajo coste. - Mejora coseno de fi. - Pequeño tamaño. - No importa armónicos de otras fuentes. - No introduce resonancia. - Protege frente a perturbaciones de alta tensión.
Inconvenientes	- Debe manejar la máxima corriente de carga. - Únicamente cargas no lineales.	- Debe manejar la máxima corriente de carga. - Poco eficaz si no se ajusta al armónico determinado. - Únicamente cargas no lineales.	- Solo filtra un armónico determinado. - Puede crear resonancia. - Puede importar armónicos de otras fuentes. - Varios filtros para obtener un mayor rango de eliminación. - Requiere un análisis inicial para su diseño.	- Debe manejar la máxima corriente de carga. - La mejor reducción de armónicos es a niveles del 30 – 40%. - Reduce ligeramente el factor de potencia.

5.4.2. Filtro activo

Los filtros activos son sistemas automáticos de compensación de armónicos y energía reactiva que se adaptan en función de las variaciones que se produzcan en el suministro.

Este filtrado está formado por convertidores estáticos de la energía, conectados a la carga contaminante en serie o paralelo, que actúan como fuente de tensión y corriente, anulando instantáneamente los armónicos mediante algoritmos de control. Además, tienen la capacidad de compensar la energía reactiva, equilibrar las corrientes de fase y cancelar la corriente del neutro.

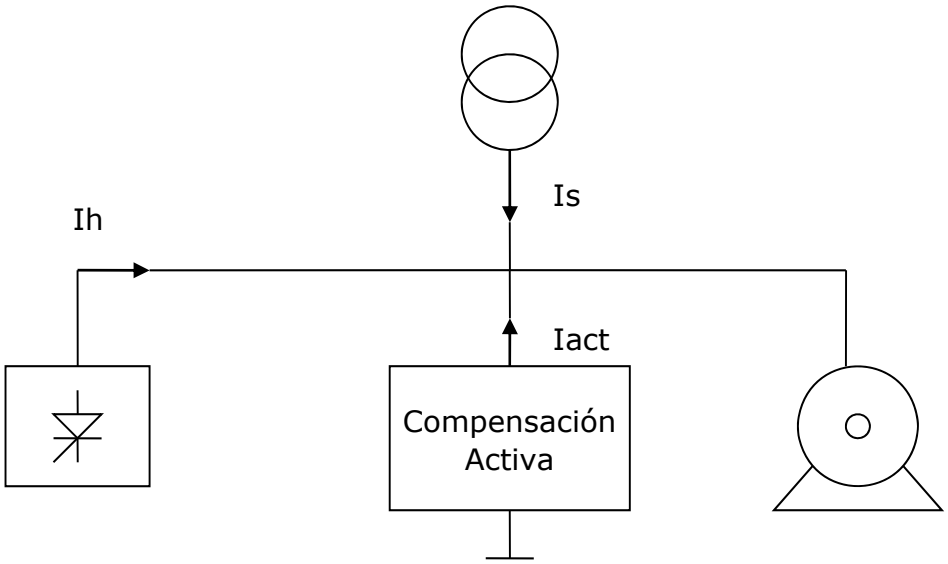


Figura 5.3. *Conexión del filtrado activo*

Para el funcionamiento de estos dispositivos es necesaria la medición de los niveles de tensión y corriente distorsionada en el punto de conexión, luego el sistema consigue la compensación mediante la inyección de corrientes armónicas iguales a las producidas en el sistema, pero de sentido inverso. De esta forma se consigue la reducción o eliminación de la distorsión y la compensación del factor de potencia aguas arriba del punto de conexión del filtro. Su mayor problema es el elevado coste a causa de sus componentes y el control.

5.4.3. Compensación reactiva SAH

En las baterías automáticas de compensación reactiva la potencia suministrada por el equipo es modificada, en función de la variación del factor de potencia del sistema, mediante la conexión-desconexión de los diferentes escalones, a través del regulador de potencia reactiva.

En instalaciones con elevado nivel de armónicos, dichas baterías son reforzadas mediante condensadores de tensión superior a la nominal de la instalación, fusibles de protección normalizados a la corriente máxima del conductor y reactancias inductivas antiarmónicos conectadas en serie con cada uno de los escalones.

El valor inductivo de estas reactancias es calculado por el fabricante para una frecuencia inferior a la de resonancia de la batería y para cada tipo de

condensadores en función su potencia. Normalmente esta frecuencia se toma inferior al 5º armónicos (189 Hz) e igual a una frecuencia donde no se produzcan armónicos, de forma que se crea un filtro de rechazo para todo el abanico de armónicos por encima del 5º.

El propósito del filtro antiarmónicos es evitar la sobrecarga de la batería creando un camino de alta impedancia en la rama y desviando la distorsión hacia la red.

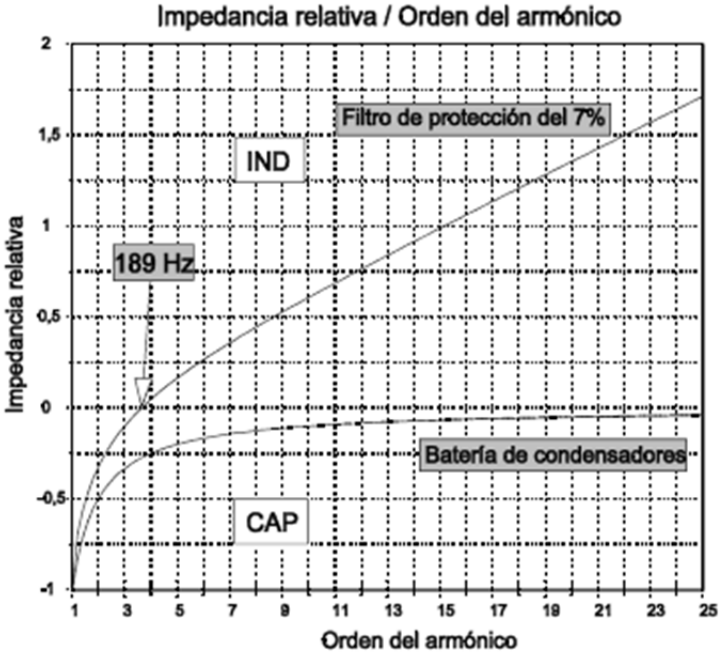


Figura 5.4. *Impedancia relativa de una batería de condensadores*

CAPÍTULO 6: MEDICIÓN Y EQUIPOS

En el siguiente capítulo se explica la problemática que surge en la monitorización de instalaciones eléctricas industriales para la identificación de las causas que originan una deficiencia en la calidad del suministro eléctrico, se definen los instrumentos de medición utilizados, así como su tipología de medición, y se expone la estructura considerada en el estudio de armónicos de la instalación objeto del proyecto.

6.1. Procedimiento de análisis

La siguiente estructura de análisis ha sido adecuada a las necesidades y posibilidades de SEAT Martorell. Se trata de una metodología de estudio de calidad eléctrica aplicable a instalaciones eléctricas en producción constante, lo que impide la posibilidad de realizar mediciones a diferentes regímenes de trabajo diferentes a los que determina dicha producción.

Pese a esto, actualmente la factoría se encuentra en máximos de producción, lo que permite la identificación de los efectos, que aparecen con máxima carga del sistema, producidos por distorsión armónica y la mitigación a niveles de una normativa creada para condiciones máximas desfavorables.

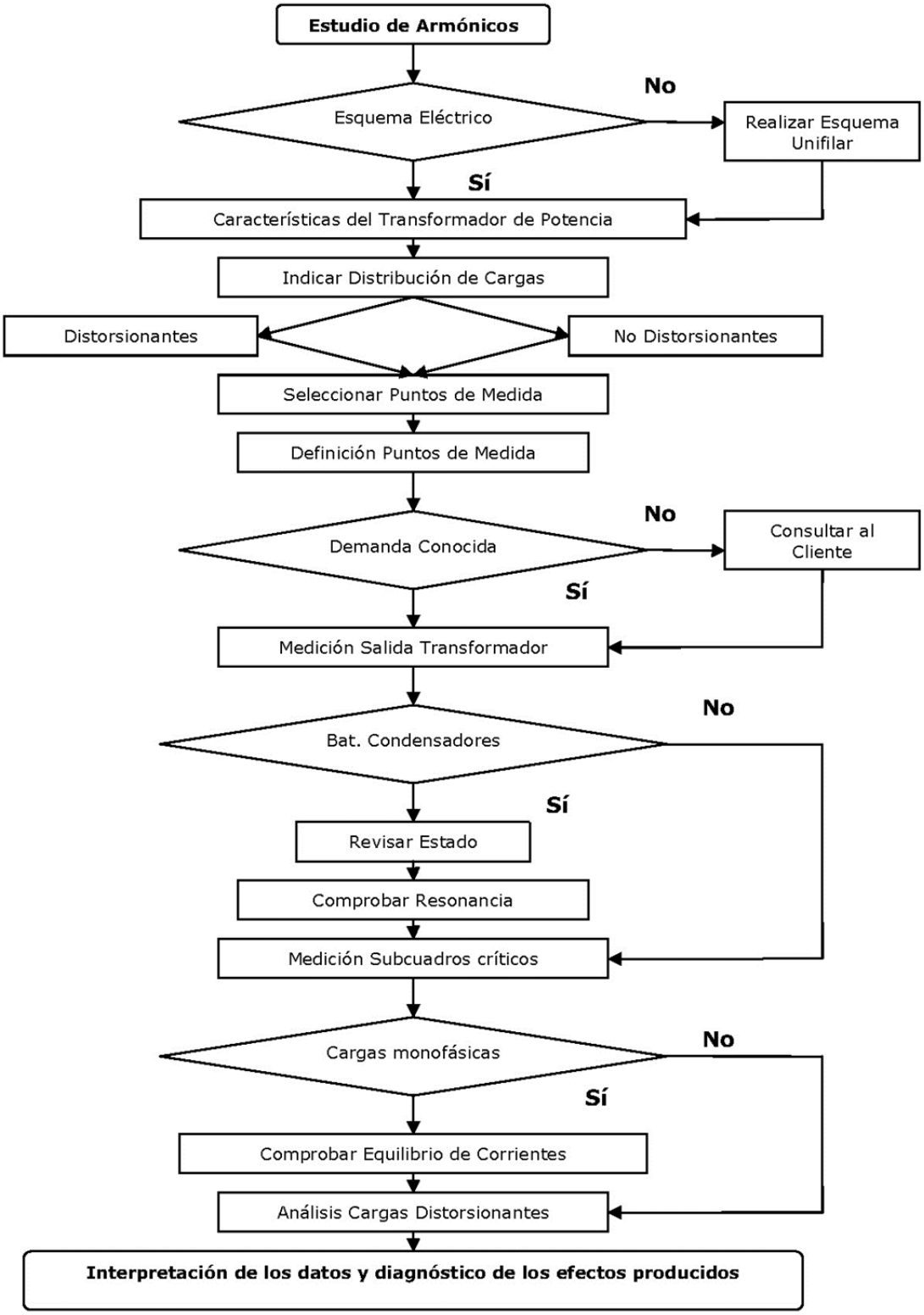


Figura 6.1. *Procedimiento de estudio de armónicos*

6.2. Medición eficiente

A la hora de realizar un estudio de calidad de la energía eléctrica, aparecen diferentes necesidades con las que no se cuenta inicialmente. Desde un primer momento se plantea la necesidad de realizar dicho estudio, la mayoría de veces sin necesidad alguna ya que no existen síntomas de distorsiones a primera vista.

Se parte, entonces, de una tipología de perturbación de la cual hay sospechas de que existe, de la motivación de cumplir alguna normativa o simplemente se realiza un mantenimiento preventivo.

El punto inicial de medida siempre es tomado como el punto de conexión común, ya que es el lugar donde la compañía suministra la energía eléctrica a la industria. La electricidad que llega a ese punto cumple con la normativa en cuanto a niveles de distorsión y, por lo tanto, es posible detectar que la instalación está generando armónicos si la señal en dicho punto no respeta los límites. A partir de ahí será necesario conocer la instalación y decidir el resto de puntos a medir en función de las características.

Los instrumentos de registro actuales permiten realizar diferentes tipos de análisis y existe una gran variedad en el mercado. Decidir cuál es el conveniente dependerá de las necesidades o simplemente de las posibilidades, en cualquier caso es necesario que éste realice medidas en verdadero valor eficaz.

Una vez elegidos los instrumentos de medida, será necesario decidir los tiempos de análisis del aparato. En función del tiempo de medición obtendremos mayor precisión de la forma de onda en el caso de realizar mediciones breves, o mayor tiempo de medición si alargamos el paso de cálculo. El paso de cálculo se elegirá en función del tipo de estudio y consideraciones técnicas.

Una vez planteado el problema es momento de pasar al propio estudio.

6.3. Equipos de medida

La medida de armónicos se realiza con distintas tipologías de equipos que analizan la señal, tanto de tensión como de corriente, y efectúan un espectro de los distintos órdenes de armónicos.

Se trata de la visualización de la serie de Fourier de la onda. Además se indica la tasa de distorsión total e individual de cada armónico de tensión y corriente.

6.3.1. Verdadero valor eficaz

Con mucha frecuencia se producen mediciones inferiores al valor real. Esto es debido a la utilización de instrumentación no preparada para medir corrientes distorsionadas. Estas distorsiones son generadas por la presencia de armónicos y, por lo tanto, son necesarios equipos que puedan medir tensiones y corrientes no sinusoidales, es decir equipos de verdadero valor eficaz.

El valor eficaz de corriente alterna es el valor de corriente continua equivalente que produciría la misma cantidad de calor en una carga resistiva. De tal manera,

el valor de corriente es igual a la media cuadrática de valores de corriente a lo largo del tiempo.

Se define el factor de pico como la relación del valor de pico de una onda entre el valor eficaz. De igual modo, se define el factor de forma como la relación del valor eficaz entre el valor medio.

Los instrumentos de medición analógicos toman el valor medio de la onda y lo multiplican por el factor de forma para obtener el valor eficaz. Este método es incorrecto para ondas no sinusoidales, ya que introduce mediciones muy inferiores a la real, tal como muestra la figura 6.2.

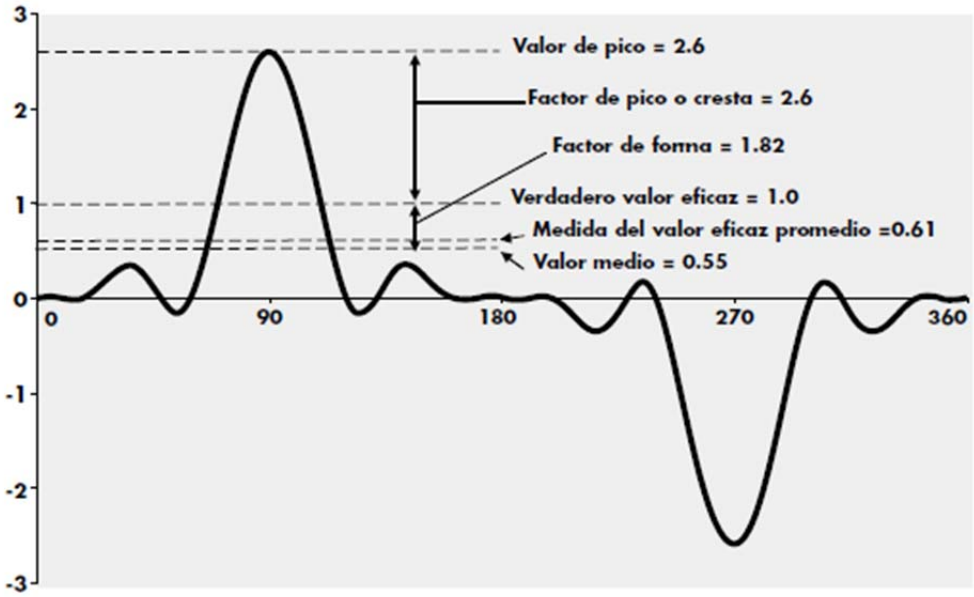


Figura 6.2. *Forma de onda típica de ordenadores*

En cambio un polímetro de verdadero valor eficaz (TRMS) realiza la medida del cuadrado del valor instantáneo de la corriente de entrada, calculando la media con respecto al tiempo y mostrando la raíz cuadrada de la medición. No obstante hay que tener en cuenta un posible error debido a la respuesta de frecuencia y el factor de pico o cresta, para ello se utilizan instrumentos con un rango de hasta el 50º armónico y un factor de cresta igual a tres.

Tabla 6.1. *Diferencia de medida entre un aparato RMS y uno TRMS*

Tipo de multímetro	Onda senoidal pura	Onda cuadrada	Diodo rectificador monofásico	Diodo rectificador trifásico
Forma de onda				
RMS de valor promedio	Correcto	10% más alto	40% más bajo	5-30% más bajo
TRMS de verdadero valor eficaz	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Una mala medición de corrientes puede llevar a la mala instalación de protecciones y a una selección incorrecta de la sección de los conductores, lo que puede causar saltos intempestivos o calentamiento en la instalación.

6.3.2. Registrador trifásico FLUKE 1735

Para la realización de las mediciones en la instalación del taller 01 de chapistería se ha utilizado un registrador de redes marca Fluke, modelo 1735.

Figura 6.3. *Registrador trifásico FLUKE 1735*

El Fluke 1735 permite realizar estudios de energía eléctrica, mediciones de parámetros eléctricos y calidad eléctrica, además de realizar análisis de armónicos. El registrador está equipado con sondas de corriente y pinzas de tensión. A partir de la selección del paso de cálculo es posible realizar registros de hasta 60 días.

Tabla 6.2. *Especificaciones técnicas del FLUKE 1735*

Especificaciones		
General	Velocidad de muestreo	10,24 kHz
	Frecuencia de línea	50 o 60 Hz
Condiciones ambiente	Temp. Funcionamiento	-10º C a +50º C
	Temp. Trabajo	0º C a +40º C
EMC	Emisiones	IEC/EN 61326-1:1997 clase B
	Inmunidad	IEC/EN 61326-1:1997
Medida en tensión	Tensión en estrella	57 V a 480 V CA
	Tensión en delta	100 V a 830 V CA
	Error intrínseco	± (0,2% del valor medido + 5 dígitos)
	Error de funcionamiento	± (0,5% del valor medido + 10 dígitos)
	Resolución	0,1 V
Medida en corriente	Corriente	15 A/ 150 A/ 3000 A
	Error intrínseco	± (0,5% del valor medido + 10 dígitos)
	Error de funcionamiento	± (1% del valor medido + 10 dígitos)
	Resolución	0,01 A
Medida de potencia	Error intrínseco	± (0,7% del valor mostrado + 15 dígitos)
	Error de funcionamiento	± (1,5% del valor medido + 20 dígitos)
	Resolución	1 kW
PF	Rango	De 0,000 a 1,000
	Resolución	0,001
	Precisión	±1% del valor máximo de la escala
Armónicos	Rango	Hasta el armónico 50º (< 50% de la tensión nominal)
Precisión	Vm, Im, THDV, THDI	IEC 61000-4-7:2002, Clase II

CAPÍTULO 7: ESPECIFICACIONES BÁSICAS

A continuación se explican las necesidades generales del proyecto, se describe el sistema eléctrico objeto del estudio y la finalidad de la instalación a realizar.

7.1. Generalidades

Se solicita al proveedor el desarrollo, instalación, seguimiento y puesta en marcha del proyecto descrito a continuación para la organización y preparación, en previsión de su realización, del sistema de filtrado de armónicos en el taller 01 de chapistería de Martorell.

Deben respetarse las exigencias reflejadas en este proyecto. Dicha instalación se desarrollará de acuerdo a la normativa y en estado de quedar incorporada al proceso productivo. Finalizará debidamente terminada y probada, incluyendo el correspondiente proceso de puesta en servicio y cumplimentando la documentación específica pertinente.

Los datos y premisas expuestos en el presente documento deberán utilizarse como base de partida de cálculos y evaluaciones para el desarrollo de la instalación.

El proveedor encargado de la ejecución deberá desarrollar la totalidad del proyecto, teniendo en cuenta que éste deberá ser aprobado por los departamentos técnicos, antes de la realización del montaje.

7.2. Descripción del sistema

El parque de distribución eléctrica de Abrera está conectado a la red eléctrica y alimenta las poblaciones de Rubí y Pobla. En esta subestación se alimentan las dos blindo barras de las cuales cuelga toda la alimentación de la fábrica SEAT. Además la fábrica dispone de otra blindo barra utilizada para aislar sectores en caso de averías.

En el caso del taller 01, todos los transformadores están alimentados por dichas barras. Una de ellas pasa por el lado suroeste del taller mientras que la otra atraviesa el lado noreste del taller.

Una vez dentro del taller encontramos los transformadores industriales en la zona penthouse, distribuidos en 6 nuevos blindo barras.

7.2.1. Distribución de blindo barras

A continuación se numeran cada una de las blindo barras y sus transformadores:

- BLINDO DE 660 V HSS-1 A/B
  - Transformador 10S1
  - Transformador 10S11
- BLINDO DE 400 V HSA-1 A/B
  - Transformador 102
  - Transformador 1022
  - Transformador 12
- BLINDO DE 660 V HSS-2 A/B
  - Transformador 10S3
  - Transformador 10S23
- BLINDO DE 400 V HSA-2 A/B
  - Transformador 140
  - Transformador 14
  - Transformador 104
  - Transformador 1014
- BLINDO DE 660 V HSS-3 A/B
  - Transformador 10S5
  - Transformador 10S25

- BLINDO DE 400 V HSA-3 A/B
  - Transformador 106
  - Transformador 1026
  - Transformador 1016
  - Transformador 16

7.2.2. Transformadores con salida 400 V

El sistema eléctrico del taller 01 de chapistería está formado por seis blindo barras. Tres de ellos alimentan equipos de soldadura, los otros tres alimentan oficinas, equipos electrónicos, motores e iluminación.

Cada blindo barra está alimentado por dos transformadores de igual tipología y potencia, conectados a principio y final del taller, en algunos casos se han introducido transformadores auxiliares de sustitución en caso de avería.

Los transformadores de 400 V en el secundario son aquellos que alimentan las cargas de tipología diversa, exceptuando soldadura, y tienen las características que aparecen en la tabla 7.1.

Tabla 7.1. *Ficha técnica Transformador 400 V*

Transformador Trifásico GEAFOL				
Tipo: TG 6244 D		Nº: K7 3432-5	DIN VDE 0532	
Potencia nominal:		1600 kVA	Año:	1991
Ten-dis.	20000 V	400 V	Frec.-dis:	50 Hz
			Grupo conex.	Dyn 5
			Cl. Refrig.	AN
			Cl. de prot.	IP00
			Peso total	4,70 t
Intensidad-dis:	46,2 A	2309 A		
Um	24/1,1 kV	Nivel aisl.		LI 95 - AC 50 / AC 3
Cortocirc.	6%	Max. durac. Cortocirc.		3 s
Icc	77 kA	Clase térm. TS/TI		B/F
Duración de la carga 0,15 x Sn; Carga adicional I = 8 kA;				
Para 0,5 s; Intervalo de trabajo: 10 s				

7.2.3. Transformadores con salida 660 V

Los transformadores de 660 V en el secundario son aquellos que alimentan la soldadura de los brazos robotizados. Tienen las características que aparecen en la tabla 7.2.

Tabla 7.2. *Ficha técnica Transformador 660 V*

Transformador Trifásico ABB			
Tipo: GTR 2.8 – 21 / 1	Nº: 1247 658	DXH VDE 0532	
Potencia nominal:	2800 kVA	Año:	1991
Ten-dis. 20000 V	700 V	Frec.-dis:	50 Hz
		Grupo conex.	Dyn 5
		Cl. Refrig.	AN
		Cl. de prot.	IP00
		Peso total	8,61 t
Intensidad-dis: 80,8 A	2309,4		
Um 24 / 1,1 kV	Nivel aisl.	LI 95 AC 50 / AC 3	
Cortocirc. 4 %	Max. durac. Cortocirc.	3 s	
Icc 202 kA	Clase térm. OS/US	F/F	
Intervalo de trabajo: 10 s: 9,5 s. 346 A (420 kVA) + 0,5 s. 8000 A (9700 kVA)			

Debido a las exigencias técnicas de SEAT, dichos transformadores no serán compensados ni se filtrará su señal en ninguno caso.

7.2.4. Batería de condensadores

Cada transformador (línea 400 V) lleva conectado en paralelo una batería de condensadores automática, encargada de regular el factor de potencia generado por las diferentes cargas de la instalación. La tabla 7.3 define las características de dichas baterías, que están instaladas de forma estandarizada para toda SEAT.

Tabla 7.3. *Ficha técnica batería de condensadores*

Batería automática de compensación reactiva AEG		
Tipo:	NKO 6-1/3	
Qc:	6 canales de 50 kVAr	
Tensión de servicio:	400 V	50 Hz
Tensión de aislamiento:	690 V	50 Hz
Corriente nominal:	433 A	
Corriente de cortocircuito con protección por fusibles:	110 kA	
Protección IP	33	

7.2.5. Cuadros eléctricos

A lo largo del taller se distribuyen las cargas, según tipología, en una serie de cuadros eléctricos o en otros. Además, se estructuran en islas de trabajo, de manera que cada cuadro alimenta un conjunto de cargas localizadas en un mismo espacio común.

- KV

Se trata de cuadros eléctricos de baja potencia, con corriente máxima de 160A, encargados de la alimentación de los siguientes equipos:

- Tomas de corriente.
- Controles de acceso.
- Grúas.
- Elevadores.
- Servomotores.
- Oficinas.
- Cuadros de control.
- Climatizadores.
- Calefactores de masilla.
- Láseres de medición.
- Destornilladores.

- KAV

Se trata de cuadros eléctricos de potencia elevada, con corriente máxima de 400A, encargados de la alimentación de los siguientes equipos:

- Variadores de frecuencia.
- Rectificadores.
- Iluminación.
- Extractores.
- Motores de 30 CV.

- KSV

Se trata de cuadros encargados de la alimentación de la soldadura. Están dispuestos de tal manera que cada uno de ellos alimenta una isla, independiente, de trabajo. Estas islas de trabajo están formadas por diferentes brazos robotizados, los cuales incorporan una pinza de soldadura en sus extremos.

7.3. Finalidad de la instalación

Se pretende dotar de un sistema de filtrado de armónicos, basado en la eliminación de los efectos de resonancia de la instalación y disminución de la tasa de armónicos, tanto de tensión como de corriente.

Los objetivos son:

- Eliminar el efecto de resonancia.
- Disminuir la tasa de armónicos.
- Aumentar la potencia máxima disponible de los transformadores.
- Reducir el efecto de las perturbaciones en el sistema productivo.
- Reducir los costes producidos por la distorsión armónica.

CAPÍTULO 8: ANÁLISIS Y SOLUCIÓN

El siguiente capítulo describe el análisis previo, realizado en la instalación, para la elaboración adecuada de las soluciones. A continuación se muestran los datos obtenidos en el transformador estudiado como modelo de todo el taller, así como el estudio de diferentes cuadros conectados a éste. Finalmente se exponen las soluciones concluyentes de este estudio.

8.1. Descripción del estudio realizado

Para el análisis de armónicos de la instalación se han seguido las conexiones y mediciones siguientes:

- Conexión del registrador de redes al punto común de conexión, salida del transformador.
- Análisis de armónicos durante 2h 24 min.
- Análisis de potencia y energía durante 2h 24 min.
- Medición del THD (I) de diferentes cuadros con cargas distorsionantes.

El tiempo y el momento de la medición se ha elegido con relación al tiempo de producción máxima más el tiempo de descanso (hora del almuerzo), momento en el cual disminuye parte del consumo eléctrico, no en su totalidad ya que el proceso del taller 01 está automatizado en su mayor parte. La producción de este taller puede tomarse como constante a lo largo del año.

Una vez realizadas las mediciones se procede con el análisis de los datos obtenidos y se comparan los niveles de distorsión con los marcados por la normativa UNE 61000. Además se analiza la situación del transformador y la batería de condensadores.

8.2. Análisis de armónicos

A continuación se realiza el análisis de armónicos por equipos y cuadros eléctricos del taller 01 de chapistería, blindo barra HSA 3B:

8.2.1. Secundario transformador 1026

A partir de los datos de la medición realizada el 29 de Septiembre de 2011, en la salida del transformador 1026 que alimenta el blindo barra de 400 V tramo 3B, de potencia y características idénticas al transformador 106 que alimenta el tramo 3A (parte opuesta del mismo blindo barra), se realiza el siguiente análisis de distorsión armónica. Todos los resultados obtenidos, a los cuales hace referencia este análisis, aparecen en el anexo I del proyecto.

Ambos transformadores están conectados, al blindo barra, en paralelo y alimentan todas las cargas que cuelgan de éste. De esta manera se reparten la potencia en cantidades similares, únicamente diferenciadas por la tolerancia en la impedancia de las fuentes, debido a la fabricación.

La medición se ha realizado de 8:45 a 11:15 horas, intervalo en el cual está incluido el descanso de los operarios que realizan las operaciones productivas del taller. El descanso se efectúa de 10 a 10:30 horas y es repetido en los tres turnos productivos que se realizan a lo largo de una jornada, es decir cada 8 horas, además existen otros 3 descansos a causa del cambio de turno.

En la figura AI.1 (del anexo) se observa, a primera vista, que las tres fases mantienen valores de tensión iguales a lo largo del tiempo, aunque existe un pequeño desequilibrio cercano al 1%. Además, pese a la fluctuación de tensión que se observa, cercana al 2% del valor nominal a lo largo del tiempo, ésta está dentro de los márgenes de la curva CBEMA. La figura AI.5 muestra cierta desviación, del valor promedio de la tensión a lo largo de la medición, a valores superiores a la tensión nominal.

En la figura AI.2 se aprecia un pequeño desequilibrio en corriente, aproximadamente del 3%, causado por el reparto de cargas monofásicas a lo largo de la instalación. Se considera asimilable por el sistema, ya que circula un valor medio aproximado de 40 A por el conductor neutro, valor muy por debajo de la corriente máxima admisible por el conductor.

La figura AI.4 muestra que la frecuencia varía a lo largo de la actividad productiva. No obstante, dicha variación no supera el 2% del valor nominal marcado por la norma UNE-EN 61000-2-2.

Al realizar el análisis de armónicos con el registrador de redes se ha obtenido la gráfica mostrada en la figura AI.6. Esta gráfica muestra la variación de la distorsión total de armónicos, en tensión, a lo largo del intervalo de medición. En la gráfica se observa una variación comprendida entre el 5%, como valor mínimo de distorsión, y el 8,5%, como valor máximo. Estos valores de distorsión son elevados ya que se aconseja, por normativa, que sean inferiores al 5%, por lo tanto será necesaria la reducción de su valor con el fin de alcanzar valores por debajo de dicho límite.

Las tablas 8.1 y 8.2 muestran la tasa de distorsión máxima para cada armónico, comprendido entre el 2º y el 25º, que compone la onda de tensión y corriente.

Tabla 8.1. *HD (U) secundario Trafo-1026*

Armónico (h)	HD(U)% por fase
THD	8,50
2	0,08
3	0,60
4	0,03
5	7,20
6	0,09
7	3,00
8	0,05
9	0,60
10	0,00
11	2,00
12	0,00
13	0,50
14	0,00
15	0,15
16	0,00
17	0,60
18	0,00
19	0,45
20	0,00
21	0,15
22	0,00
23	0,30
24	0,00
25	0,20

En la tabla se observa que el 5º armónico supera el valor exigido por las normas UNE-EN 50160 y 61000-2-4. Además aparecen armónicos pares que, aunque estén por debajo de los límites exigidos, confirman que la onda de tensión no es totalmente simétrica.

Tabla 8.2. *HD (I) secundario Trafo-1026*

Armónico (h)	HD(I)% por fase	HD(I)% del neutro
THD	25,0	99,5
2	0,64	13,5
3	4,50	1050
4	0,22	0,50
5	22,5	190
6	0,23	0,00
7	11,5	90,0
8	0,16	0,00
9	2,25	300
10	0,13	0,00
11	5,00	170
12	0,10	0,00
13	3,20	50,0
14	0,00	0,00
15	0,80	120
16	0,00	0,00
17	0,60	40,0
18	0,00	0,00
19	1,20	15,0
20	0,00	0,00
21	0,30	20,0
22	0,00	0,00
23	0,20	10,0
24	0,00	0,00
25	0,15	10,0

En algunos casos aparecen niveles de distorsión en corriente elevados, no obstante, para el caso del transformador, nos interesa la adecuación de los niveles de distorsión en tensión de forma que el suministro sea igual al que ofrece la compañía distribuidora y reducir, de esta manera, los efectos negativos en las cargas sensibles. Cabe aclarar que los límites de corriente exigidos por la normativa se refieren a las emisiones de los equipos, límites que son asegurados por el fabricante. Por lo tanto, el exceso de corriente distorsionada que aparece en el secundario del transformador es debida, en parte, a la suma de todos los equipos conectados al blindo barra.

Tras el análisis del transformador se concluye que éste presenta un factor-K de desclasificación de 1,102, de manera que, actualmente, solo es posible demandar una potencia máxima de 1451,91 kVA. De esta manera se asegurará

que el transformador no sufre ningún problema de saturación o degradación prematura de sus componentes. Actualmente, la corriente máxima demandada está siendo de 1600 A, de forma que el transformador está proporcionando 1108,5 kVA y no supera dicho límite.

Además, el transformador presenta un K-factor de desclasificación de 3,302, de forma que las pérdidas por efecto Joule teóricas están siendo un 3,3% superiores a las que solo generaría la frecuencia fundamental.

8.2.2. Batería de condensadores

A partir de la medición realizada el 6 de octubre de 2011, a las 12:00 horas en el Trafo-1026, se realiza el siguiente análisis de la compensación reactiva realizada por la batería de condensadores conectada a dicho transformador.

Como se observa en la figura 8.1, al desconectar la batería de condensadores a las 12:20 horas, aproximadamente, se produce un aumento de la potencia reactiva reduciendo, así, la potencia total suministrada por el transformador. Esto indica que la compensación, instalada actualmente, es correcta.

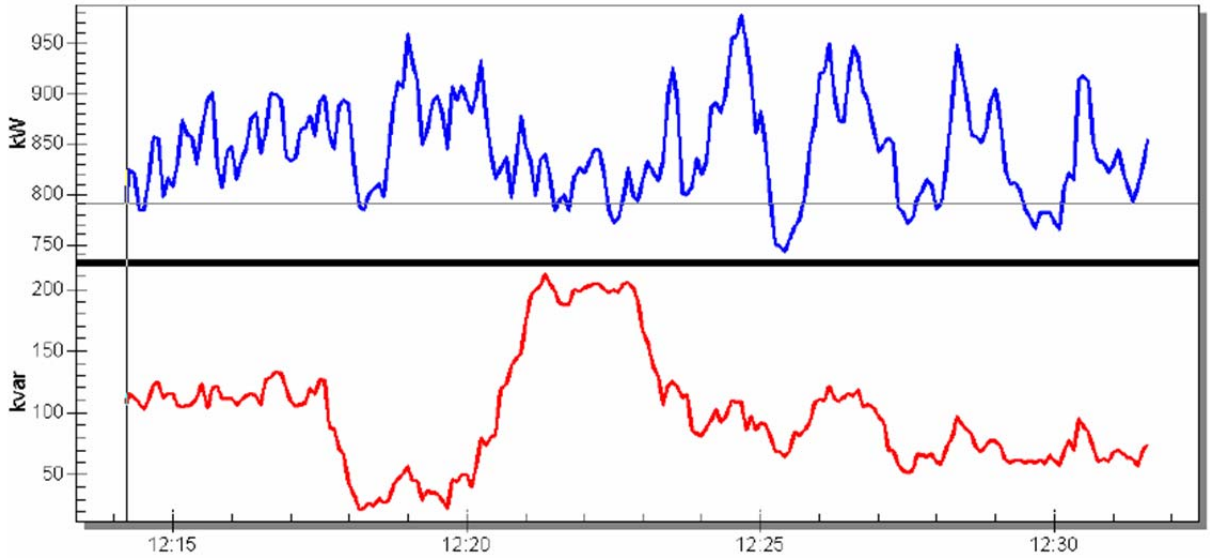


Figura 8.1. *Variación de reactiva al desconectar la batería de condensadores*

Se trata de una batería de condensadores automática de seis canales de 50kVAr, de manera que conecta los diferentes condensadores con el fin de asegurar un factor de potencia próximo a 1.

La figura 8.2 muestra una variación en las THD de tensión y corriente, disminuyendo con la desconexión de la batería de condensadores y aumentando un máximo del 56%, del THD en tensión, al conectarla. Esto indica que la batería está en resonancia con alguno de los armónicos. En concreto, tomando la impedancia de red como inductiva pura, el armónico de resonancia calculado es próximo al 9º, es decir de frecuencia 450 Hz.

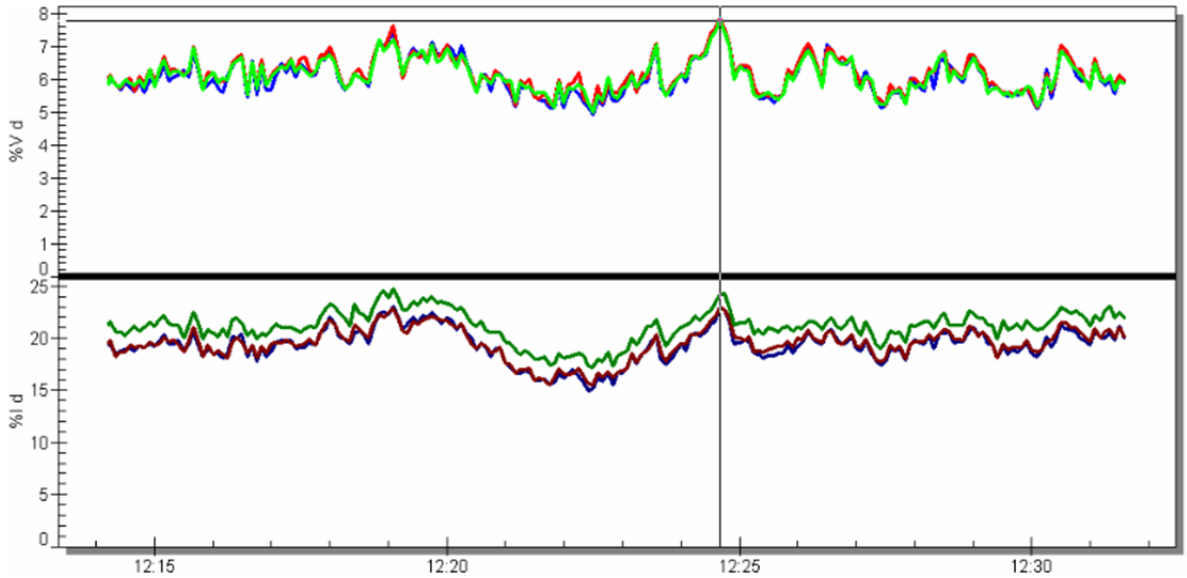


Figura 8.2. *Variación del THD al desconectar la batería de condensadores*

8.2.3. Cuadros eléctricos

A partir de las mediciones realizadas el 24 de octubre de 2011, a las 10:30 horas en los diferentes cuadros tipo, con las diferentes tipologías de carga del blindo barra 3B, se realiza el siguiente análisis de los niveles de contaminación por distorsión armónica en base a la normativa UNE-EN 61000-3-4.

- HSA/3B-44 KV-H20-0M

Se trata de un cuadro eléctrico encargado de la alimentación de diferentes salas de reunión, donde solo se alimentan pequeñas iluminarias, de un cuadro que alimenta un rectificador y de un cuadro de control. Como se observa en la figura 8.3, hay una THD del 5,3% en corriente, luego el total de sus cargas no supera los márgenes de la normativa.

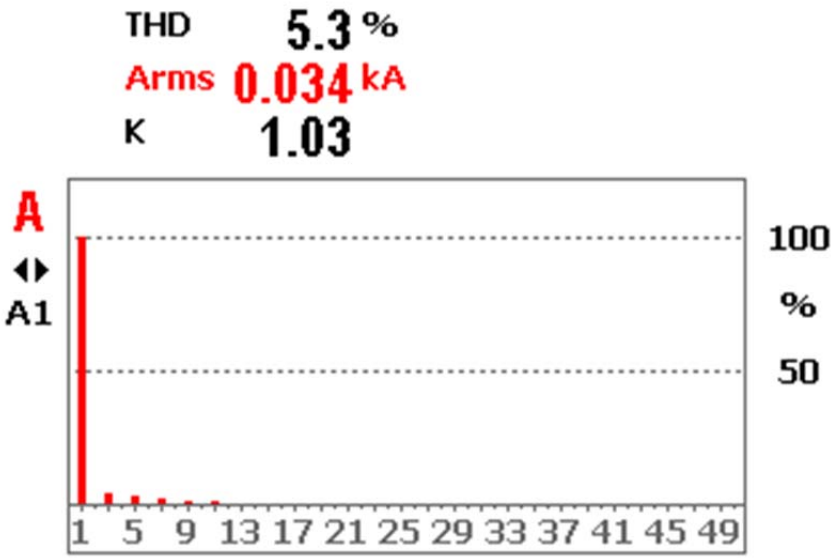


Figura 8.3. *FFT de la corriente de línea del HSA/3B-44 KV-H20-0M*

Sin embargo hay un elevado contenido de armónicos circulando por el neutro. Esto es debido al desequilibrio producido por la alimentación de cargas monofásicas distorsionantes y cargas trifásicas sin neutro, tal como muestra la figura 8.4.

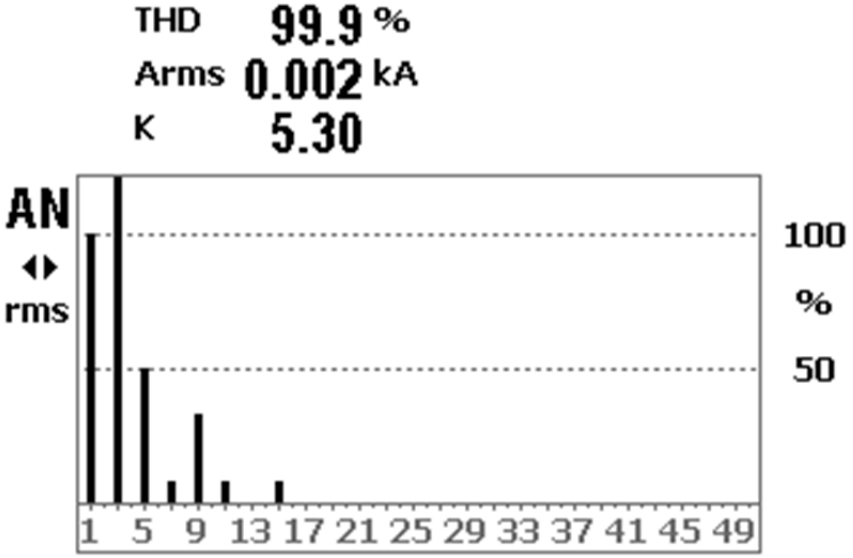


Figura 8.4. *FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-44 KV-H20-0M*

La figura 8.5 muestra los niveles de distorsión generados por el rectificador. Armónicos de 5º y 7º orden pueden ser atribuidos a rectificadores de 6 pulsos. El filtrado de convertidores estáticos de la energía siempre es recomendable ya que son los mayores causantes del nivel de contaminación armónica del sistema.

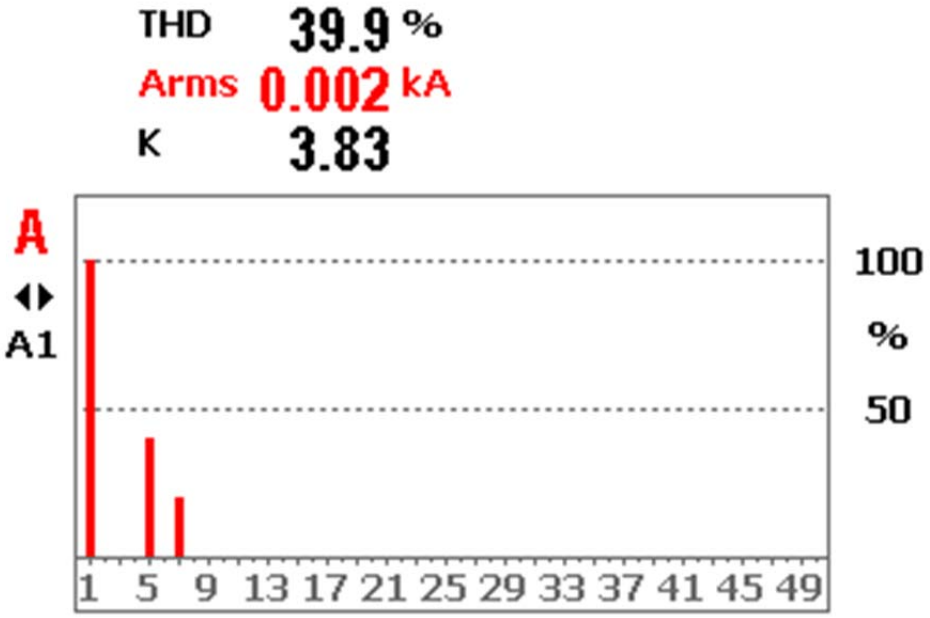


Figura 8.5. *FFT de la corriente de línea del HS-H20*

Por último, en la figura 8.6 se muestran los niveles de distorsión armónica del cuadro de control. La distorsión en corriente producida puede ser despreciada por la baja potencia del cuadro.

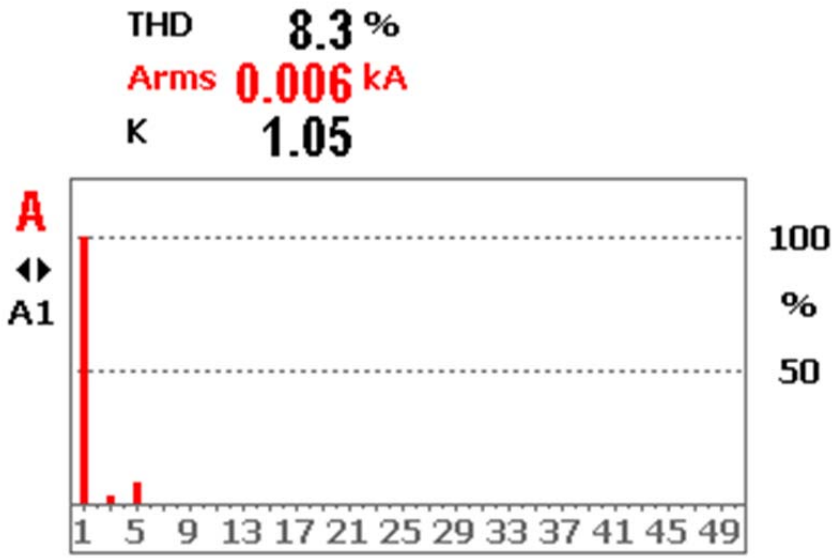


Figura 8.6. *FFT de la corriente de línea del UV-J19-0M*

- HSA/3B-42 KV-H18-4M

Se trata de un cuadro eléctrico encargado de la alimentación de una estación de trabajo de medición láser. De él cuelgan tomas de corriente, trifásicas, a las que se conectan los equipos electrónicos. En la figura 8.7 se observa un THD elevado pudiendo ser adecuado la filtración de las islas de trabajo de este tipo.

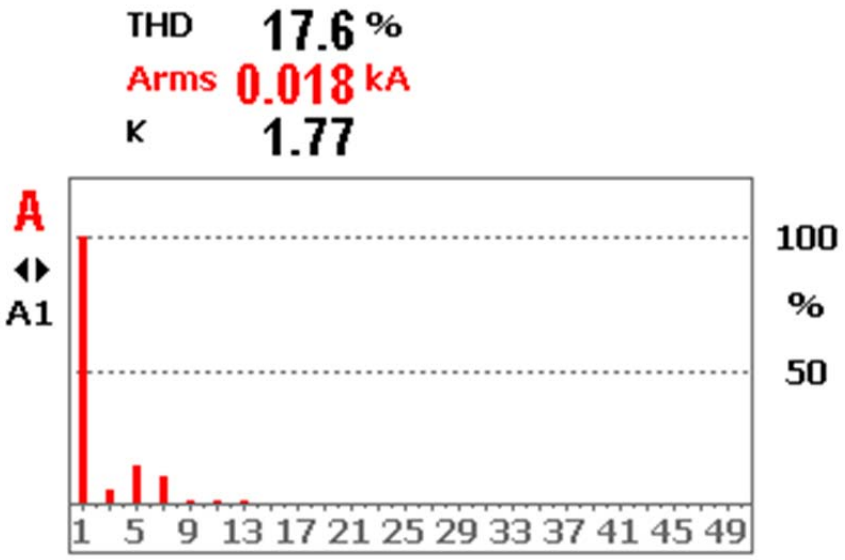


Figura 8.7. *FFT de la corriente de línea del HSA/3B-42 KV-H18-4M*

Los niveles de corriente por el neutro son coherentes con la contaminación producida por las cargas. La sección del neutro está bien dimensionada.

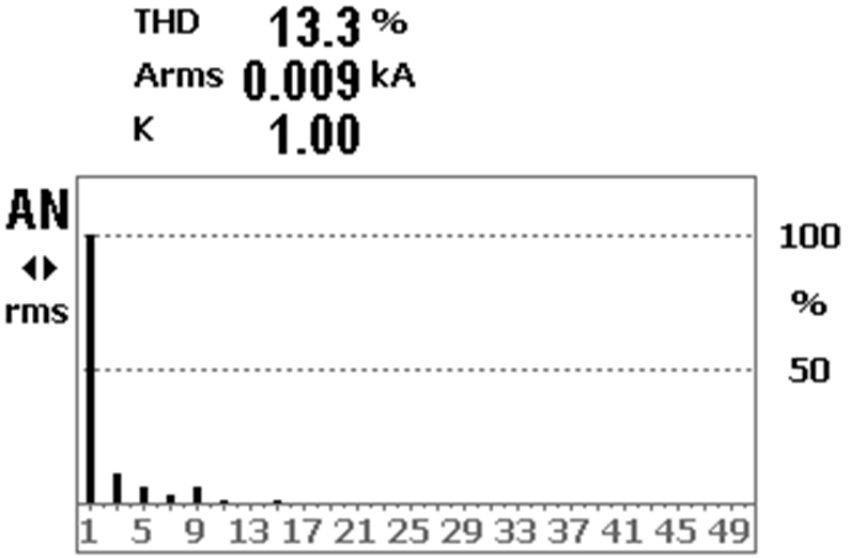


Figura 8.8. *FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-42 KV-H18-4M*

- HSA/3B-30 P-KAV-G24/F10

Los siguientes dos cuadros estudiados muestran como de elevada es la distorsión producida por las lámparas de descarga. La diferencia entre los dos resultados es debido al número de lámparas conectadas al mismo cuadro, en el segundo caso hay más potencia.

Se aconseja el filtrado localizado en los cuadros que alimentan las luminarias, justo por debajo del control de encendido de éstas.

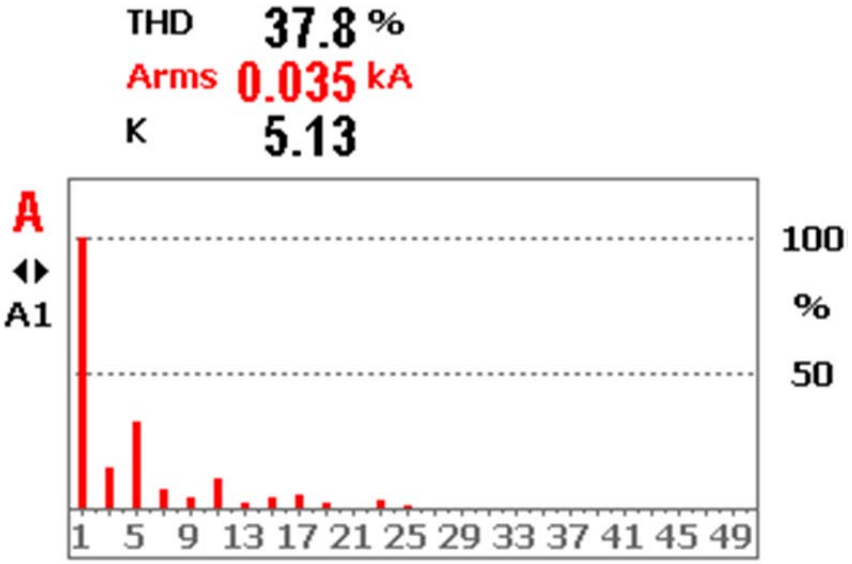


Figura 8.9. *FFT de la corriente de línea del HSA/3B-30 P-KAV-G24/F10*

Los niveles de corriente por el neutro son coherentes con la contaminación producida por las cargas. La sección del neutro está bien dimensionada.

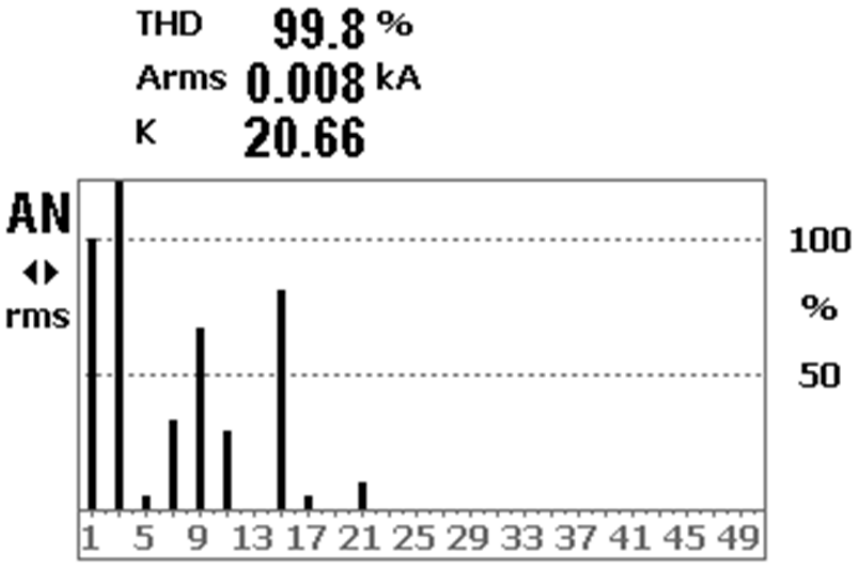


Figura 8.10. *FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-30 P-KAV-G24/F10*

- HSA/3B-28 P-KAV-G18/F10

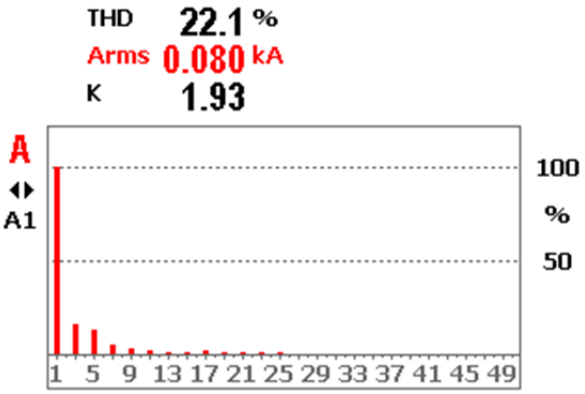


Figura 8.11. *FFT de la corriente de línea del HSA/3B-28 P-KAV-G18/F10*

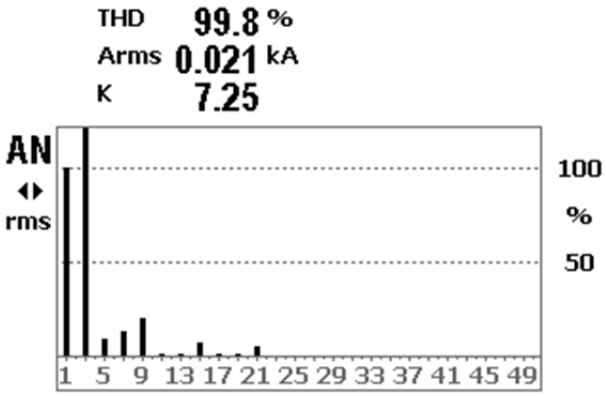


Figura 8.12. *FFT de la corriente del neutro del HSA/3B-28 P-KAV-G18/F10*

8.3. Propuesta de soluciones

Tras el análisis de la instalación y en la situación en la que se encuentra actualmente ésta, es necesario remediar la distorsión total de armónicos en tensión, de manera que se alcancen los niveles marcados por la norma UNE 61000-2-4.

Para ello es necesario proteger todas las baterías de condensadores que hay actualmente en las tres blindo barras del taller, ya que, a causa de estar en resonancia, están elevando el nivel de armónicos por encima del 5% aconsejable en entornos industriales.

Dicha protección se realizará modificando las actuales baterías de condensadores, mediante la instalación de reactancias inductivas antiarmónicos o mediante la sustitución de éstas por otras nuevas, siguiendo el esquema que acompaña éste proyecto.

Se aconseja, en futuras instalaciones, la separación adecuada de los equipos electrónicos en cuadros de distribución independientes, de manera que sea posible adecuar los niveles de emisión de éstos cuadros mediante la instalación de filtros de absorción.

Se aconseja, en futuras instalaciones, modificar el régimen de neutro de TNC (instalado actualmente) a TNS. De esta manera se asegurará un camino de baja impedancia para la distorsión armónica y corrientes de fuga, se asegurará que el neutro no se sobrecaliente y, en consecuencia, se evitará sobredimensionar dicho conductor.

CAPÍTULO 9: PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN

El siguiente capítulo define la planificación de la obra y el método de ejecución y lista los materiales necesarios para tal operación.

9.1. Planificación de tareas

Para la elaboración de los trabajos necesarios para la ejecución de este proyecto, se seguirá como planificación general la realización de los siguientes puntos y el diagrama que aparece a continuación:

- Medición de la carga de armónicos del taller.
- Realización de la documentación, entrega y aceptación.
- Retirada de la instalación a sustituir.
- Instalación de equipos.
- Retirada de restos materiales.
- Legalización de la nueva instalación.
- Entrega de certificados.
- Realización y entrega del plan de mantenimiento.
- Formación y asistencia técnica a la explotación.

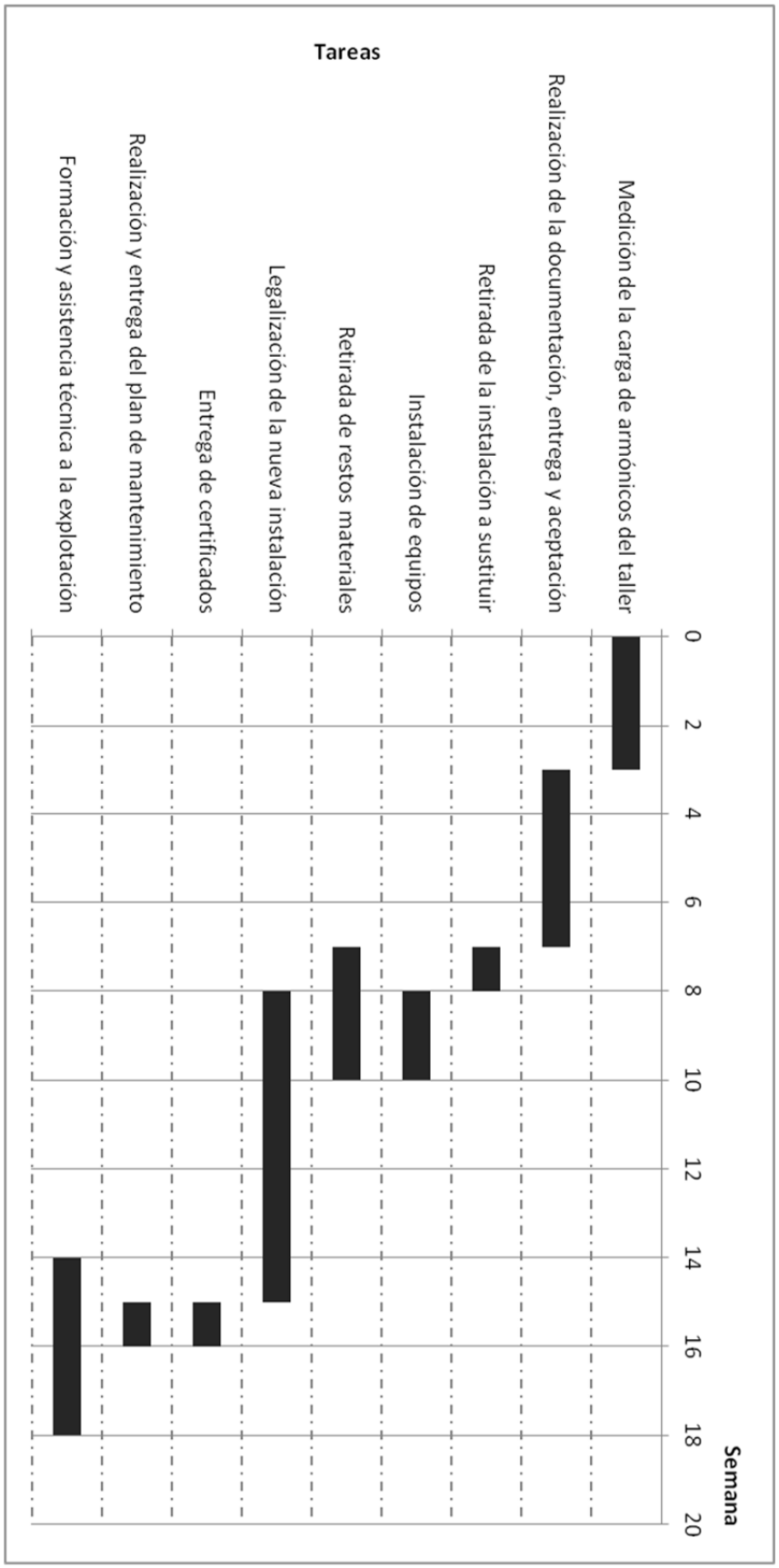


Figura 9.1. *Diagrama de Gantt*

9.2. Método de ejecución

El proceso de instalación seguirá todas las indicaciones explicadas en esta memoria, respetará el pliego de condiciones del proyecto y cumplirá con las especificaciones y estándares que se indican.

Se seguirá el esquema de la instalación incluido en este proyecto.

Se intentará, en todo momento, cumplir con los tiempos de proyección y obra que aparecen en este capítulo.

Se instalarán todos los elementos de la marca y modelo indicados en este capítulo. Podrán modificarse dichos elementos siempre y cuando sea autorizado por ingeniería de planta.

Nunca podrá conectarse una batería de condensadores protegida sin la instalación de las protecciones del total de baterías que forman la blindo barra ya que causaría desequilibrios, destruyendo aquellas baterías que no están protegidas.

La conexión de los equipos se realizará bajo la aprobación y supervisión de Mantenimiento Central.

9.3. Materiales de obra e instalación

A continuación se indican los modelos y marcas de los elementos que tienen que componer la batería de condensadores:

Tabla 9.1. *Elementos que componen la instalación*

Marca y modelo	Descripción	Imagen
AEG AE 28 TDG 440D	Condensador 28 kVAr	
AEG FR0,78-7,00@75/26/10	Reactancia antiarmónicos	
Frako RM9606	Regulador del factor de potencia con 6 salidas	
Richter J.Friedewald KTS1141	Alumbrado para armario a 230V, 50Hz y 14W	
Frako K3-62A00	Contactor con resistencias de conexión para condensadores	
ABB XLP00	Interruptor-seccionador para fusibles	

Marca y modelo	Descripción	Imagen
ABB NH 125	Fusibles de 125 A	
ABB NEOZED D02, E18, 63A	Portafusibles	
ABB NEOZED D01x4gL	Cartucho fusible	
Siemens 3RP1511-1AP30	Contactor de tiempo 230V, 10s	
Siemens 3RH1122-1AP00	Contactor de control 230 V 6A, 2NA2NC	

CAPÍTULO 10: NORMATIVA

El proyecto debe diseñarse y ejecutarse conforme a la normativa citada en este capítulo, vigente en el momento de la adjudicación.

10.1. Normas internas de SEAT

Deben respetarse las normas internas de SEAT contempladas en los siguientes pliegos de condiciones y especificaciones:

- Pliego de condiciones generales de SEAT.
- Pliego de Condiciones de prevención de riesgos laborales.
- Especificaciones generales de medio ambiente.
- Especificaciones particulares de medio ambiente.

Estas normas deben respetarse y el proveedor debe tener una copia de ellas. En especial, debido a las características de los trabajos que engloban esta oferta, deberán contemplarse las Normas de SEAT, Normas BV y las Normativas vigentes correspondientes.

10.2. Normativa legal

Debe respetarse la normativa legal que aparece a continuación:

- Normas UNE, UNE-EN y CEI.
- REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN 2002 (Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto, BOE 18/09/02).
- REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre. Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales.
- REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de noviembre. Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios.
- CEA. Comité Europeo de Seguros.
- RD 314/2006, de 17 marzo. Código Técnico de la Edificación.
- REAL DECRETO 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Directiva Europea 2004/108/CE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la Directiva 89/336/CEE.
- Norma IEEE 519-1992 "Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System".

Así mismo, deberá asumirse el cumplimiento de todas las normas específicas indicadas por los organismos oficiales, y correspondientes a las instalaciones solicitadas, así como las Normas específicas de Seguridad, vigentes en SEAT S.A.

CAPÍTULO 11: CONCLUSIONES

A partir de la realización de este proyecto se ha comprobado el estado actual del taller 01, en referencia a la calidad del suministro eléctrico y particularizando en el estudio de la distorsión armónica.

Se ha realizado el análisis de armónicos mediante la medición de las características de la instalación de distribución en diferentes puntos de conexión.

Se ha realizado la propuesta de estandarización de las baterías de condensadores con el fin de protegerlas, evitar la resonancia y disminuir la distorsión total en tensión del suministro eléctrico.

Se ha redactado esta memoria a modo de manual, con el fin de explicar conceptos referentes a la calidad del suministro eléctrico, la distorsión armónica y las alternativas para solucionar dicho problema, y con el fin de ser una guía para realizar dicho estudio en otros lugares de fábrica.

Se concluye el proyecto afirmando que todas las mediciones y datos son correctos y se corresponden con la realidad de la situación actual del objeto de estudio.

Se hace entrega, junto a esta memoria, de: anexo de mediciones, anexo de cálculos justificativos, anexo de resumen de normativas, anexo de fichas técnicas de equipos, esquema estandarizado de la nueva instalación propuesta, presupuesto de la realización de la instalación y análisis de beneficios de la nueva instalación.

CAPÍTULO 12: BIBLIOGRAFÍA

A continuación se citan los libros y artículos consultados para la elaboración del proyecto:

12.1. Bibliografía de consulta

J. Arrillaga, L. I. Eguíluz. 1994. Armónicos en Sistemas de Potencia. Universidad de Cantabria.

David Chapman. Marzo. 2001. Introducción a la Calidad de la Energía Eléctrica. Belgium. Cooper Development Association UK.

Hans de Keulenaer. Mayo. 2002. Guía para una Autovaloración de la Calidad de la Energía. European Cooper Institute.

Víctor Sanchez, Bernardo Rivera. 2010. Calidad del Suministro Eléctrico. Megacal.

J.Balcells. Noviembre. 2003. El coste de los armónicos. Circutor.

David Chapman. Marzo. 2001. El Coste de una Mala Calidad de la Energía Eléctrica. Cooper Development Association UK.

Angelo Baggini. 2008. Handbook of Power Quality. John Willey & Sons.

J.Arrillaga, Neville R. Watson. 2003. Power system harmonics. John Wiley & Sons.

Robert Seeley. 1970. Introducción a las Series e Integrales de Fourier. Editorial Reverté.

Schneider Electric. Diciembre. 2008. Catálogo - Tarifa Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos.

Ken West. Marzo. 2001. TRMS – Las mediciones de Verdadero Valor Eficaz. Fluke (UK).

FLUKE. Marzo. 2006. 1735 Power Logger – Manual de Uso. Fluke Corporation.

Andreas Sumper, Joan Rull, Antoni Sudrià. Vol. 1, No. 1. 2005. Successful Power Quality Monitoring. Electrical Power Quality and Utilisation, Magazine.

Gabriel López Solar. Septiembre. 2005. Medida de armónicos en ambientes industriales. Técnica Industrial 258.

Manuel Román Lumbreras. Mayo. 2006. Filtros activos de potencia para la compensación instantánea de armónicos y energía reactiva. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de ingeniería eléctrica.

Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Anexos

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en INGENIERÍA ELÉCTRICA

Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE DE ANEXOS

Índice de anexos 3
Índice de figuras 5
Índice de tablas 7
Anexo I: Medición del transformador 1026 9
Anexo II: Cálculos justificativos 19
II.1. Tensión y corriente armónica 19
II.1.1. Máximos en tensión, Trafo 1026 19
II.1.2. Máximos en corriente, Trafo 1026 21
II.2. K-factor y factor-K 23
II.3. Potencia admisible y demandada 24
II.4. Frecuencia de resonancia 24
II.5. Armario de compensación 25
Anexo III: Resumen de normativas 27
III.1. Normativa UNE-EN 27
III.1.1. UNE-EN 61642 27
III.1.2. UNE-EN 50160 28
III.1.3. UNE-EN 61000-2-2 29
III.1.4. UNE-EN 61000-2-4 30
III.1.5. UNE-EN 61000-3-2 31
III.1.6. UNE-EN 61000-3-4 31
III.2. Recomendaciones IEEE 519 1992 35
III.3. Normas CENELEC 36
Anexo IV: Fichas técnicas 37
IV.1. Reactancias antiarmónicos 37
IV.2. Condensadores 46
IV.3. Regulador del factor de potencia 54

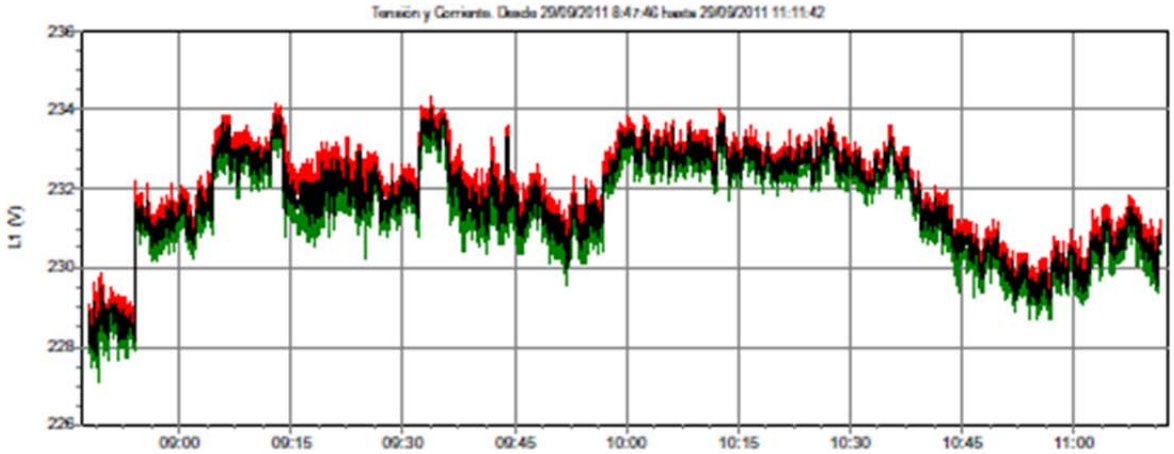
ÍNDICE DE FIGURAS

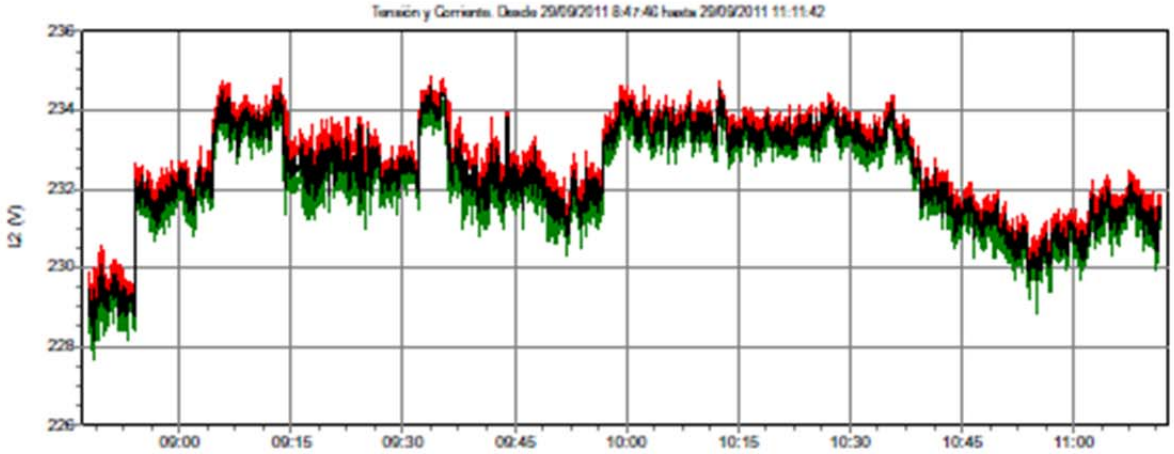
Figura AI.1. Tensiones de fase, secundario Trafo-1026 10
Figura AI.2. Corriente del secundario, Trafo-1026 11
Figura AI.3. Corriente del Neutro-PEN, Trafo-1026 12
Figura AI.4. Desequilibrio de frecuencia 12
Figura AI.5. Distribución de la tensión de las tres fases en el Trafo-1026 13
Figura AI.6. Variación del THD (U) en Trafo-1026..... 14
Figura AI.7. FFT en tensión del Trafo-1026..... 15
Figura AI.8. FFT en corriente del Trafo-1026 16
Figura AI.9. FFT en corriente del Neutro-PEN del Trafo-1026 17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla AII.1. Tensión eficaz máxima de cada armónico 20
Tabla AII.2. Corriente eficaz máxima de cada armónico 22
Tabla AIII.1. Límite de distorsión armónica individual en tensión..... 28
Tabla AIII.2. Límite de niveles de compatibilidad 29
Tabla AIII.3. Límite de compatibilidad para cada clase..... 30
Tabla AIII.4. Límite de corriente armónica para aparatos Clase A..... 31
Tabla AIII.5. Límites de emisión de equipos de I > 16A y Sequ ≤ Ssc/33..... 32
Tabla AIII.6. Límites de emisión de equipos desequilibrados con R_{sc}>33 32
Tabla AIII.7. Límites de emisión de trifásicos equilibrados con R_{sc}>33..... 33
Tabla AIII.8. Límites de distorsión en tensión..... 35
Tabla AIII.9. Límites de distorsión en corriente..... 35
Tabla AIII.10. Límites de armónicos de intensidad 36

ANEXO I: MEDICIÓN DEL TRANSFORMADOR 1026





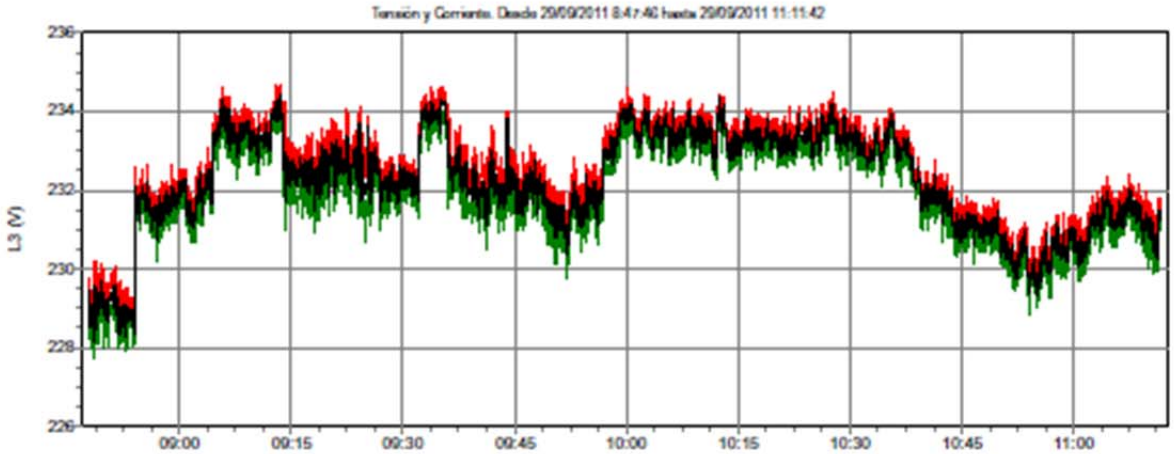


Figura AI.1. *Tensiones de fase, secundario Trafo-1026*

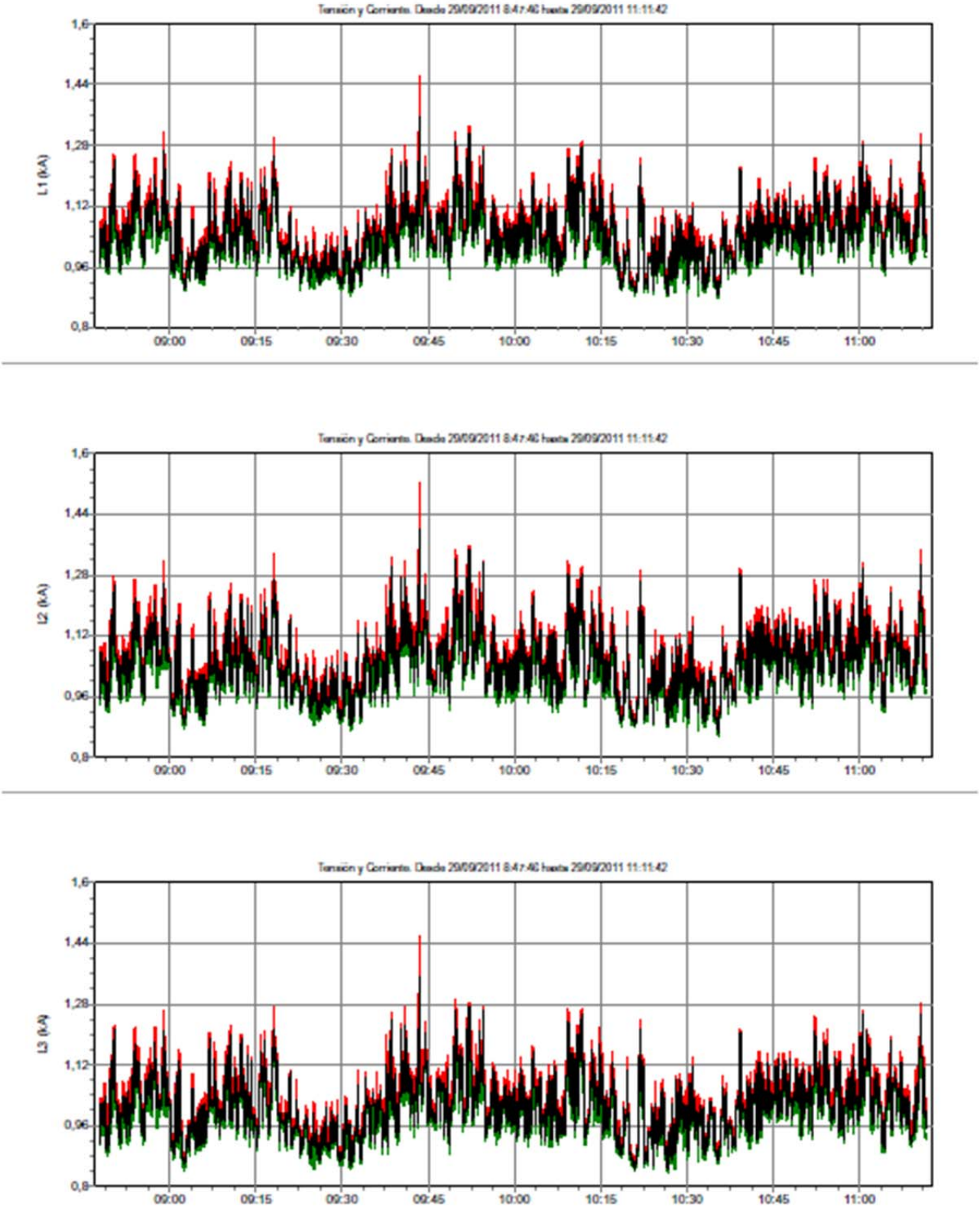


Figura AI.2. *Corriente del secundario, Trafo-1026*

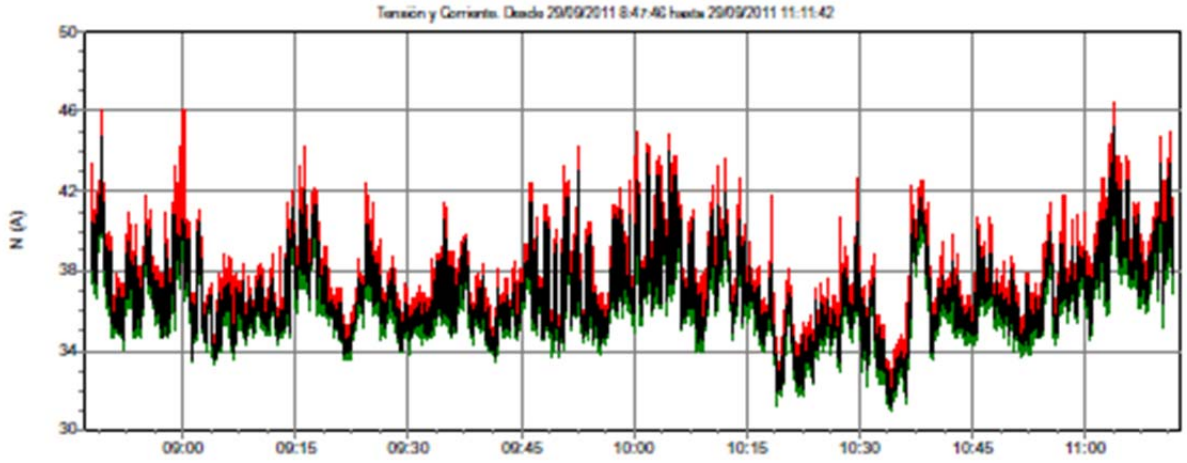


Figura AI.3. *Corriente del Neutro-PEN, Trafo-1026*

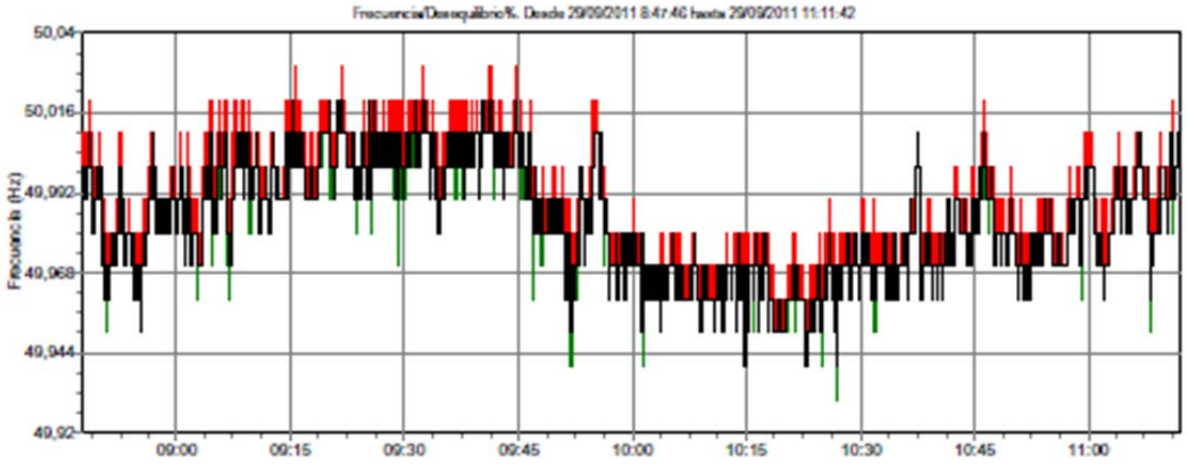
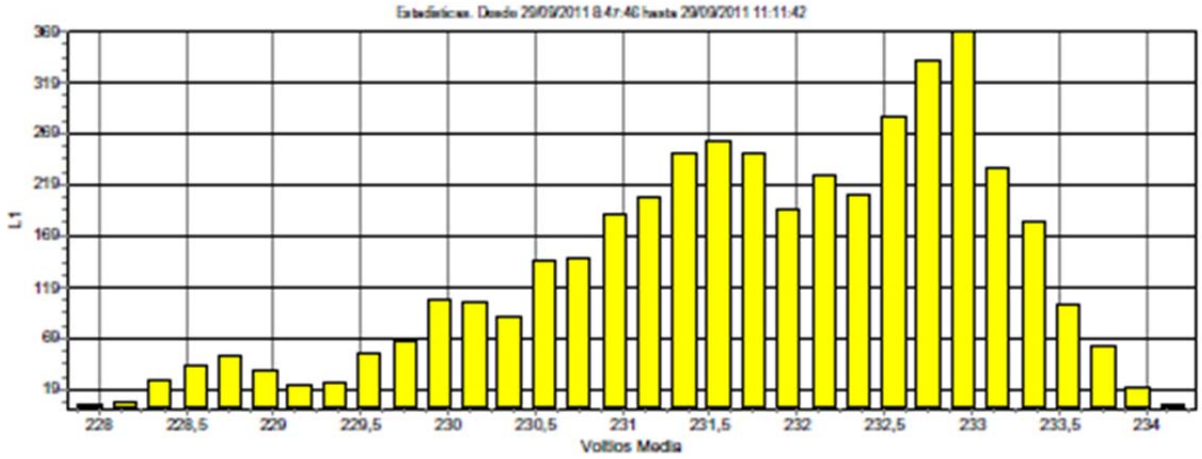
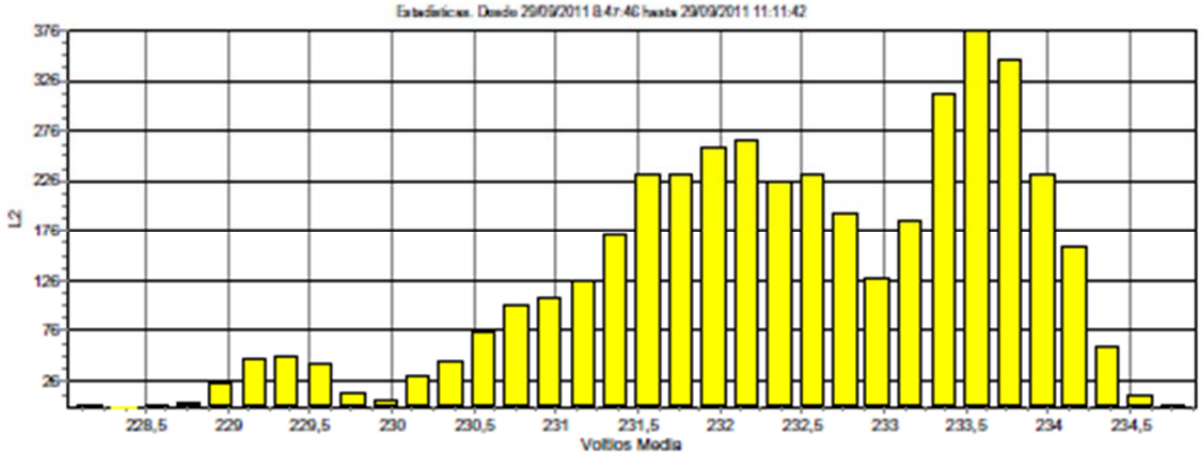


Figura AI.4. *Desequilibrio de frecuencia*





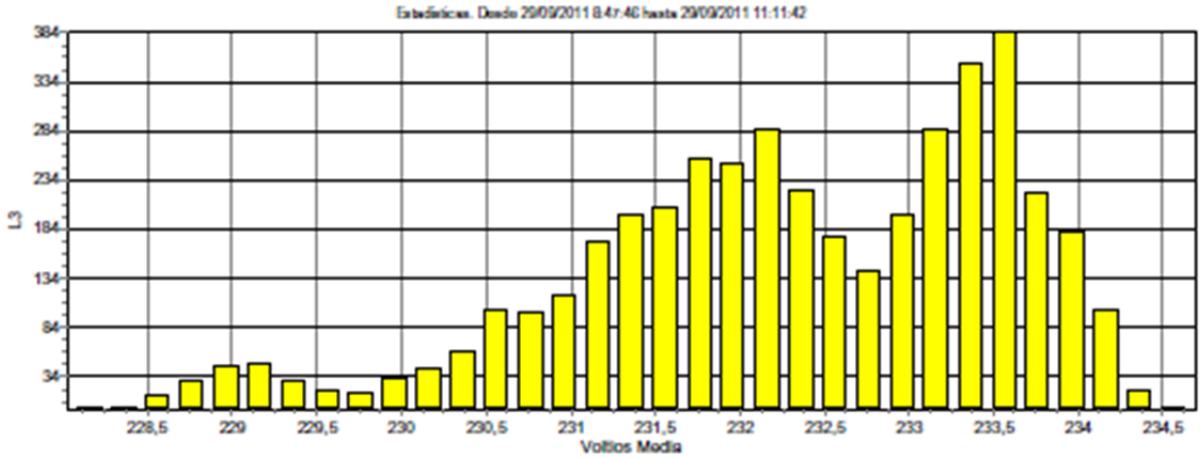


Figura AI.5. *Distribución de la tensión de las tres fases en el Trafo-1026*

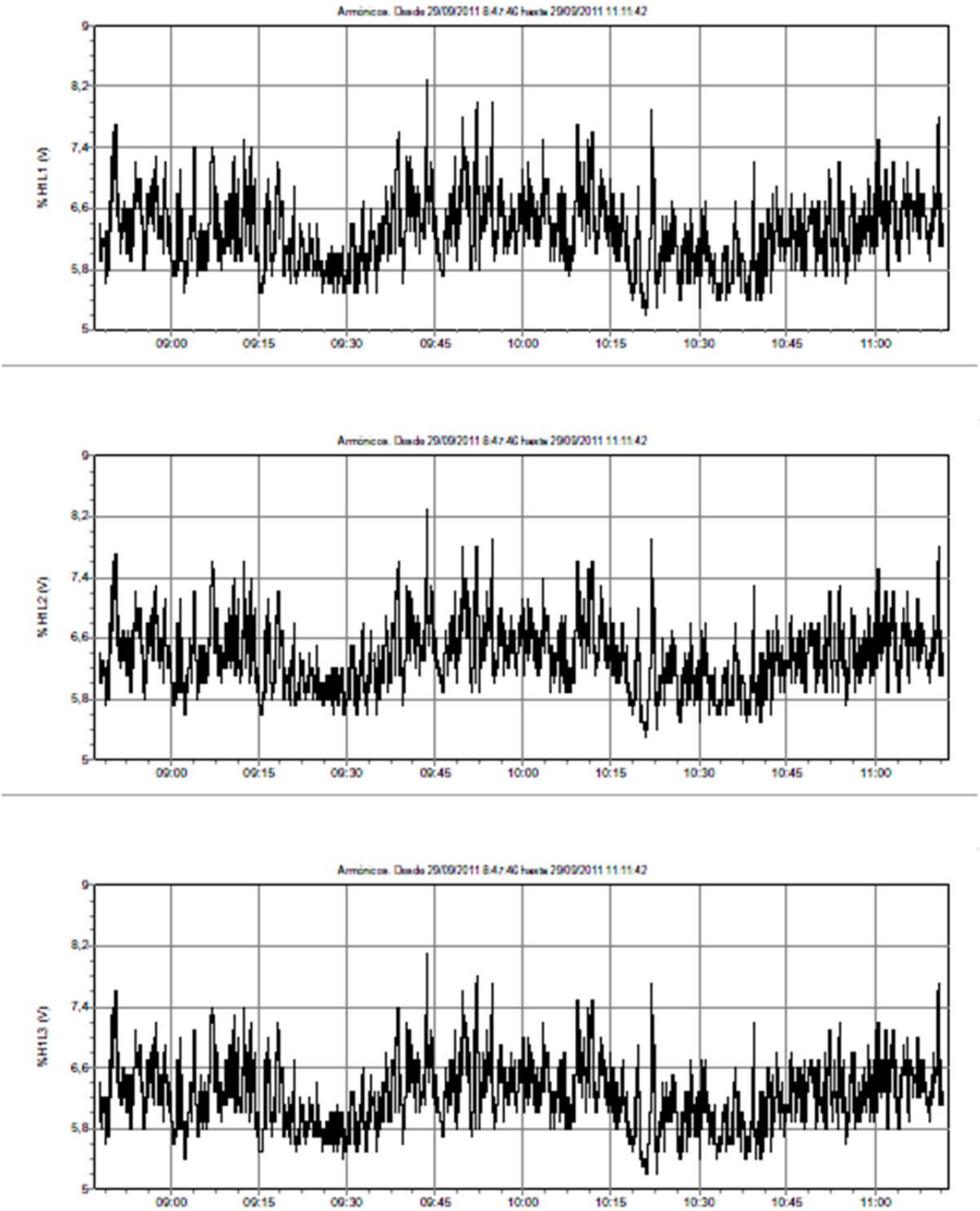


Figura AI.6. *Variación del THD (U) en Trafo-1026*

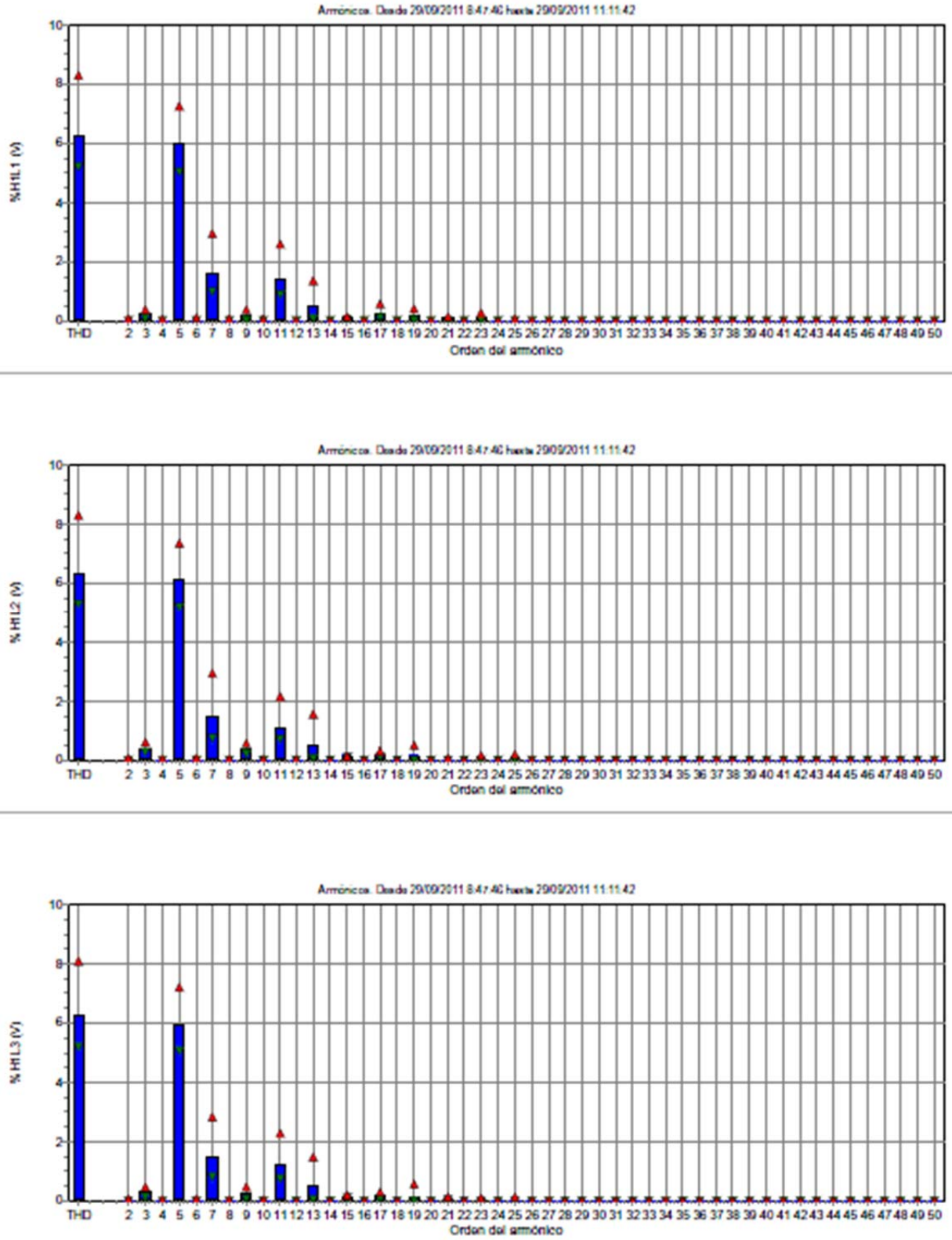


Figura AI.7. *FFT en tensión del Trafo-1026*

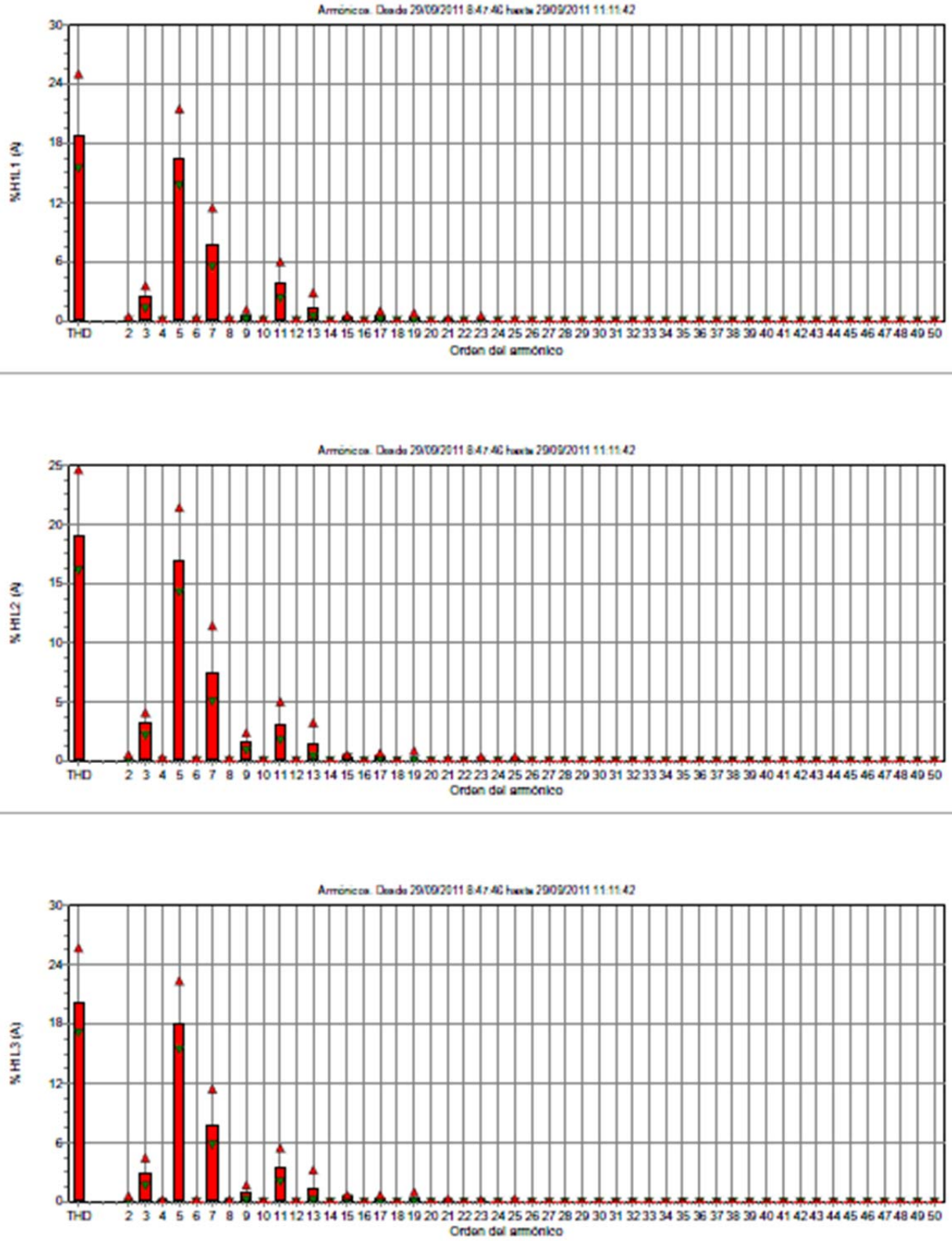


Figura AI.8. *FFT en corriente del Trafo-1026*

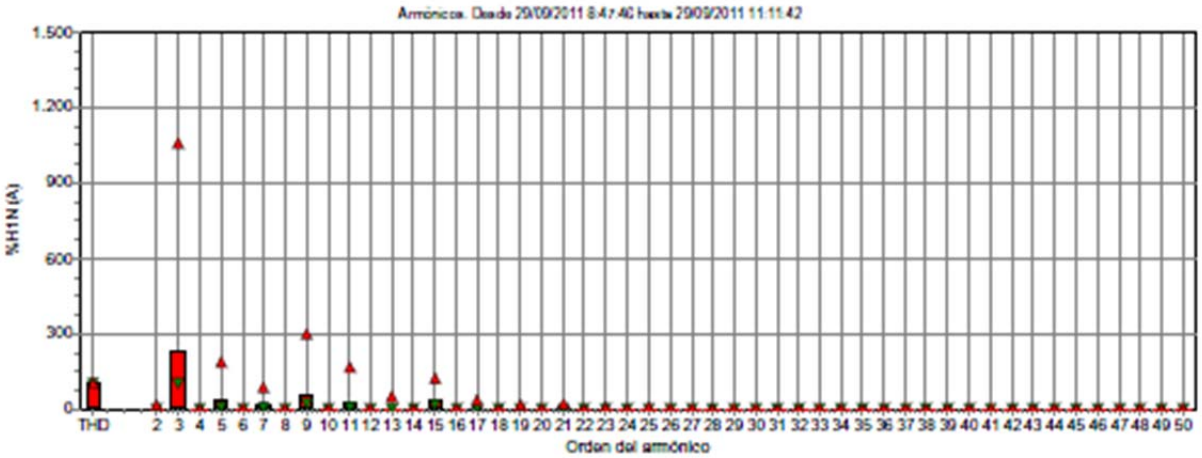


Figura AI.9. *FFT en corriente del Neutro-PEN del Trafo-1026*

ANEXO II: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

II.1. Tensión y corriente armónica

II.1.1. Máximos en tensión, Trafo 1026

Sea:

$$HD(U) = \frac{Un}{U1} \qquad [1]$$

Utilizando los valores obtenidos de la medición, realizada con el registrador de redes, sabiendo la tensión fundamental y la distorsión armónica podemos calcular la tensión eficaz de cada uno de los armónicos y calcular finalmente el valor eficaz. De esta manera obtenemos:

Tabla AII.1. *Tensión eficaz máxima de cada armónico*

h	HD(U)	$(Uh/U_1)^2$	U [V]	U [V^2]
1	1,0000	1,00000000	**230,0**	52900,00
2	0,0008	0,00000064	**0,184**	0,033856
3	0,0060	0,00003600	**1,380**	1,904400
4	0,0003	0,00000009	**0,069**	0,004761
5	0,0720	0,00518400	**16,56**	274,2336
6	0,0009	0,00000081	**0,207**	0,042849
7	0,0300	0,00090000	**6,900**	47,61000
8	0,0005	0,00000025	**0,115**	0,013225
9	0,0060	0,00003600	**1,380**	1,904400
10	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
11	0,0200	0,00040000	**4,600**	21,16000
12	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
13	0,0050	0,00002500	**1,150**	1,322500
14	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
15	0,0015	0,00000225	**0,345**	0,119025
16	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
17	0,0060	0,00003600	**1,380**	1,904400
18	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
19	0,0045	0,00002025	**1,035**	1,071225
20	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
21	0,0015	0,00000225	**0,345**	0,119025
22	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
23	0,0030	0,00000900	**0,690**	0,476100
24	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
25	0,0020	0,00000400	**0,460**	0,211600

Luego, a partir de las siguientes fórmulas podemos calcular la tensión eficaz de la onda, la distorsión armónica total, el factor de pico y el factor de forma:

$$U = \sqrt{\sum_{h=1}^{n} U_h^{\,2}} \qquad [2]$$

U_1 [V]	U_{rms} [V]
230	230,764

$$THD(U)\% = 100.\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} U_h^{\,2}}}{U_1} \qquad [3]$$

THD (U) % = 8,159

U_{max} [V]	**U_{med} [V]**
333,94	1,413 E-12

$$f_p = \frac{U\max}{U\,rms} \qquad [4]$$

f_p = 1,447

$$f_f = \frac{U\,med}{U\,rms} \qquad [5]$$

f_f = 6,12 E-15

II.1.2. Máximos en corriente, Trafo 1026

Sea:

$$HD(I) = \frac{In}{I1} \qquad [6]$$

Utilizando los valores obtenidos de la medición, realizada con el registrador de redes, sabiendo la corriente máxima fundamental y la distorsión armónica podemos calcular la corriente eficaz de cada uno de los armónicos y calcular finalmente el valor eficaz. De esta manera obtenemos:

Tabla AII.2. *Corriente eficaz máxima de cada armónico*

h	HD(I)	$(Ih/I_1)^2$	I [A]	I^2 [A^2]
1	1,0000	1,00000000	**1600**	2560000
2	0,0064	0,00004096	**10,24**	104,8576
3	0,0450	0,00202500	**72,00**	5184,000
4	0,0022	0,00000484	**3,520**	12,39040
5	0,2250	0,05062500	**360,0**	129600,0
6	0,0023	0,00000529	**3,680**	13,54240
7	0,1150	0,01322500	**184,0**	33856,00
8	0,0016	0,00000256	**2,560**	6,553600
9	0,0225	0,00050625	**36,00**	1296,000
10	0,0013	0,00000169	**2,080**	4,326400
11	0,0500	0,00250000	**80,00**	6400,000
12	0,0010	0,00000100	**1,600**	2,560000
13	0,0320	0,00102400	**51,20**	2621,440
14	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
15	0,0080	0,00006400	**12,80**	163,8400
16	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
17	0,0060	0,00003600	**9,600**	92,16000
18	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
19	0,0120	0,00014400	**19,20**	368,6400
20	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
21	0,0030	0,00000900	**4,800**	23,04000
22	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
23	0,0020	0,00000400	**3,200**	10,24000
24	0,0000	0,00000000	**0,000**	0,000000
25	0,0015	0,00000225	**2,400**	5,760000

Luego a partir de las siguientes fórmulas podemos calcular la tensión eficaz de la onda, la distorsión armónica total, el factor de pico y el factor de forma:

$$I = \sqrt{\sum_{h=1}^{n} I_h^{\,2}} \qquad [7]$$

I_1 [A]	I_{rms} [A]
1600	1655,224

$$THD(I)\% = 100.\frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} I_h^{\,2}}}{I_1} \qquad [8]$$

THD (I) % = 26,499

I_{max} [A]	**I_{med} [A]**
1701,54	6,539 E-12

$$f_p = \frac{I\max}{I\,rms} \qquad [9]$$

f_p = 1,028

$$f_f = \frac{I\,med}{I\,rms} \qquad [10]$$

f_f = 3,951 E-15

II.2. K-factor y factor-K

Sea:

$$K = \sum_{1}^{\max} h^2 \cdot \left(\frac{I_h}{I}\right)^2 \qquad [11]$$

K-factor = 3,302

$$K = \sqrt{\left[1 + \frac{e}{1+e} \cdot \left(\frac{I_1}{I}\right) \cdot \sum_{1}^{\max}\left(h^q \cdot \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2\right)\right]} \qquad [12]$$

q = 1,7 **I =** 1,035 **I_1 / I =** 0,967

e = 0,1 **e / (1 + e) =** 0,091

factor-K = 1,102

II.3. Potencia admisible y demandada

Sea el límite actual de potencia:

$$S = \frac{\text{Sn}}{\text{factor}-\text{K}} = \frac{1600\ \text{kVA}}{1{,}102} = 1451{,}896\ \text{kVA} \quad [13]$$

Conociendo la demanda máxima de corriente actual obtenemos:

$$S_{max}\ demandada = \sqrt{3}\ x\ I_{max} demandada\ x\ V_n = \sqrt{3}\ \text{x}\ 1600\ \text{A x}\ 400\ \text{V} = 1108{,}513\ kVA$$

[14]

II.4. Frecuencia de resonancia

A partir de la potencia del transformador de MT, del transformador conectado en paralelo al blindo barra y de la batería de condensadores podemos calcular el armónico de resonancia:

Corriente de cortocircuito de red e impedancia de red:

$$\text{Icc} = \frac{\text{Sccred}}{\sqrt{3}\,\text{Un1}} = \frac{500\ \text{x}\ 10^6}{\sqrt{3}\ \text{x}\ 20\ \text{x}\ 10^3} = 14433{,}76\ \text{A} \quad [15]$$

$$Za = \frac{\text{Un1}^2}{\text{Sccred}} = \frac{20000^2}{500\ \text{x}\ 10^6} = 0{,}8\ \Omega \quad [16]$$

$$Xa = 0{,}98\ \text{x Za} = 0{,}98\ \text{x}\ 0{,}8 = 0{,}784\ \Omega \quad [17]$$

$$Ra = 0{,}2\ \text{x Xa} = 0{,}2\ \text{x}\ 0{,}784 = 0{,}1568\ \Omega \quad [18]$$

Impedancia a la salida del transformador:

$$Za = \frac{\text{Un2}^2}{\text{Sccred}} = \frac{400^2}{500\ \text{x}\ 10^6} = 0{,}00032\ \Omega \quad [19]$$

$$Xa = 0{,}98\ \text{x Za} = 0{,}98\ \text{x}\ 0{,}00032 = 0{,}0003136\ \Omega \quad [20]$$

$$Ra = 0{,}2\ \text{x Xa} = 0{,}2\ \text{x}\ 0{,}0003136 = 0{,}00006272\ \Omega \quad [21]$$

Impedancia del transformador:

$$Ztr = \frac{\mathrm{Un2}^2}{\mathrm{Ptr}} \mathrm{x} \frac{\mathrm{u_{cc}}}{100} = \frac{400^2}{1600 \mathrm{\ x\ } 10^3} \mathrm{x} \frac{6}{100} = 0{,}006\ \Omega \qquad [22]$$

$$Xtr = 0{,}98 \mathrm{\ x\ Ztr} = 0{,}98 \mathrm{\ x\ } 0{,}006 = 0{,}00588\ \Omega \qquad [23]$$

$$Rtr = 0{,}2 \mathrm{\ x\ Xa} = 0{,}2 \mathrm{\ x\ } 0{,}00588 = 0{,}001176\ \Omega \qquad [24]$$

Impedancia de red después del transformador:

$$Zb = \mathrm{Za} + \mathrm{Ztr} = 0{,}00032 + 0{,}006 = 0{,}00632\ \Omega \qquad [25]$$

$$Xb = \mathrm{Xa} + \mathrm{Xtr} = 0{,}0003136 + 0{,}00588 = 0{,}0061936\ \Omega \qquad [26]$$

$$Rb = \mathrm{Ra} + \mathrm{Rtr} = 0{,}00006272 + 0{,}001176 = 0{,}00123872\ \Omega \qquad [27]$$

Corriente de cortocircuito después del transformador:

$$\mathrm{Icc} = \frac{\mathrm{Un2}}{\sqrt{3}\ \mathrm{Zb}} = \frac{400}{\sqrt{3} \mathrm{\ x\ } 0{,}00632} = 36541{,}16\ \mathrm{A} \qquad [28]$$

Potencia de cortocircuito después del transformador y frecuencia de resonancia de la batería de condensadores:

$$\mathrm{Scc} = \sqrt{3} \mathrm{\ x\ Icc\ x\ Un2} = \sqrt{3} \mathrm{\ x\ } 36541{,}16 \mathrm{\ x\ } 400 = 25316455{,}7\ \mathrm{W} \qquad [29]$$

$$h = \sqrt{\frac{Scc}{Qc}} = \sqrt{\frac{25316455}{6*50\ kVAr}} = 9{,}186 \qquad [30]$$

II.5. Armario de compensación

Batería actual de 6 escalones de 50 kVAr.

$$\mathrm{In} = \frac{\mathrm{Qn}}{\sqrt{3} \mathrm{\ x\ Un}} = \frac{50000}{\sqrt{3} \mathrm{\ x\ } 400} = 72{,}17\ \mathrm{A} \qquad [31]$$

$$\mathrm{Iconductor} = 1{,}43 \mathrm{\ x\ In} = 1{,}43 \mathrm{\ x\ } 72{,}17 = 103{,}2\ \mathrm{A} \qquad [32]$$

$$\mathrm{Sección} = 35\ \mathrm{mm}^2 \qquad [33]$$

$$\mathrm{Fusibles} = 125\ \mathrm{A} \qquad [34]$$

$$\mathrm{Lreactancia} = 0{,}78\ \mathrm{mH} \qquad [35]$$

ANEXO III: RESUMEN DE NORMATIVAS

III.1. Normativa UNE-EN

El Comité Técnico de Normalización limita el contenido de armónicos a partir de las siguientes seis normativas:

III.1.1. UNE-EN 61642

- Redes industriales de corriente alterna afectadas por armónicos. Empleo de filtros y condensadores a instaladores en paralelo.

La norma da indicaciones de utilización de filtros pasivos de corriente alterna y condensadores de instalación en paralelo con el objetivo de limitar los armónicos y corregir el factor de potencia en instalaciones industriales de baja y alta tensión. Las disposiciones son de aplicación para los armónicos comprendidos entre el 1 y el 25.

El objetivo de la misma es indicar los problemas y dar recomendaciones para aplicaciones generales de condensadores y filtros en redes de corriente alterna afectadas por tensiones y corrientes armónicas.

III.1.2. UNE-EN 50160

- Características de la tensión suministrada para las redes públicas de distribución.

La norma explica las características de la tensión suministrada en el punto de conexión del consumidor por una red pública de distribución en baja y media tensión y en condiciones normales de explotación.

El objetivo de la misma es definir los valores de la forma de onda de tensión. El 95% de la distorsión individual de tensión durante un período de una semana realizando medidas cada 10 minutos no debe exceder los valores de la tabla 5.1.

Tabla AIII.1. *Límite de distorsión armónica individual en tensión*

Armónicos impares no múltiplos de 3		**Armónicos impares múltiplos de 3**		**Armónicos pares**	
Rango (h)	**Uh (%)**	**Rango (h)**	**Uh (%)**	**Rango (h)**	**Uh (%)**
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6..24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5			**THD (V) < 8%**	
23	1,5				
25	1,2				

III.1.3. UNE-EN 61000-2-2

- Compatibilidad electromagnética, entorno, niveles de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y la transmisión de señales en las redes públicas de alimentación en BT.

La norma es aplicable a perturbaciones de hasta 10 kHz. Por lo tanto el objetivo de la misma es indicar los niveles de compatibilidad a respetar en las redes públicas de baja tensión.

Los niveles límite en armónicos de tensión son los que indica la tabla 5.2.

Tabla AIII.2. *Límite de niveles de compatibilidad*

Armónicos impares no múltiplos de 3		Armónicos impares múltiplos de 3		Armónicos pares	
Rango (h)	**Uh (%)**	**Rango (h)**	**Uh (%)**	**Rango (h)**	**Uh (%)**
>5	6,0	>3	5,0	>2	2,0
7	5,0	>9	1,5	>4	1,0
11	3,5	>15	0,5	>6	0,5
13	3,0	>21	0,5	>8	0,5
17	2,0	>21	0,2	>10	0,5
>19	1,5			>12	0,2
>23	1,5			>12	0,2
25	1,2				
>25	0,2+0,5225/h			**THD (V) < 8%**	

Además se delimita la importancia de los armónicos de tensión de la manera siguiente:

1. Si THDu > 8%: contaminación importante, por lo que quizás sea necesario dispositivos de atenuación.
2. Si 5% < THDu < 8%: contaminación significativa y posibilidad de funcionamiento defectuoso.
3. Si THDu < 5%: situación normal.

Y también los de corriente:

1. Si THDi > 50%: contaminación importante con posibilidad de funcionamiento defectuoso y necesidad de atenuación.
2. Si 10% < THDi < 50%: contaminación significativa y posibilidad de funcionamiento defectuoso.
3. SI THDi < 10%: situación normal.

Los armónicos de rango 3 superiores al 50% recorrerán el conductor de neutro, provocando calentamiento. Los armónicos de rango 5, 7 y demás, superiores al 40%, perturbarán a los condensadores y receptores de sensibilidad elevada.

III.1.4. UNE-EN 61000-2-4

- Compatibilidad electromagnética, entorno, niveles de compatibilidad en las instalaciones industriales de potencia, BT o MT, a 50 o 60 Hz.

La norma es de aplicación a redes industriales de potencia de baja y media tensión a 50 y 60 Hz.

El objetivo de la misma es determinar los niveles de compatibilidad para distintas clases de entorno electromagnético:

4. Clase 1: redes protegidas con niveles de compatibilidad inferiores a la red pública.
5. Clase 2: en entornos industriales los niveles son iguales a los de la red pública.
6. Clase 3: entorno industrial severo.

La tabla 5.3 muestra los límites de armónicos impares no múltiplos de 3 para cada clase.

Tabla AIII.3. *Límite de compatibilidad para cada clase*

Armónicos impares no múltiplos de 3			
Rango (h)	**Clase 1 Uh (%)**	**Clase 2 Uh (%)**	**Clase 3 Uh (%)**
5	3,0	6,0	8,0
7	3,0	5,0	7,0
11	3,0	3,5	5,0
13	3,0	3,0	4,5
17	2,0	2,0	4,0
19	1,5	1,1	4,0
23	1,5	1,5	3,5
25	1,5	1,5	3,5
>25	0,2+12,5/h	0,2+12,5/h	5*√(11/h)

III.1.5. UNE-EN 61000-3-2

- Compatibilidad electromagnética, límites de emisión de corriente armónica (para aparatos de intensidad de entrada inferior a 16 A por fase).

La norma es aplicable a los aparatos eléctricos destinados a ser conectados a 50 o 60 Hz, 240 V en monofásico y 415 V en trifásico.

El objetivo de la misma es definir los límites de emisión de corriente armónica con el fin de no exceder los límites de la norma IEC 61000-2-2. Dicha norma clasifica los aparatos en las siguientes clases.

7. Clase A: aparato trifásico equilibrado y cualquiera que no aparezca en el resto de clases. La tabla 5.4 indica los límites para esta clase.
8. Clase B: herramientas portátiles.
9. Clase C: aparatos de iluminación.
10. Clase D: aparatos de potencia menor a 600 W y corriente de entrada con forma de onda especial tales como receptores de televisión.

Tabla AIII.4. *Límite de corriente armónica para aparatos Clase A*

Armónicos impares		**Armónicos pares**	
Rango (h)	**Ih (%)**	**Rango (h)**	**Ih (%)**
3	2,30	2,00	1,08
5	1,14	4,00	0,43
7	0,77	6,00	0,30
11	0,40	8 < h < 40	0,23*8/h
13	0,21		
15 < h < 39	0,15*15/h		

III.1.6. UNE-EN 61000-3-4

- Compatibilidad electromagnética, límites de emisión de corrientes armónicas en las redes de BT para aparatos con una corriente asignada superior a 16 A.

La norma es aplicable a los aparatos de la norma anterior con intensidad nominal mayor a 16 A.

El objetivo de la misma es dar recomendaciones para la conexión de equipos generadores de armónicos considerando tres categorías de clasificación:

11. Categoría 1: aparatos poco contaminantes que pueden conectarse a la red pública sin restricción.
12. Categoría 2: aparatos con cierta limitación de conexión en función de la relación de la potencia y la potencia de cortocircuito.
13. Categoría 3: aparatos que exceden la categoría 2 y deben utilizarse medios de reducción de armónicos o realizar un acuerdo con la distribuidora.

Tabla AIII.5. *Límites de emisión de equipos de I > 16A y Sequ ≤ Ssc/33*

Armónico h	**Corriente admisible I_n / I_1 %**
3	21,6
5	10,7
7	7,20
9	3,80
11	3,10
13	2,00
15	0,70
17	1,20
19	1,10
21	≤ 0,60
23	0,90
25	0,80
27	≤ 0,60
29	0,70
31	0,70
≥33	≤ 0,60
Pares	≤ 8/n ó 0,60

Tabla AIII.6. *Límites de emisión de equipos desequilibrados con R_{sc}>33*

R_{sc} (2)	Tasa total admisible		Tasas individuales admisibles					
	THD%	PWHD%	I_3/I_1%	I_5/I_1%	I_7/I_1%	I_9/I_1%	I_{11}/I_1%	I_{13}/I_1%
66	25	25	23	11	8	6	5	4
120	29	29	25	12	10	7	6	5
175	33	33	29	14	11	8	7	6
250	39	39	34	18	12	10	8	7
350	46	46	40	24	15	12	9	8
450	51	51	40	30	20	14	12	10
600	57	57	40	30	20	14	12	10

NOTAS: (1) El valor relativo de los armónicos pares no debe sobrepasar 16/h %

(2) Para valores de R_{sc} intermedios interpolar; (3) En caso de redes desequilibradas los valores de la tabla se aplican a cada una de las fases individualmente

Tabla AIII.7. *Límites de emisión de trifásicos equilibrados con R_{sc}>33*

R_{sc} (2)	Tasa total admisible		Tasas individuales admisibles			
	THD%	PWHD%	I_5/I_1%	I_7/I_1%	I_{11}/I_1%	I_{13}/I_1%
66	16	25	14	11	10	8
120	18	29	16	12	11	8
175	25	33	20	14	12	8
250	35	39	30	18	13	8
350	48	46	40	25	15	10
450	58	51	50	35	20	15
600	70	57	60	40	25	18
NOTAS: (1) El valor relativo de los armónicos pares no debe sobrepasar 16/h % (2) Para valores de R_{sc} intermedios interpolar						

Dónde:

Potencia de cortocircuito: Es un indicador de la impedancia propia de la red que se define como:

$$S_{sc} = U_{nom}^2 / Z_{cc} \qquad [1]$$

Potencia nominal del equipo: Se calcula de distinta forma según el tipo de carga:

- Para equipos entre fase y neutro.

$$S_{equ} = U_{fase-N} . I_{equ} \qquad [2]$$

- Para equipos entre fase y fase.

$$S_{equ} = U_{fase-fase} . I_{equ} \qquad [3]$$

- Para equipos trifásicos equilibrados.

$$S_{equ} = \sqrt{3} . U_{fase-fase} . I_{equ} \qquad [4]$$

Relación de cortocircuito: Es el índice de carga que supone un equipo para la red. Se define como:

- Para equipos entre fase y neutro.

$$R_{sce} = S_{sc} / 3S_{equ} \qquad [5]$$

- Para equipos entre fase y fase.

$$R_{sce} = S_{sc} / 2S_{equ} \qquad [6]$$

- Para equipos trifásicos equilibrados.

$$R_{sce} = S_{sc} / S_{equ} \qquad [7]$$

Distorsión parcial ponderada PWHD: Para la norma UNE-61000-3-4 se usa la distorsión ponderada de los armónicos 14 al 40:

$$PWHD\% = 100.\sum_{h=14}^{40} h.(I_h / I_1)^2 \qquad [8]$$

III.2. Recomendaciones IEEE 519 1992

El grupo de trabajo IEEE-PES Power System Harmonics ha desarrollado límites recomendados de distorsión en relación a las condiciones más desfavorables en régimen permanente de funcionamiento, es decir, que durante transitorios pueden ser superados.

14. Se recomiendan niveles de distorsión inferiores al 5% en tensión.

15. Niveles de distorsión superiores al 10% son inaceptables.

16. La normativa está creada para que la suministradora mantenga los niveles de tensión por debajo de los límites que aparecen en la tabla 5.8 y los clientes mantengan los niveles de distorsión en corriente por debajo de la tabla 5.9.

Tabla AIII.8. *Límites de distorsión en tensión*

Tensión en PCC	Uh (%)	THD (V)
Vn ≤ 69 kV	3,0	5,0
69 kV < Vn ≤ 161 kV	1,5	2,5
Vn > 161 kV	1,0	1,5

Tabla AIII.9. *Límites de distorsión en corriente*

Vn ≤ 69 kV						
Isc/Il	*H ≤ 11*	*11<h≤17*	*17<h≤23*	*23<h≤35*	*35 < h*	*TDD*
< 20	4,00	2,0	1,50	0,60	0,30	5,00
20 – 50	7,00	3,50	2,50	1,00	0,50	8,00
50 – 100	10,0	4,50	4,00	1,50	0,70	12,0
100-1000	12,0	5,50	5,00	2,00	1,00	15,0
≥ 1000	15,0	7,00	6,00	2,50	1,40	20,0
69 kV < Vn ≤ 161 kV						
< 20	2,00	1,00	0,75	0,30	0,15	2,50
20 – 50	3,50	1,75	1,25	0,50	0,25	4,00
50 – 100	5,00	2,25	2,00	1,25	0,35	6,00
100-1000	6,00	2,75	2,50	1,00	0,50	7,50
≥ 1000	7,50	3,50	3,0	1,25	0,70	10,0
Vn > 161 kV						
< 50	2,00	1,00	0,75	0,30	0,15	2,50
≥ 50	3,50	1,75	1,25	0,50	0,25	4,00

III.3. Normas CENELEC

Con la norma EN 60 555/2, el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica, formado por 18 países más la Asociación Europea de Libre Mercado, ha definido las perturbaciones producidas en sistemas de alimentación por aparatos domésticos y equipos análogos. Además se indican límites de armónicos de corriente medidos en las condiciones específicas que marca dicha normativa.

Tabla AIII.10. *Límites de armónicos de intensidad*

Rango (h)	Intensidad armónica máxima admisible (A)
Armónicos impares	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
15 < n <39	0,15*15/n
Armónicos pares	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
8 < n < 40	0,23*8/n

ANEXO IV: FICHAS TÉCNICAS

IV.1. Reactancias antiarmónicos

PERFEKT IN FORM UND FUNKTION

AEG

Drehstrom - Filterkreisdrosseln – FR @ Serie

Three phase - Filter Reactors – FR @ Series

Stand 2011

We take care of your Power Quality

AEG

Drehstrom - Filterkreisdrosseln – *FR @ Serie*

Anwendung

Oberschwingungen durch nichtlineare Lasten wie Stromrichterantriebe oder andere Umrichter haben in den letzen Jahren stark zugenommen. Oberschwingungsströme und die dadurch erzeugten Spannungsverzerrungen haben negative Auswirkungen auf das gesamte Energieversorgungsnetz.
Es kann zu Resonanzerscheinungen sowie Überlastung von Blindleistungskondensatoren, Kabeln und Transformatoren führen. Außerdem können SPS, Computer und andere empfindliche Geräte ausfallen.
Eine gängige Methode zur Behandlung von Oberschwingungsproblemen ist der Einsatz von Filterkreisdrosseln in Kombination mit Leistungskondensatoren in abgestimmten oder verstimmten Filterkreisen.
Neben der Verbesserung des Leistungsfaktors und der Spannungsqualität können Oberschwingungen abgesaugt werden und gefährliche Stromverstärkungen infolge von Parallelresonanzen zwischen Leistungskondensatoren und Netzinduktivitäten vermieden werden.

Aufbau

AEG Filterkreisdrosseln sind dreiphasig mit Eisenkern und Luftspalt ausgeführt. Für kleine Filterkreisdrosseln wird als Wickelmaterial Kupferdraht eingesetzt, während für große Filterkreisdrosseln Aluminiumband zur Anwendung kommt.
Die Tränkung der Filterkreisdrosseln erfolgt komplett Vakuum-Druck-imprägniert im Tränkharz der Klasse H und im Ofen ausgehärtet.

Three phase - Filter Reactors – *FR @ Series*

Application

Harmonics generated by non-linear loads such as variable speed drives or other static power conversion equipment have grown rapidly in recent years. Harmonic currents and the voltage distortion, created by these currents have devastating effects on power supply and distribution systems and connected loads.
This can result in failure of power factor correction capacitors due to overloading, system resonance, overheating of cables and transformers as well as misoperation of PLC's, computer and other sensitive appliances.
A present method to treat harmonic problems is the use of filter circuit reactors combined with power capacitors in detuned and tuned filters.
As well as the improvement of the power factor and the power quality, harmonics are also absorbed from the networks. Furthermore, a critical amplification of the current harmonics caused by a parallel resonance between the power capacitors and the inductances of the power supply system can be avoided.

Design

AEG filter circuit reactors are designed as three-phase reactors with an iron core and air gap. For small filter circuit reactors the winding material is Cu-wire, whereas for bigger filter circuit reactors, an aluminium band is used as winding material.
The filter circuit reactors are completely impregnated under vacuum and over pressure in an impregnating resin of class H and then hardened in a furnace.

AEG

Drehstrom - Filterkreisdrosseln – *FR @ Serie*

Dimensionierung
Die Dimensionierung der Filterkreisdrosseln erfolgt auf der Grundlage der Richtwerte für zulässige Grenzwerte von Oberschwingungsspannungen in öffentlichen Netzen und Industrienetzen nach IEC 1000-2-4.
Sofern es zu höheren Oberschwingungsbelastungen im Netz kommt, sind besonders ausgelegte Filterkreisdrosseln nötig. Die tatsächlichen Belastungen können mit Hilfe von Oberschwingungsanalysen festgestellt werden. Die dabei gemessenen Werte werden bei der Auslegung der Filterkreisdrosseln zu Grunde gelegt.

Verluste
Die 50 Hz Verluste sind relativ niedrig. Werden die Filterkreisdrosseln mit zusätzlichen Strömen belastet, insbesondere mit Strömen der 5., 7. und 11. Oberschwingung, kommt es zu Gesamtverlusten, die bei Einbau in Schranksystemen gegebenenfalls mittels Lüfter abgeführt werden müssen.

Geräuschemission
Filterkreisdrosseln sind bei 50 Hz oder 60 Hz Belastungen geräuschlos. Bei Nennbetrieb mit den in der Tabelle genannten Oberschwingungsströmen kann die Geräuschemission ≤60 dB erreichen, gemessen in 1 Meter Abstand. Die Anordnung der Filterkreisdrosseln sollte stehend erfolgen, und die Montage ist so vorzunehmen, dass Vibrationen nicht auf andere Anlagenteile übertragen werden.

Leiteranschlüsse
Die Anschlüsse von Filterkreisdrosseln sind mit Kabelschuhen (d=8,5mm) oder Cu-Schienen 20 x 3 mm (d=8,5mm) nach DIN 46206 ausgeführt.

Three phase - Filter Reactors – *FR @ Series*

Dimensioning
The dimensioning of the filter circuit reactors is based on the recommendation for allowable limits of voltage harmonics in public and industrial networks according to IEC 1000-2-4.
In the case of higher harmonic loads in networks, special designed filter circuit reactors have to be used.
The actual loads can be detected by means of a harmonic analysis. The measured values form the basis for the dimensioning of the filter circuit reactors.

Losses
The 50 Hz losses are comparatively low but when the filter circuit reactors are installed into the cabinets, they are charged with additional currents, predominately those of the 5th, 7th and 11th harmonics. Then the total heat losses dissipated can be of a level whereby they have to be extracted from the cabinets, by means of fans.

Noise level
Filter circuit reactors are silent when operated at 50Hz or 60Hz loads. At rated operation with harmonic currents according to the table, the noise level can reach ≤ 60 dB measured at a distance of 1 m.
The filter circuit reactors should be installed in an upright position and the assembly arranged in such a way that no vibration will be transferred to other parts of the equipment.

Terminals
The terminals for filter circuit reactors are either designed as cable terminals (d=8,5mm) or copper bus bar terminals, 20 x 3 mm (d=8,5mm) according to DIN 46206.

AEG

Technische Spezifikationen
FR @ – Drossel Serie

Technical Specification
FR @ – Reactor Series

Bemessungsspannung
Siehe Auswahltabelle

Rated voltage
See select list

Bemessungsleistung
Siehe Auswahltabelle

Rated output
See select list

Max. zulässiger Betriebsstrom
Siehe Auswahltabelle

Max. allowable operating current
See select list

Max. zulässiger Oberschwingungsstrom
Siehe Auswahltabelle

Max. allowable harmonic voltage
See select list

Linearitätsbereich
$L(1{,}2 \sum I) \geq 0{,}95\ L_N$

Linear range
$L(1{,}2 \sum I) \geq 0{,}95\ L_N$

Einstellgenauigkeit
-2% ... +3% von L_N

Adjustment accuracy
-2% ... +3% from L_N

Isolationspegel
$U_N \leq 1100$ V; 3/- kV
(Leiter-Leiter-Spannung)

Insulation level
$U_N \leq 1100$ V; 3/- kV
(Line-to-line voltage)

Verlustleistung
Siehe Auswahltabelle

Loss
See select list

Grenztemperaturen
+40°C im Jahresmittel
Isolierstoffklasse T40/H - Filterkreisdrosseln
Isolierstoffklasse T40/F - Filterkreisdrosseln

Temperature limits
+40°C annual average
Insulation class T40/H - Filter circuit reactors
Insulation class T40/F - Filter circuit reactors

Kühlungsart
Luftselbstkühlung (AN)

Cooling method
Natural cooling (AN)

Aufstellung
Innenraum

Installation
Indoor

AEG

Technische Spezifikationen
FR @ – Drossel Serie

Schutzart
IP 00

Aufstellhöhe
1000 m über NN bei Nennbetrieb

Bemessungsgrundlagen
Gemäß IEC 1000-2-4 gelten als Richtwerte in Niederspannungsnetzen folgende Oberschwingungs-spannungen in % bezogen auf die vereinbarte Betriebsspannung:

Ordnungszahl h	50 Hz Netze	60 Hz Netze	Klasse 1 (%) Öffentl. Netze	Klasse 2 (%) Industrienetze
5.	250	300	3	6
7.	350	420	3	5
11.	550	660	3	3,5
13.	650	780	3	3
17.	850	1020	2	2
19.	950	1140	1,5	1,5
23.	1150	1380	1,5	1,5
> 25.	1250	1500	0,2	0,2

Tests
Ständige test- u wettbewerbsvergleiche im auto. Testlabor
Einzelprüfung / 100 % Prüfung

Sicherheit
Übertemperaturschutz (Kaltleiter)
Öffnerkontakt (250V-50Hz-2,5A)

Standards
Filterkreisdrosseln für allgemeine Anwendungen
DIN VDE 60289 / VDE 0532-289

Hinweis
Um eine einwandfreie Funktion und lange Lebens-dauer zu erreichen, muss im Überlastfall der einge-baute Temperaturfühler den Hauptstromkreis der Filterkreisdrossel unterbrechen, außerdem ist für eine ausreichende Belüftung zu sorgen.
Der maximale Strom- / Spannungs- und Temperatur-Bereich ist einzuhalten. Die Anschlüsse müssen mit Drehmoment angezogen werden.

Technical Specification
FR @ – Reactor Series

Protection degree
IP 00

Operating altitude
1000 m above sea level at rated operation

Design specification
According to IEC 1000-2-4 the following recommended values for voltage harmonics in % related to the agreed operating voltage are valid in low voltage power supply systems:

Order no. h	50 Hz Mains	60 Hz Mains	Class 1 (%) Public mains	Class 2 (%) Industrial mains
5.	250	300	3	6
7.	350	420	3	5
11.	550	660	3	3,5
13.	650	780	3	3
17.	850	1020	2	2
19.	950	1140	1,5	1,5
23.	1150	1380	1,5	1,5
> 25.	1250	1500	0,2	0,2

Test
Continual test and comparison in authorized test laboratory
Individual check, 100 % testing

Safety
Temperature protection (PTC resistor)
Break contact (250V-50Hz-2,5A)

Standards
Filter circuit reactors for general applications
DIN VDE 60289 / VDE 0532-289

Note
In case of overload the temperature sensor must break, in order to achieve perfect functioning and long life of the system, in addition a sufficient cooling air must be provided.
Keep the maximum current- / voltage- and temperature range. Tighten the connections with torque.

AEG

Auswahlliste *FR @ – Serie*

Sample list *FR @ – Series*

Leistung Power [kvar]	Filterkreisdrossel Typ Filter reactor type Bestell Nr. / Order code	L 3x... [mH]	Wickel Winding Al / Cu	Gewicht Weight [kg]	Abb. / Abm. Fig. / Dim.	Verluste Losses [W] 50 Hz	 r.m.s	Max. Betriebsstrom Max. operating current [A] 50 Hz	 250 Hz	 350 Hz	Empfohlene Kondensatoren Recommended capacitors Typ / Type
für Netze mit 400 V / 50 Hz + 6%DU ; Mains with 400 V / 50 Hz + 6%DU											
Abgestimmt auf 210 Hz (p = 5,67%) / Detuned to 210 Hz (p = 5,67%)											
5	FR5,59-5,67@8/5/1	5,59	Cu	7	1 C	28	72	8,4	5,4	1,5	AE 8,5 TDG 525D
6,25	FR4,99-5,67@9/6/2	4,99	Cu	7	1 C	33	85	9,4	6,1	1,7	AE 10 TDG 525D
8,33	FR3,49-5,67@13/9/2	3,49	Cu	8	1 C	40	93	13,5	8,6	2,4	AE 15 TDG 525D
10	FR2,80-5,67@17/11/3	2,80	Cu	12	1 D	30	113	16,8	10,7	2,9	AE 14,5 TDG 480D
12,5	FR2,49-5,67@19/12/3	2,49	Cu	13	1 D	47	98	18,9	12,0	3,3	AE 20 TDG 525D
16,7	FR1,94-5,67@24/16/4	1,94	Cu	13	1 D	55	120	24,0	15,5	4,3	AE 25 TDG 525D
22	FR1,40-5,67@34//21/6	1,4	Cu	16	1 E	60	130	33,5	21,4	5,9	AE 30 TDG 480D
25	FR1,26-5,67@37/24/7	1,26	Cu	19	1 F	80	158	37,2	23,8	6,6	AE 28 TDG 440D
30	FR1,05-5,67@45/29/8	1,05	Cu	21	1 F	76	164	44,6	28,6	7,9	AE 12,5 TDG 525D + AE 30 TDG 480D
33,3	FR0,93-5,67@50/32/9	0,93	Cu	21	1 F	69	199	50,4	32,2	8,9	AE 14,5 TDG 480D + AE 30 TDG 480D
40	FR0,76-5,67@62/39/11	0,76	Cu	25	1 G	84	197	61,7	39,4	10,8	AE 24 TDG 480D + AE 30 TDG 480D
50	FR0,63-5,67@74/48/13	0,63	Cu	30	1 K	105	249	74,4	47,6	13,1	2 x AE 28 TDG 440D
Abgestimmt auf 189 Hz (p = 7%) / Detuned to 189 Hz (p = 7%)											
5	FR6,90-7,00@8/3/1	6,90	Cu	6	1 A	36	54	8,5	3,0	1,1	AE 8,5 TDG 525D
6,25	FR6,16-7,00@10/3/1	6,16	Cu	8	1 B	48	66	9,5	3,4	1,3	AE 10 TDG 525D
8,33	FR4,31-7,00@14/5/2	4,31	Cu	10	1 C	43	59	13,7	4,8	1,7	AE 15 TDG 525D
10	FR3,45-7,00@17/6/2	3,45	Cu	9	1 C	63	83	17,1	6,0	2,2	AE 14,5 TDG 480D
12,5	FR3,07-7,00@19/7/2	3,07	Cu	13	1 D	59	98	19,1	6,7	2,4	AE 20 TDG 525D
16,7	FR2,40-7,00@24/9/3	2,40	Cu	16	1 E	55	101	24,5	8,6	3,1	AE 25 TDG 525D
22	FR1,73-7,00@34/12/4	1,73	Al	17	2 F	56	107	34,0	11,9	4,3	AE 30 TDG 480D
25	FR1,56-7,00@38/13/5	1,56	Al	17	2 F	96	157	37,6	13,2	4,8	AE 28 TDG 440D
30	FR1,29-7,00@46/16/6	1,29	Al	17	2 F	137	208	45,5	16,0	5,8	AE 12,5 TDG 525D + AE 30 TDG 480D
33,3	FR1,15-7,00@51/18/7	1,15	Al	23	2 H	130	197	51,0	18,0	6,5	AE 14,5 TDG 480D + AE 30 TDG 480D
40	FR0,95-7,00@62/22/8	0,95	Al	26	2 H	113	210	62,0	21,7	7,8	AE 24 TDG 480D + AE 30 TDG 480D
50	FR0,78-7,00@75/26/10	0,78	Al	26	2 H	156	267	75,2	26,4	9,5	2 x AE 28 TDG 440D
60	FR0,63-7,00@93/33/12	0,63	Al	35	2 L	135	273	93,2	32,7	11,8	2 x AE 24 TDG 480D + AE 28 TDG 440D
75	FR0,52-7,00@113/40/14	0,52	Al	35	2 L	181	333	113,0	39,6	14,3	3 x AE 28 TDG 440D
Abgestimmt auf 141 Hz (p = 12,5%) / Detuned to 141 Hz (p = 12,5%)											
6,25	FR13,2-12,5@9/1/0	13,2	Cu	9	1 C	84	88	8,5	1,0	0,5	AE 8,5 TDG 525D
8,33	FR9,17-12,5@12/2/1	9,17	Cu	13	1 D	74	80	12,2	1,5	0,7	AE 12,5 TDG 525D
12,5	FR6,17-12,5@18/2/1	6,17	Cu	14	1 D	90	99	18,1	2,1	1,0	AE 14,5 TDG 480D
16,7	FR4,58-12,5@24/3/1	4,58	Cu	17	1 E	110	122	24,4	2,9	1,4	AE 8,5 TDG 525D + AE 15 TDG 525D
25	FR3,08-12,5@36/4/2	3,08	Al	28	2 H	152	167	36,2	4,2	2,0	AE 30 TDG 480D
37,5	FR2,05-12,5@54/6/3	2,05	Al	38	2 L	162	183	54,4	6,4	3,1	AE 14,5 TDG 480D + AE 30 TDG 480D
50	FR1,54-12,5@72/9/4	1,54	Al	40	2 M	242	269	72,3	8,5	4,1	2 x AE 30 TDG 480D
60	FR1,22-12,5@91/11/5	1,22	Al	43	2 M	250	287	91,3	10,7	5,2	3 x AE 30 TDG 525D
Abgestimmt auf 133 Hz (p = 14%) / Detuned to 133 Hz (p = 14%)											
6,25	FR14,8-14,0@9/1/0	14,8	Cu	9	1 B	63	67	8,6	0,8	0,4	AE 8,5 TDG 525D
8,33	FR10,3-14,0@12/1/1	10,3	Cu	13	1 D	79	84	12,4	1,2	0,6	AE 12,5 TDG 525D
12,5	FR6,90-14,0@19/2/1	6,90	Cu	16	1E	104	112	18,5	1,8	0,9	AE 14,5 TDG 480D
16,7	FR5,12-14,0@25/2/1	5,12	Cu	21	1 F	101	110	24,8	2,5	1,2	AE 8,5 TDG 525D + AE 15 TDG 525D
25	FR3,46-14,0@37/4/2	3,46	Al	26	2 H	159	174	36,7	3,6	1,8	AE 30 TDG 480D
37,5	FR2,31-14,0@55/5/3	2,31	Al	36	2 L	177	167	55,0	5,4	2,7	AE 14,5 TDG 480D + AE 30 TDG 480D
50	FR1,73-14,0@73/7/4	1,73	Al	41	2 M	182	208	73,4	7,1	3,6	2 x AE 30 TDG 480D
60	FR1,37-14,0@93/9/5	1,37	Al	41	2 M	282	316	92,6	9,1	4,5	3 x AE 30 TDG 525D

Die in der Tabelle genannten Parameter sind ca. Werte und können leicht abweichen / The ratings above mentioned are approx. and a slight difference is to consider
Weitere Leistungen und Abmessungen sind auf Anfrage lieferbar / Varying ratings or dimensions are available on request

AEG

Abmessungen / Design
FR @ - Drossel Serie

Dimension / Design
Fr @ - Reactor Series

Mit Rohrkabelschuh
With cable shoe

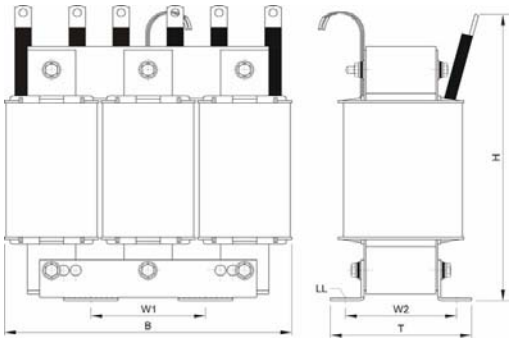


Abb. / Fig. 1

Mit Anschlusswinkel
With copper bus bar

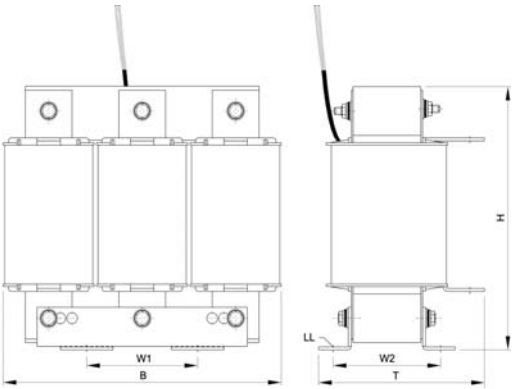


Abb. / Fig. 2

Abmessungen Dimension Ca. / Approx.	H Abb. 1 Fig. 1	H Abb. 2 Fig. 2	B	T Abb. 1 Fig. 1	T Abb. 2 Fig. 2	W1	W2
A	165	190	180	85	-	95	62,5
B	165	190	180	95	-	95	72,5
C	165	190	180	105	-	95	82,5
D	195	220	210	110	-	95	86
E	220	245	240	105	135	95	81
F	220	245	240	115	145	95	91
G	220	245	240	130	160	95	105
H	240	265	260	135	165	95	112
K	270	295	300	105	145	95	82
L	270	295	300	150	180	95	107
M	270	295	300	180	210	95	122

[mm]

AEG

Typenschlüssel / Type code:
(Beispiel / Example)

Induktivität / Inductance

Betriebsströme / Operating current (50 / 250 / 350 Hz)

FR *0,78* - *7* @ *75* / *26* / *10*

F _ Filter / Filter
R _ Drossel / Reactor

Verdrosselung / Detuned [%]

Zusätzliches Lieferprogramm / Additional sales program:

Blindleistungsregler / Power factor controller

Kondensatorschütze / Capacitor switching contactors
Schütze / Contactor

Thyristor-Leistungssteller / Thyristor power module
Thyrosteller / Thyro-switch

Leistungskondensatoren / Power capacitors
Drehstrom / Three-phase
Einphasen / Single-phase

Kompensationsanlagen / Compensation systems
Dynamische Kompensation / Dynamic compensation
Aktive Filter / Active filter systems

IV.2. Condensadores

PERFEKT IN FORM UND FUNKTION

AEG

Drehstrom - Leistungskondensatoren – TDG Serie

Three phase - Power capacitors – TDG Series

Stand 2010

We take care of your Power Quality

AEG

Drehstrom - Leistungskondensatoren – *TDG Serie*

Aufbau
AEG TDG Kondensatoren bestehen aus verlustarmen metallisierten Polypropylen-Folien, in MK-Technik und mit Aluminiumgehäuse. Die Teilkapazitäten der Drehstromkondensatoren sind standardmäßig im Dreieck, für die 690V-Kondensatoren im Stern, geschaltet. Die Eigenerwärmung (derzeit niedrigste im Wettbewerb) wird durch eine innovative Anordnung extrem niedrig gehalten. Die Kondensatoren sind trocken ausgeführt und durch hochreines, ungiftiges Gas (PCB & SF-6 frei) befüllt, entsprechend den (inter)nationalen Richtlinien.

Merkmale
TDG Kondensatoren "Made in Germany" haben eine erhöhte Lebensdauer, sie besitzen eine hervorragende Strom- und Spannungsbelastbarkeit. AEG TDG-Technik vereinigt qualitativ hochwertigste Materialien und die entsprechende Verarbeitung.

Selbstheilung
In Niederspannungsnetzen können durch Schaltvorgänge unzulässig hohe Spannungsspitzen der Netzspannung auftreten. Führen diese Belastungen zu Durchschlägen im Dielektrikum, wird der Selbstheileffekt wirksam. Der Kondensator bleibt nach dem Selbstheilvorgang voll funktionsfähig. Die Kapazitätsminderung ist vernachlässigbar klein.

Abreißsicherung
AEG TDG Kondensatoren für Niederspannung werden mit eingebauten Überdruck-Abreißsicherungen hergestellt. Im Zerstörungsfall tritt im Kondensator durch Temperaturanstieg und Gasbildung eine Druckerhöhung auf. Diese bewirkt eine Gehäuseverlängerung durch Dehnung des Kondensatordeckels und damit eine Stromunterbrechung durch Abreißen der Zuführungsleitung an der Sollbruchstelle. Der Kondensator wird sicher vom Netz getrennt.

Three phase - Power capacitor – *TDG Series*

Construction
AEG TDG capacitors consist of a low-loss metallized polypropylene film, MK-technology and Aluminium encased. The partial capacitances of the three-phase capacitors are connected in delta, for 690V capacitors as star circuit. The innovative construct assures the lowest increase of self-heating (currently lowest in contest). The capacitors are dry and filled with highly pure, nontoxic gas (non PCB & SF-6), in accordance with national and international regulations.

Notes
TDG Capacitors "Made in Germany" have a long life expectancy in conjunction with excellent current and voltage capacity. AEG TDG technology represents the highest material standards in conclusion with equal processing.

Self-healing
Due to switching operations, inadmissible voltage peaks of the rated voltage can occur in low voltage networks. If these stresses effect a dielectric breakdown, the self-healing mechanism will function. After self-healing, the capacitor continues its complete operation. The decrease in capacitance is negligible.

Expansion fuse
AEG TDG capacitors for low voltage are equipped with overpressure expansion fuses. In case of destruction, an internal pressure rise is effected by an increase in temperature and a gas generation in the capacitor. The case of the capacitor will expand in the axial direction. Due to the expansion, the rated break point will break and the power capacitor will be disconnected safely from the power supply system.

AEG

Technische Spezifikationen
TDG – Kondensator Serie

Bemessungsspannung
Rated voltage

Bemessungsfrequenz
50 / 60 Hz

Bemessungsleistung
+-5 % / Siehe Auswahltabelle

Bemessungsstrom
Siehe Auswahltabelle

Max. zulässige Betriebsspannung
1,0 x U_N ständig
1,1 x U_N 8 h täglich
1,15 x U_N 30 Minuten täglich
1,2 x U_N 200 x 5 Minuten
1,3 x U_N 200 x 1 Minute

Max. zulässiger Betriebsstrom
1,5 x I_N ständig (bis 15,9kvar)
2,0 x I_N ständig (ab 15,9kvar)

Max. zulässiger Einschaltstrom
≤ 300 I_N

Isolationspegel
U_N ≤ 660 V; 3/- kV (10sec.)
U_N > 660 V; 6/- kV (10sec.)

Spannungsprüfung (Klemme - Klemme)
2,15 x U_{nenn} (AC), 2 sec.

Temperaturklasse
-25/D (auf Anfrage -40 / 60)

Lebensdauer
125.000 Betriebsstunden

Technical Specification
TDG – Capacitor Series

Siehe Auswahltabelle
See selection list

Rated frequency
50 / 60 Hz

Rated output
+-5 % / See selection list

Rated current
See selection list

Max. allowable operating voltage
1,0 x U_N permanent
1,1 x U_N 8 h daily
1,15 x U_N 30 minutes daily
1,2 x U_N 200 x 5 minutes
1,3 x U_N 200 x 1 minute

Max. allowable operating current
1,5 x I_N permanent (up to 15,9kvar)
2,0 x I_N permanent (from 15,9kvar)

Max. allowable inrush current
≤ 300 I_N

Insulation level
U_N ≤ 660 V; 3/- kV (10sec.)
U_N > 660 V; 6/- kV (10sec.)

Spannungsprüfung (terminal - terminal)
2,15 x U_{nenn} (AC), 2 sec.

Temperature class
-25/D (on request -40 / 60)

Life time
125.000 operating hours

AEG

Technische Spezifikationen
TDG – Kondensator Serie

Schutzart
IP20

Verlustleistung
≤ 0,25 W / kvar (ohne Entladewiderstand)
≤ 0,15 W / kvar Dielektrikum

Grenztemperaturen
+45 °C im 24 h-Mittel
+35 °C im Jahresmittel
+55 °C Höchstwert, kurzzeitig
- 25 °C Tiefstwert

Max. zulässige Temperatur an Gehäuseoberfläche
65 °C

Max. zulässige Luftfeuchtigkeit
≤ 95 %

Aufstellhöhe
4000 m über NN bei Nennbetrieb

Einbaulage
Beliebig

Aufstellung/Anwendung
Innenraum

Dielektrikum
Polypropylen

Imprägnierung
Hoch reines Gas, SF6-frei, PCB-frei

Kühlung / Erwärmung
Selbstkühlung
Niedrigste Eigenerwärmung im Wettbewerb (45 °C)

Technical Specification
TDG – Capacitor Series

Protection degree
IP20

Loss
≤ 0,25 W / kvar (without discharging resistors)
≤ 0,15 W / kvar dielectric

Temperature limits
+45 °C average in 24 hours
+35 °C annual average
+55 °C maximum, short time
- 25 °C low limit

Max. casing temperature
65 °C

Max. permissible relative humidity
≤ 95 %

Operating altitude
4000 m above sea level at rated operation

Mounting position
Optional

Installation/Application
Indoor

Dielectric
Polypropylene film

Impregnation
High purity gas, Non-SF6, Non-PCB

Cooling / Heating
Naturally air cooled
Lowest temperature rise of comp. with competitors (45 °C)

AEG

Technische Spezifikationen
TDG – Kondensator Serie

Entladung / Anschlussklemme
Entladewiderstände an den Klemmen
3 Widerstände mit 120 Ω im Dreieck
Entladezeit < 60 s (75 V)
Fingersichere, doppelseitige Anschlussklemme

Sicherheit
Trockentechnik
Abreißsicherung 3-phasig
Fingersichere Anschlussgehäuse
Selbstheilung
Ausdehnung max. 12 mm
Mindestabstand nach oben 13 mm

Anschlussgehäuse
Abstand der Anschlüsse 13 mm
Anschlussschraube M 5
Anschlussgehäuse 35 mm
Anzugsmoment 2,5 Nm

Montage
Gewindebolzen am Boden
Gewindebolzen M 12, Höhe 12 mm
Anzugsdrehmoment 10 Nm
Zahnscheibe J12 DIN 6797
Sechskantmutter BM12 DIN 439

Tests
Ständige test- u wettbewerbsvergleiche im auto. Testlabor
Einzelprüfung / 100 % Prüfung

Standards
IEC 60831 Teil 1, 2
EN 60831 Teil 1, 2
DIN VDE 0560, Teil 46, 47

Technical Specification
TDG – Capacitor type

Discharging / Terminals
Discharge resistors at the terminals
3 Resistors with 120 Ω, delta connected
Discharge time < 60 s (75 V)
Protected, bi-directional terminal

Safety
Dry technology
3-phase Expansion fuse
Finger proof terminal
Self healing
Expansion max. 12 mm
Minimum distance top 13 mm

Terminal
Contact distance 13mm
Terminal clamp M 5
Terminal height 35 mm
Torque 2,5 Nm

Mounting
Stud on Bottom
Stud M 12, height 12 mm
Torque 10 Nm
Toothed washer J12 DIN 6797
Hex nut BM12 DIN 439

Test
Continual test and comparison in authorized test laboratory
Individual check, 100 % testing

Standards
IEC 60831 part 1, 2
EN 60831 part 1, 2
DIN VDE 0560, part 46, 47

AEG

Auswahlliste TDG Serie

Sample list TDG Series

Bemessungsleistung Rated power [kvar] 50 Hz	 60 Hz	Bemessungs-kapazität Rated capacitance [µF] +5% / -5%	Ver-schaltung Connected	Bemessungsstrom Rated current [A] 50 Hz	 60 Hz	Gewicht ca. Weight appr. [kg]	Abmess-ungen Dimensions [mm] D x H	Bestellbezeichnung Order code
Spannung / Voltage 400 V								
5	6	3 x 33	Δ	7,2	8,7	1,3	95 x 210	AE 8,5 TDG 525D
10	12	3 x 66	Δ	14,4	17,3	1,8	95 x 210	AE 14,5 TDG 480D
12,5	15	3 x 83	Δ	18	21,6	1,8	95 x 210	AE 15 TDG 440D
16,5	20	3 x 110	Δ	23,8	28,8	2,4	116 x 210	AE 24 TDG 480D
21	25	3 x 137	Δ	30	36	3,5	136 x 210	AE 30 TDG 480D
25	30	3 x 166	Δ	36	43,3	3,5	136 x 210	AE 30 TDG 440D
Spannung / Voltage 440 V								
6	7	3 x 33	Δ	7,9	9,3	1,3	95 x 210	AE 8,5 TDG 525D
12	14,5	3 x 66	Δ	15,7	19	1,8	95 x 210	AE 14,5 TDG 480D
15	18	3 x 83	Δ	19,7	23,7	1,8	95 x 210	AE 15 TDG 440D
17,5	21	3 x 96	Δ	23	27,6	2,5	116 x 210	AE 25 TDG 525D
20	24	3 x 110	Δ	26,2	31,5	2,4	116 x 210	AE 24 TDG 480D
25	30	3 x 137	Δ	32,8	39,5	3,5	136 x 210	AE 30 TDG 480D
28	34	3 x 154	Δ	36,8	44,5	3,5	136 x 210	AE 28 TDG 440D
30	36	3 x 166	Δ	39,5	47,5	3,5	136 x 210	AE 30 TDG 440D
Spannung / Voltage 480 V								
7	8,5	3 x 33	Δ	8,5	10,3	1,3	95 x 210	AE 8,5 TDG 525D
12,5	15	3 x 58	Δ	15	18	1,9	95 x 210	AE 15 TDG 525D
14,5	17	3 x 66	Δ	17,4	20,5	1,8	95 x 210	AE 14,5 TDG 480D
16,5	20	3 x 77	Δ	19,9	24,1	2,2	116 x 210	AE 20 TDG 525D
21	25	3 x 96	Δ	25,2	30,1	2,5	116 x 210	AE 25 TDG 525D
25	30	3 x 116	Δ	30,1	36	3,6	136 x 210	AE 30 TDG 525D
30	36	3 x 137	Δ	36	43	3,5	136 x 210	AE 30 TDG 480D
33,5	40	3 x 154	Δ	44,2	48,3	3,6	136 x 210	AE 33,5 TDG 480D
Spannung / Voltage 525 V								
8,5	10,5	3 x 33	Δ	9,4	11,5	1,3	95 x 210	AE 8,5 TDG 525D
10	12	3 x 39	Δ	11	13,2	1,8	95 x 210	AE 10 TDG 525D
12,5	15	3 x 48	Δ	13,8	16,5	1,8	95 x 210	AE 12,5 TDG 525D
15	18	3 x 58	Δ	16,5	19,8	1,9	95 x 210	AE 15 TDG 525D
20	24	3 x 77	Δ	22	26,4	2,2	116 x 210	AE 20 TDG 525D
25	30	3 x 96	Δ	27,5	33	2,5	116 x 210	AE 25 TDG 525D
30	36	3 x 116	Δ	33	39,6	3,6	136 x 210	AE 30 TDG 525D
37	44,5	3 x 142	Δ	40,7	48,8	3,8	136 x 210	AE 37 TDG 525D
Spannung / Voltage 690 V								
10	12	3 x 22	Y	8,4	13,2	1,9	95 x 210	AE 10 TDG 690S
12,5	15	3 x 28	Y	10,5	16,5	2,0	116 x 210	AE 12,5 TDG 690S
15	18	3 x 33	Y	12,6	19,8	2,2	116 x 210	AE 15 TDG 690S
20	24	3 x 45	Y	16,7	26,4	3,0	116 x 210	AE 20 TDG 690S
25	30	3 x 56	Y	20,9	33	3,5	136 x 210	AE 25 TDG 690S

Weitere Leistungen und Abmessungen sind auf Anfrage lieferbar / Varying power or dimensions are available on request

AEG

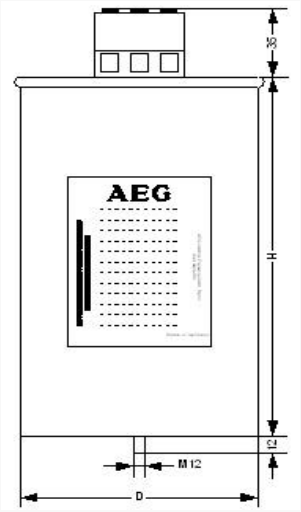
Typenschlüssel / Type code:

(Beispiel / Example)

Bemessungsleistung / Rated power

Bemessungsspannung / Rated voltage

AE	28	TDG	440	D
A _ Aluminium E _ Encased		T _ Three phase D _ Dry technology G _ Gas impregnated		D _ Delta connected S _ Star connected



TDG Serie / Series - Abmessungen / Dimension

TDG Serie / Series - Bilder / Pictures

Zusätzliches Lieferprogramm / Additional sales programm:

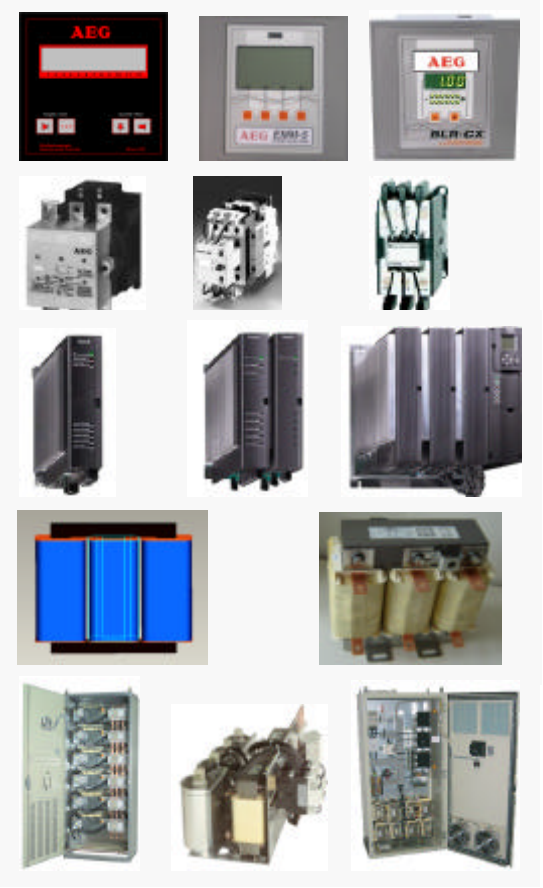
Blindleistungsregler / Power factor controller

Kondensatorschütze / Capacitor switching contactors
Schütze / Contactor

Thyristor-Leistungssteller / Thyristor power module
Thyrosteller / Thyro-switch

Filterkreisdrosseln / Reactors for filtercircuits
Entladedrosseln / Discharge Reactors

Kompensationsanlagen / Compensation systems
Dynamische Kompensation / Dynamic compensation
Aktive Filter / Active filter systems



IV.3. Regulador del factor de potencia

Features that matter:

Power Factor Control Relays
Type RM 9606

Description

Microprocessor-based control relay for intelligent control of capacitor banks with 6 control contacts.

Simple Commissioning

By automatic identification of threshold current (c/k value), phase angle, connected capacitor stages and switching sequences.

Operator Overview

Through clear digital display of key momentary values and operating parameters.

- Power factor (cos φ)
- Apparent (RMS), active and reactive currents
- 5th, 7th, 11th and 13th voltage harmonics
- Total capacitive power required to meet target power factor setting

Monitoring of Harmonic Levels

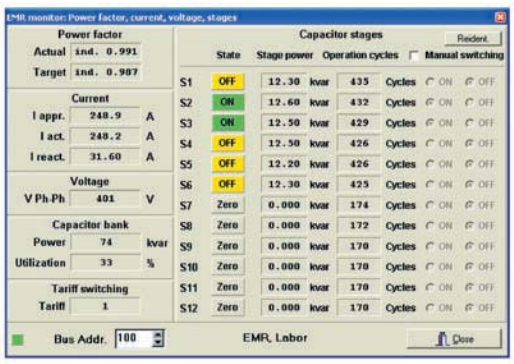
By continuous monitoring and display of harmonic voltage levels. In the event of harmonic levels exceeding programmable limits, all capacitors will be switched off through overcurrent alarm.

Prolongs Switchgear Life

The RM 9606 counts, stores and displays the number of switching operations for each individual capacitor stage. An alarm is triggered if the switching counters exceed programmable limits.

Additional Protection for Capacitors

The RMS current monitoring function provides excellent protection for capacitor banks without harmonic filters, especially when resonance causes an increase in harmonic levels.



Configuration and remote indication of the measuring values via RS232 interface with EMR 1100.

Intelligent Control for Increased Equipment Life

- Cyclic switching for capacitor stages of the same rating.
- Accurate switching of capacitor stages prevents unnecessary switchings for responsive control.
- Continuous optimisation of switching delay according to required reactive current.

Features

- Potential-free alarm contact.
- Programmable overcurrent alarm threshold limit (from 1.05 to 3.0 x I_{rms}).
- Continuous monitoring for defective capacitor stages through self adjustment of control program.
- Zero voltage and zero current tripping with alarm signal.
- Patented ”kinked“ control curve characteristics avoid overcompensation under light load.
- Four-quadrant power control with LED display when active power is generated into mains.
- Manual/automatic operation with ability to switch each individual capacitor stage ON or OFF.
- Target power factor setting adjustable from 0.80 inductive to 0.90 capacitive in steps of 0.01.
- Preset up to three fixed capacitor stages which will be excluded from normal automatic operation.
- Independent setting of capacitor switching time to match discharge time of capacitor stages.
- Suitable for current transformers with rated secondary current of 1 A or 5 A.

Alarm Signals for

- Undercompensation
- High harmonic levels
- Overcurrent
- Switching counters
- Fault in voltage circuit (U = 0 alarm)
- Fault in current circuit (I = 0 alarm)
- Fault in capacitor stages (C = 0 alarm)

Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen II
Planos

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

SEAT Martorell

Armario de compensación T01

1	2	3	4	5	2				
	Portada	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR Geändert USR Gep Daniel Martínez	am: 27. May. 2002 am: 12. Dic. 2011 Druck: 15. Dic. 2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. 18 Blatt-Nr. 1		

Nº	Name	Fecha	Pag.	Circ	Espec. de correcciones	I.	R.	A.	C.

Nº	Name	Fecha	Pag.	Circ	Espec. de correcciones	I.	R.	A.	C.

Nº	Name	Fecha	Pag.	Circ	Espec. de correcciones	I.	R.	A.	C.

I=INSERTACIóN, R=REMOV., C=NC, A=NA

1 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 3

SEAT

Hoja de revisión

Armario de compensación T01
SEAT Martorell

Bearb.	USR	am:	27. May. 2002
Geändert	USR	am:	12. Dic. 2011
Gep©aniel Martínez		Druck:	15. Dic. 2011

Zeichnungs-Nummer

TFG

=

+NKO

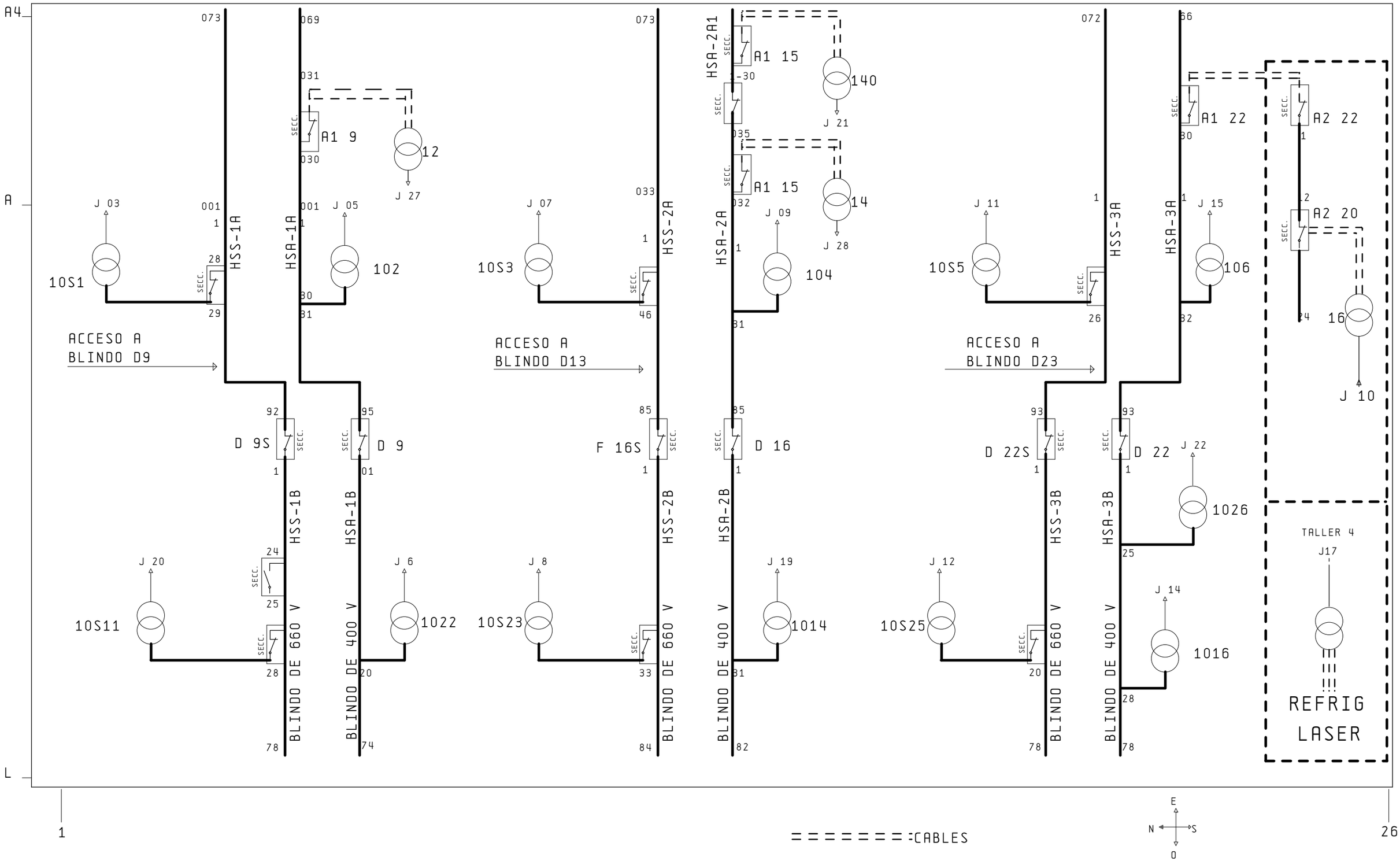
Zeichn.-Anz. s. Bl. 1

Blatt-Nr.

2

Sitio	PAGINA	Designación de paginas	última corrección	Correctado	Preparado	Estación de trabajo
NKO	+NKO/1	Portada	12. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/2	Hoja de revisión	12. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/3	Contenido	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/4	Blindo Barra T01	15. Dic. 2011		USR	USR
NKO	+NKO/5	Cableado	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/6	Regulador de potencia reactiva	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/7	Módulo de compensación 1	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/8	Módulo de compensación 2	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/9	Módulo de compensación 3	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/10	Control de módulos de compensación	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/11	Control de módulos de compensación	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/12	Supervisión	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/13	Alumbrado	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/14	Estructura - control	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/15	Vistas	15. Dic. 2011	JPL/Leukh.	JPL	USR
NKO	+NKO/16	+NKO-X6	15. Dic. 2011		AWI	USR
NKO	+NKO/17	+NKO-X6	15. Dic. 2011		AWI	USR
NKO	+NKO/18	Lista de materiales	15. Dic. 2011		JPL	USR

BLINDO BARRA TALLER 1



SEAT	UPC		Blindo Barra T01	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR	am: 27. May. 2002	Zeichnungs-Nummer	Zeichn.-Anz. s. Bl. 1
					Geändert USR	am: 15. Dic. 2011	TFG	Blatt-Nr.
					Gep. Daniel Martínez	Druck: 15. Dic. 2011		4

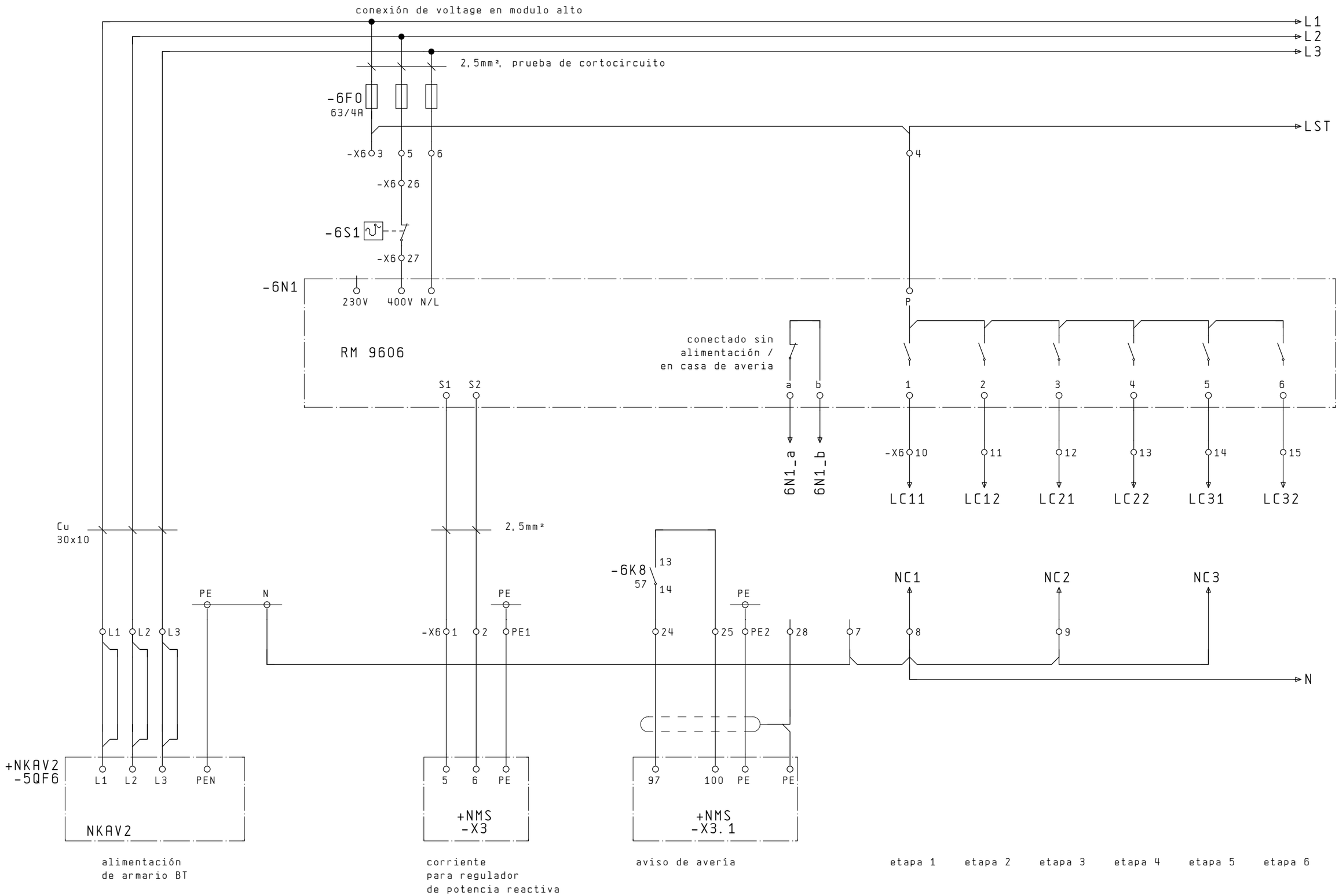
= +NKO

colores del cableado :

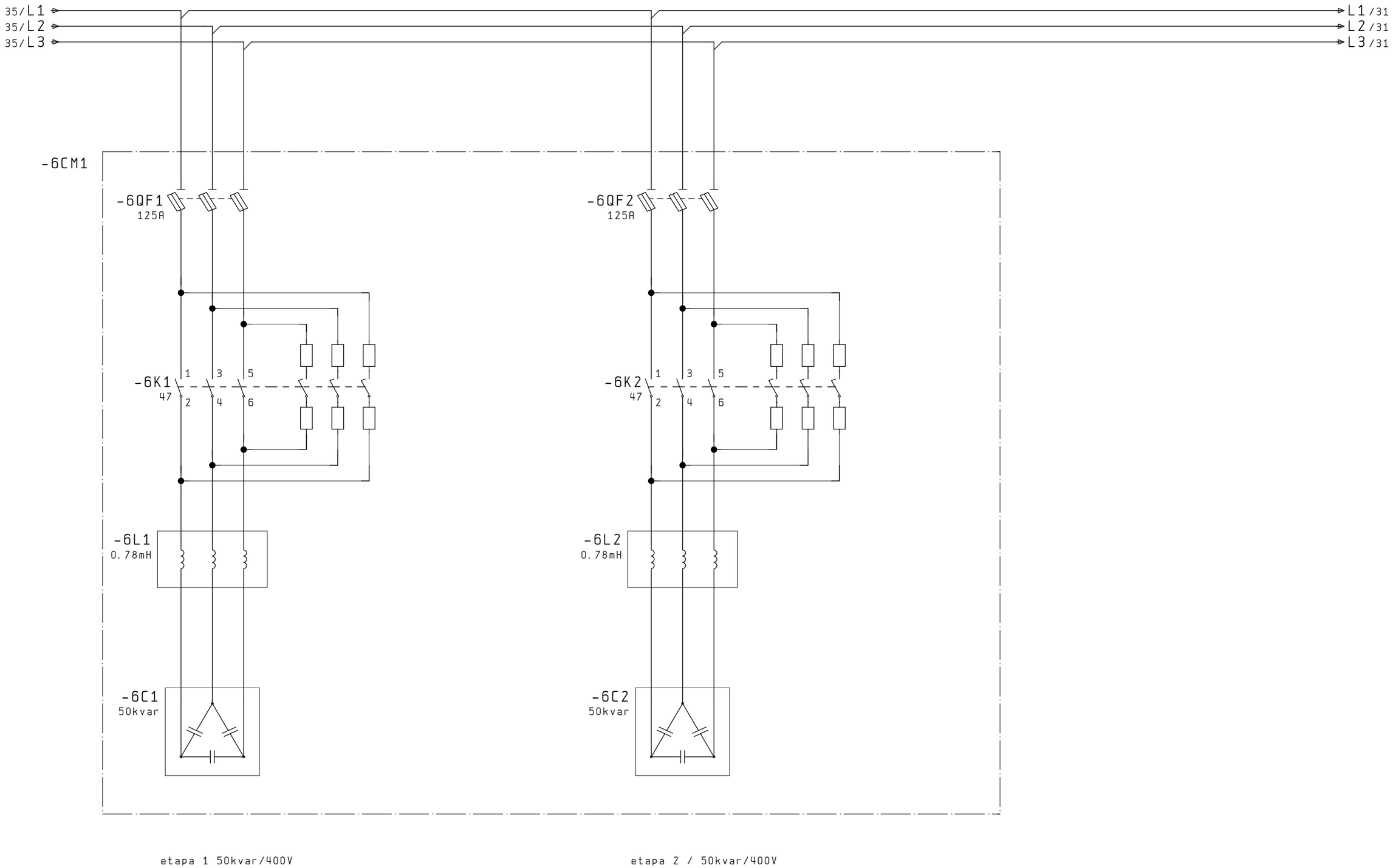
Circuitos principales CA y CC	:	negro (BK)
Conductor neutro (N)	:	azul claro (LBU)
Conductor de protección (PE)	:	verde-amarillo (GNYE)
Circuitos de control AC	:	rojo (RD)
Circuitos de control DC	:	azul (BU)
Contactos libre de potencial	:	naranja (OG)
Voltaje externo y bloqueo	:	naranja (OG)
Conductores convertidores de corriente	:	negro (BK)

Minimo de sección transversal de los cables

Circuitos principales CA y CC	:	35mm²
Circuitos de control CA y CC	:	1,5mm²
Cables para medición de corriente -/5A	:	2,5mm²

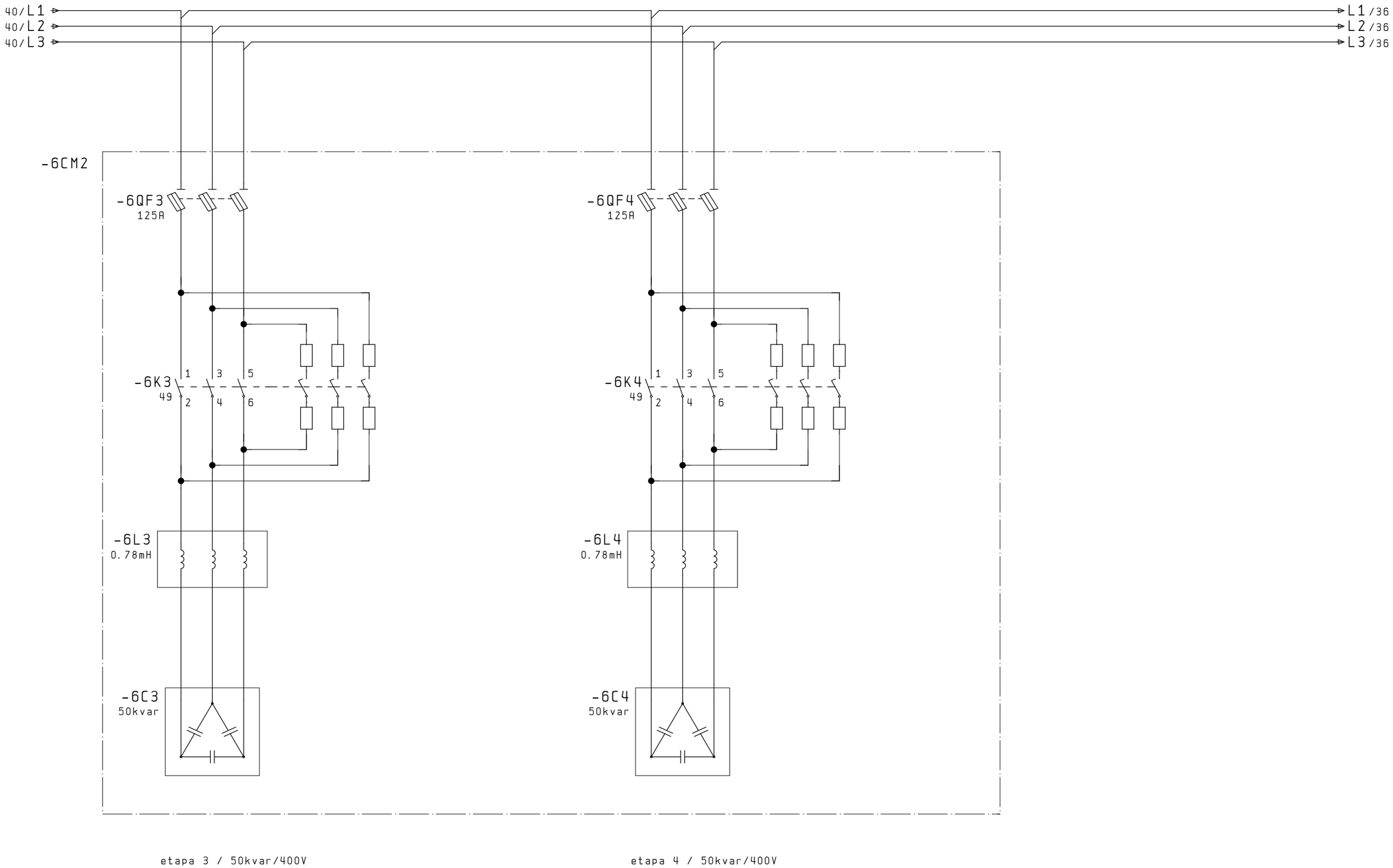


← 5	26	27	28	29			30	7 →	
SEAT	UPC	Regulador de potencia reactiva	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR	am: 27.May.2002	Zeichnungs-Nummer	=	Zeichn.-Anz. s.Bl.1	
				Geändert USR	am: 15.Dic.2011	TFG		Blatt-Nr.	
				Gep. Daniel Martínez	Druck: 15.Dic.2011		+NKO	6	

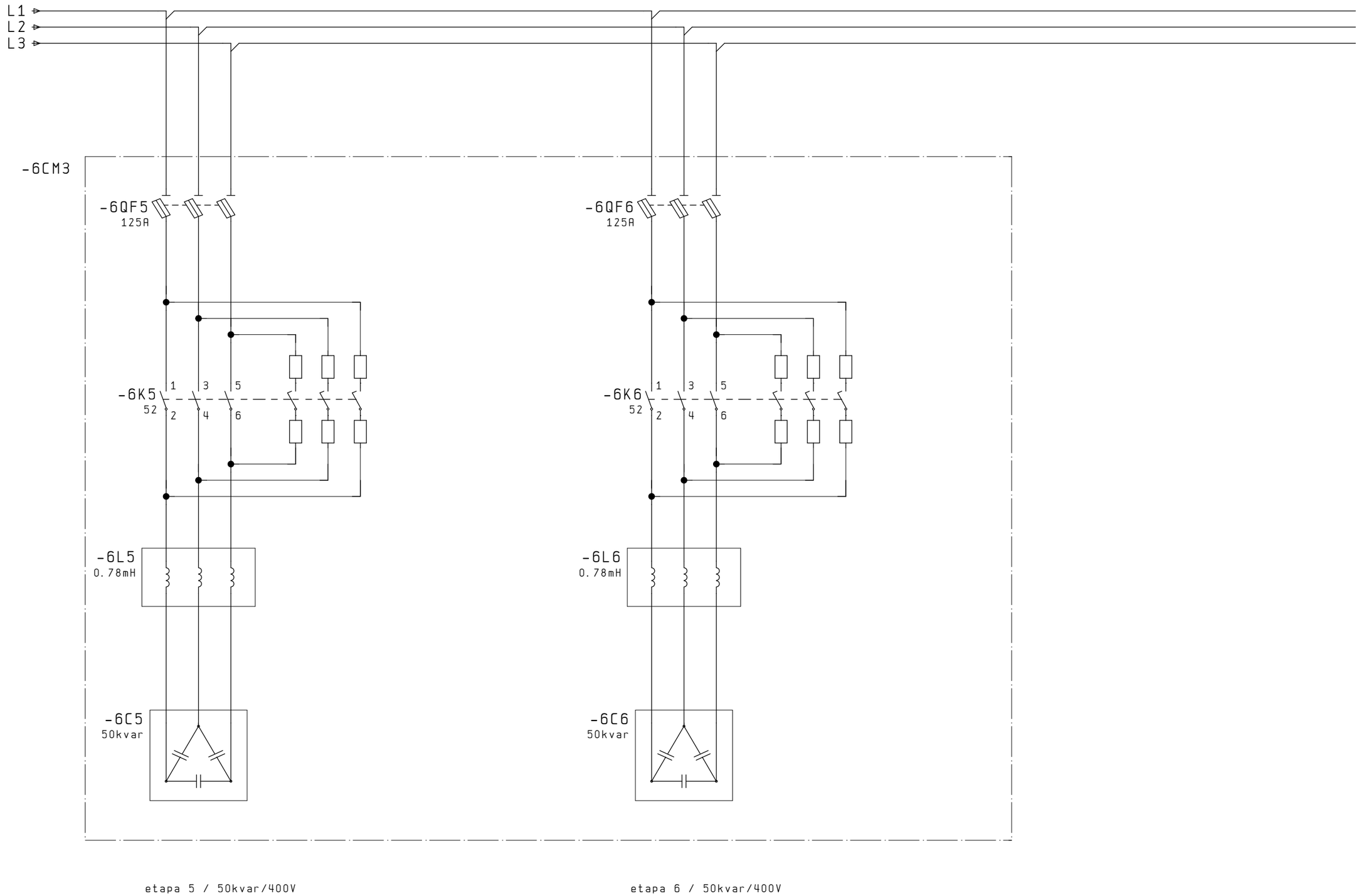


6	31	32	33	34	35	8

SEAT	UPC	Módulo de compensación 1	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR Geändert USR Gep. Daniel Martínez	am: 27.May.2002 am: 15.Dic.2011 Druck: 15.Dic.2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s.Bl.1 Blatt-Nr. 7

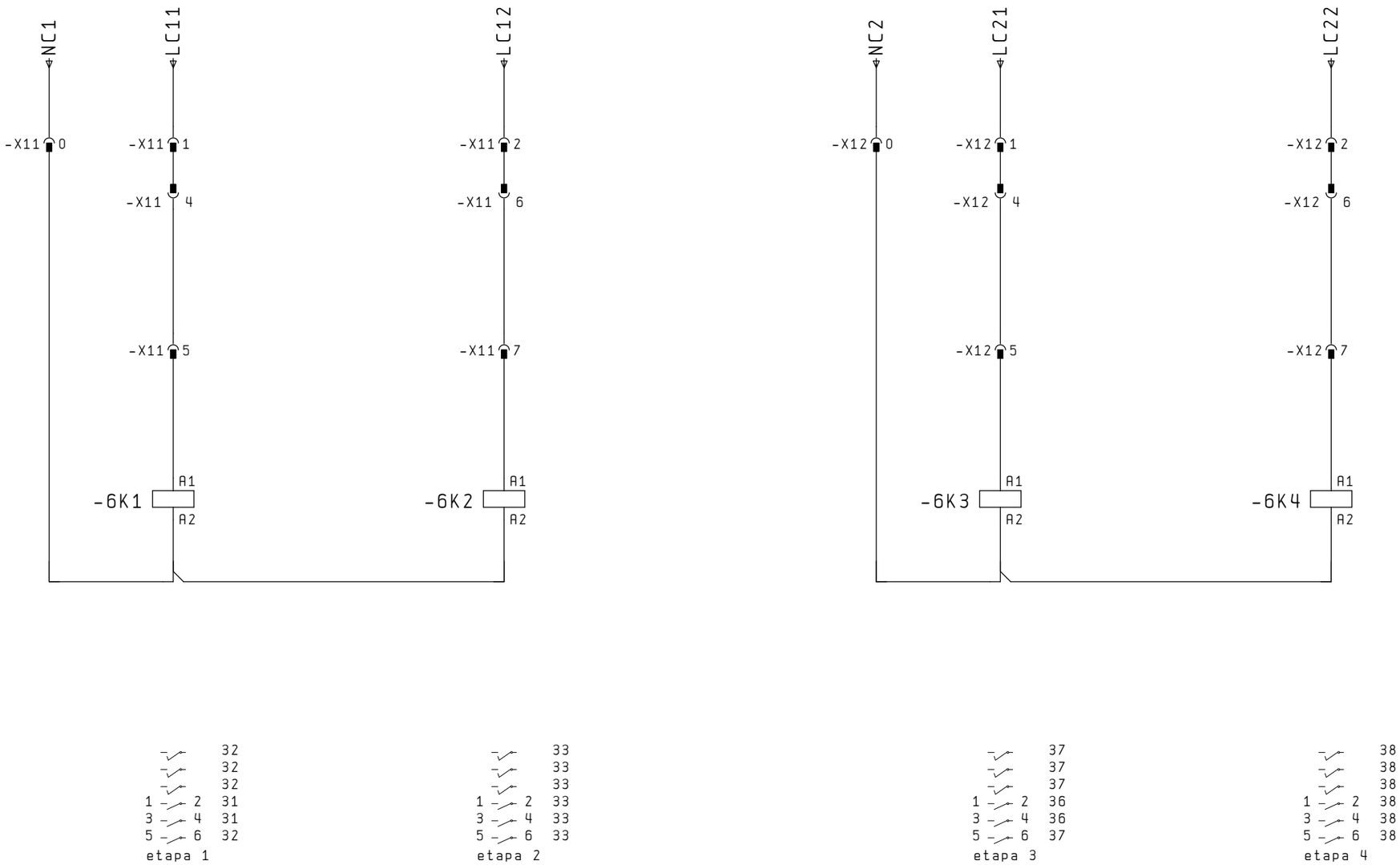


← 7	36	37	38	39			40		9 →
SEAT	UPC		Módulo de compensación 2	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR Geändert USR Gep. Daniel Martínez	am: 27.May.2002 am: 15.Dic.2011 Druck: 15.Dic.2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s.Bl.1 Blatt-Nr. 8



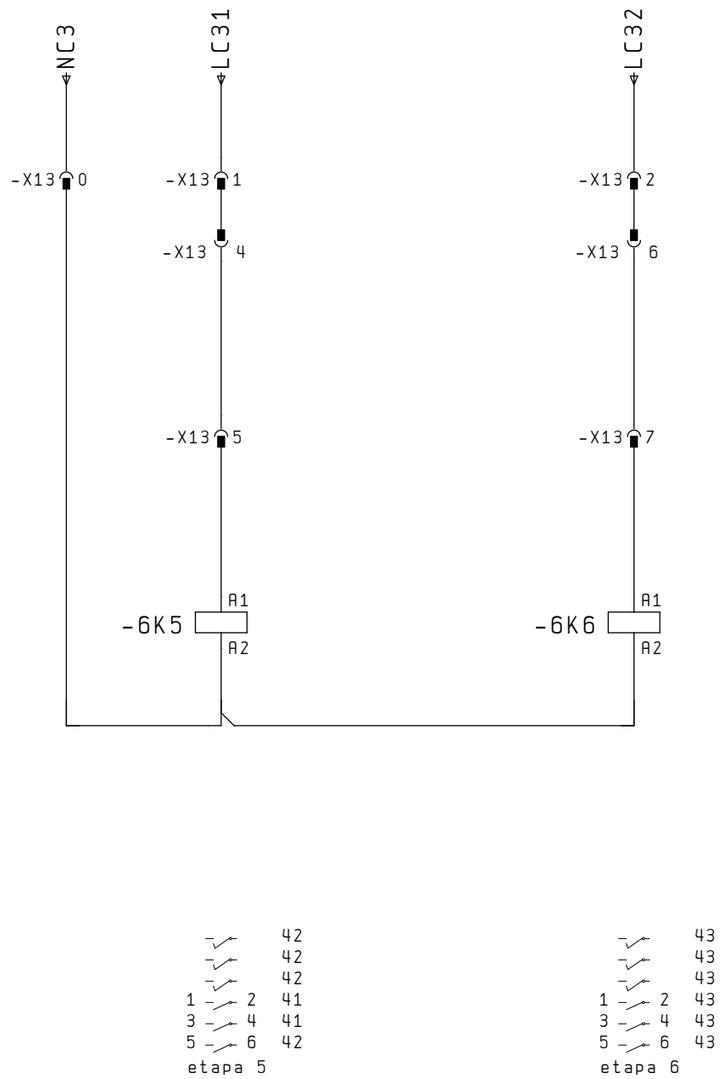
8	41	42	43	44	45	10

SEAT	UPC	Módulo de compensación 3	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR am: 27.May.2002 Geändert USR am: 15.Dic.2011 Gep. Daniel Martínez Druck: 15.Dic.2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s.Bl.1 Blatt-Nr. 9



9	46	47	48	49	50	11

SEAT	UPC	Control de módulos de compensación	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR am: 27. May. 2002 Geändert USR am: 15. Dic. 2011 Gep. Daniel Martínez Druck: 15. Dic. 2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s. Bl. 1 Blatt-Nr. 10

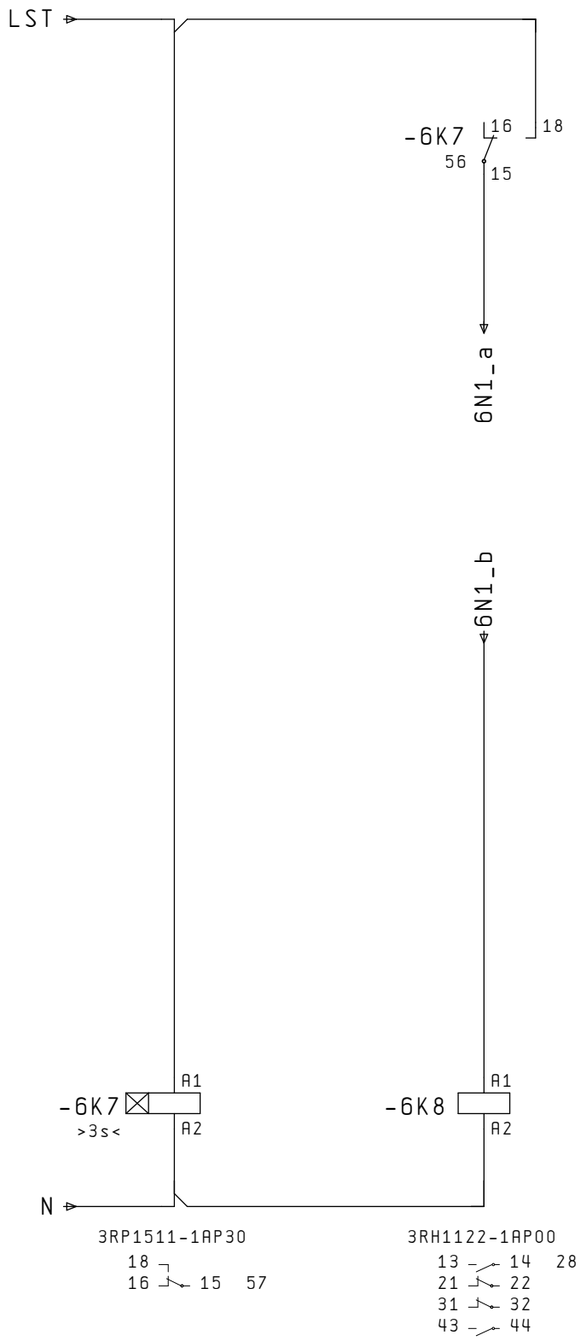


10	51	52	53	54	55	12

SEAT	UPC	Control de módulos de compensación	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR	am: 27. May. 2002	Zeichnungs-Nummer TFG	=
				Geändert USR	am: 15. Dic. 2011		+NKO
				Gep. Daniel Martínez	Druck: 15. Dic. 2011		

Zeichn.-Anz. s. Bl. 1

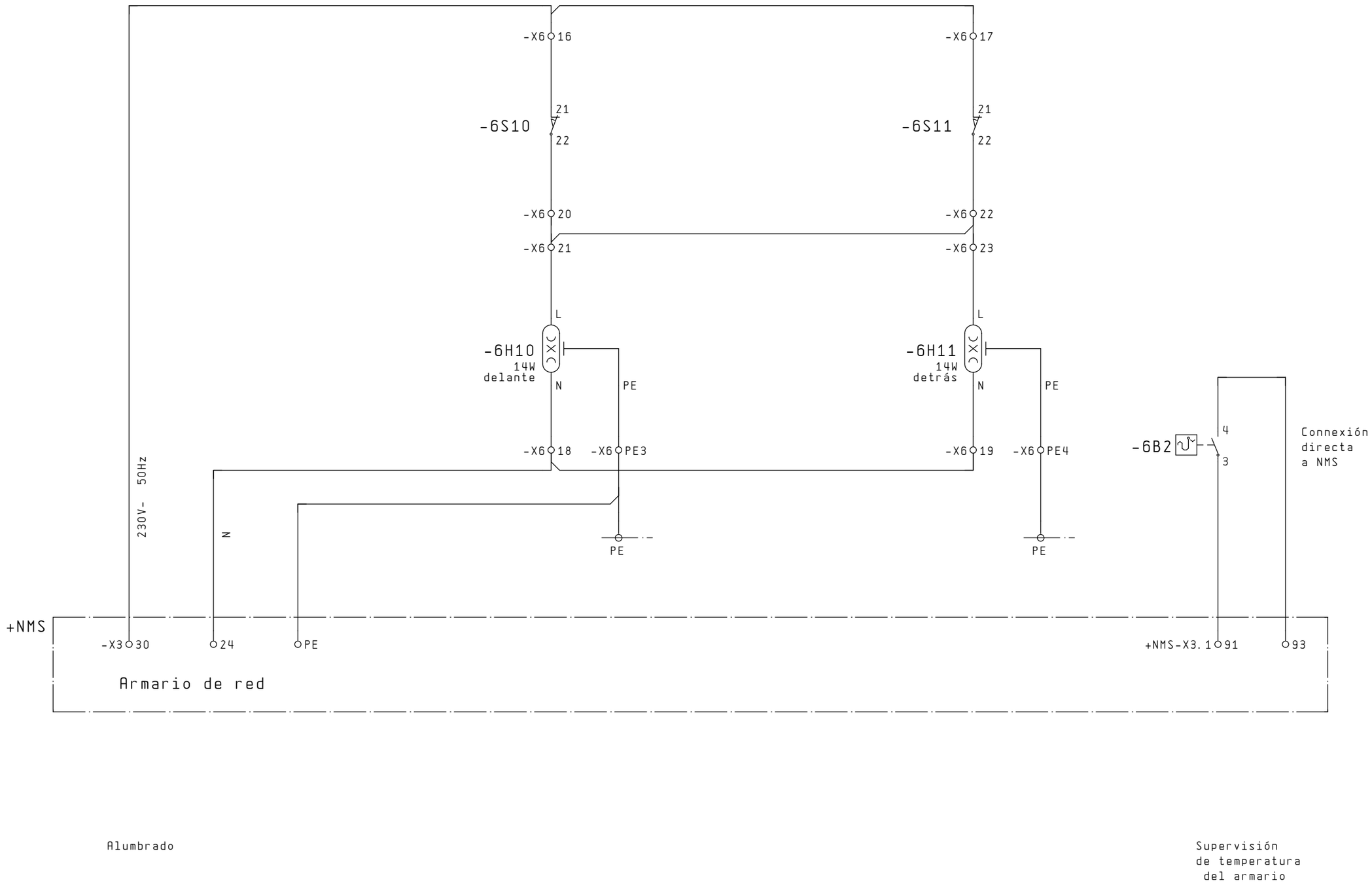
Blatt-Nr. 11



Retraso de activación

Supervisión del regulador de potencia reactiva

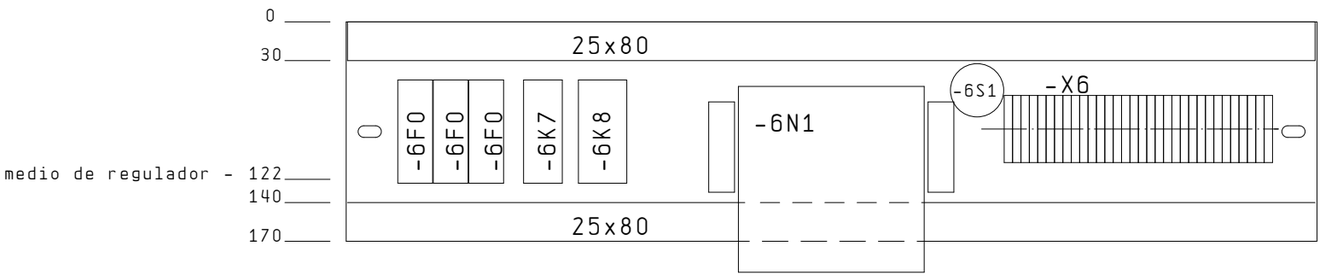
11	56	57	58	59			60	13	
SEAT	UPC		Supervisión	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR Geändert USR Gep. Daniel Martínez	am: 27. May. 2002 am: 15. Dic. 2011 Druck: 15. Dic. 2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s. Bl. 1 Blatt-Nr. 12



← 12	61	62	63	64	65	14 →

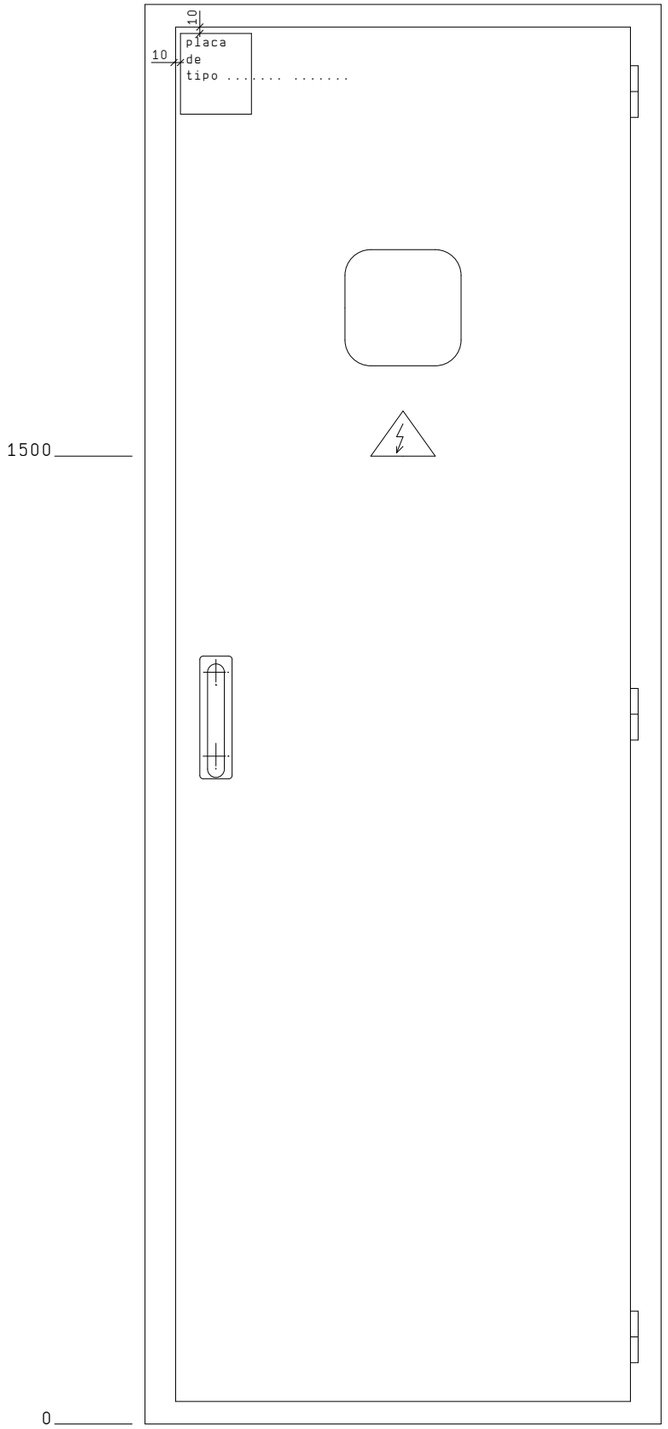
SEAT	UPC	Alumbrado	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR Geändert USR Gep. Daniel Martínez	am: 27. May. 2002 am: 15. Dic. 2011 Druck: 15. Dic. 2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s. Bl. 1 Blatt-Nr. 13

placa de control

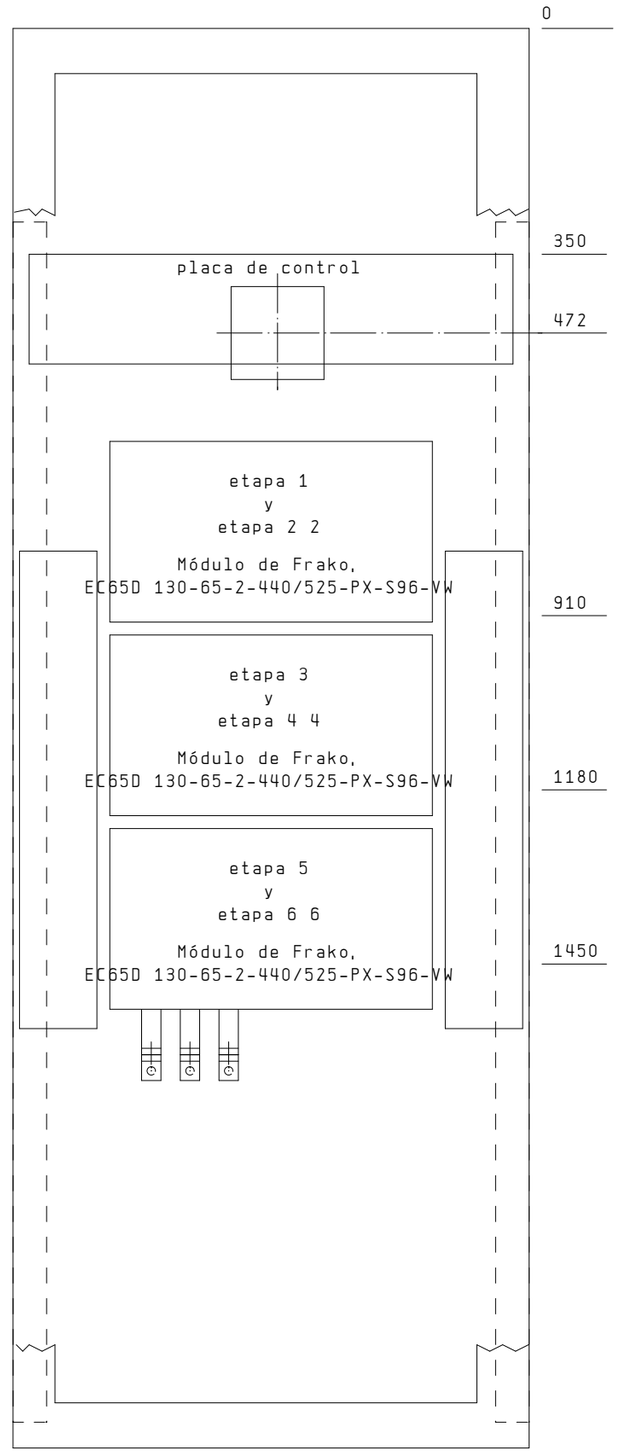


13	66	67	68	69	70	15			
SEAT	UPC		Estructura - control	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR Geändert USR Gep. Daniel Martínez	am: 27. May. 2002 am: 15. Dic. 2011 Druck: 15. Dic. 2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s. Bl. 1 Blatt-Nr. 14

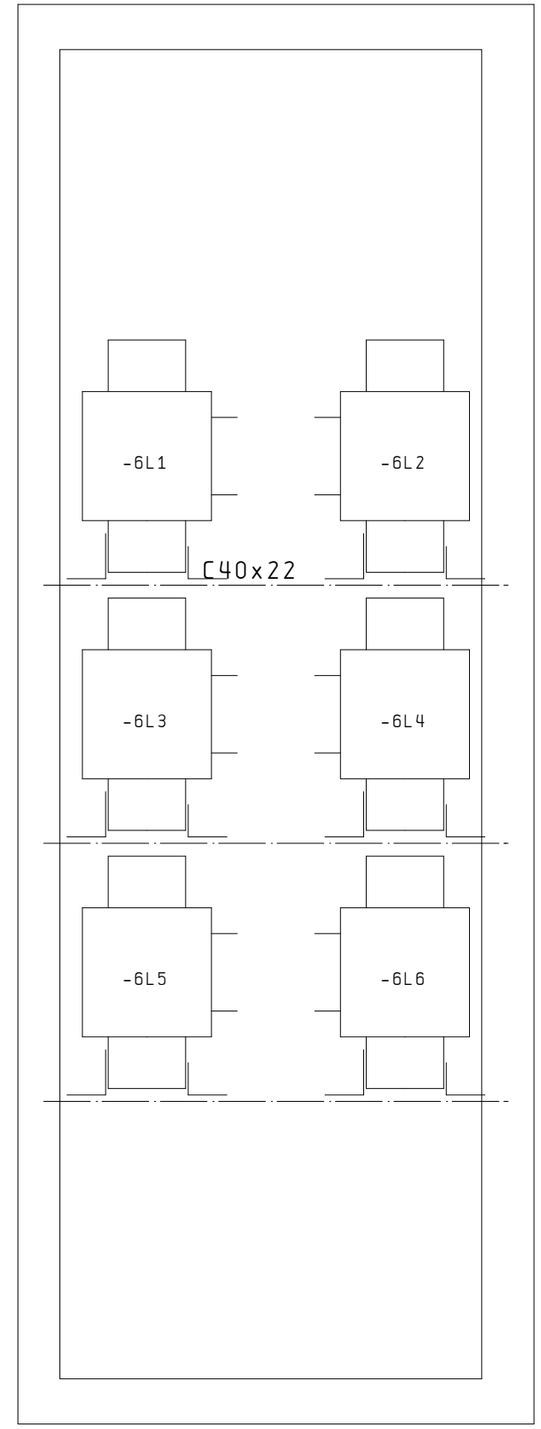
Frente del armario cerrado



Frente del armario abierto



Dorso del armario abierto



14	71	72	73	74	75	16

SEAT	UPC		Vistas	Armario de compensación T01 SEAT Martorell	Bearb. USR am: 27. May. 2002 Geändert USR am: 15. Dic. 2011 Gep©Daniel Martínez Druck: 15. Dic. 2011	Zeichnungs-Nummer TFG	= +NKO	Zeichn.-Anz. s. Bl. 1 Blatt-Nr. 15

Seite / Pfad	/22	/22	/22	/24	/22	/22	/24	/24	/24	/24	/24	/24	/24	/25	/25	/58	/59	/58	/59	/58	/58	/59	/59	/23	/23
+NKO-W67_6H11 / OELFLEX 3x1.5mm²																			2						
+NKO-W66_6H10 / OELFLEX 3x1.5mm²																		2							
+NKO-W65_6S11 / OELFLEX 3x1.5mm²																	1								
+NKO-W64_6S10 / OELFLEX 3x1.5mm²																1									
Kabelbezeichnung / Kabeltyp																									
Anschluß	S1	S2		P	26	N/L		A2	0	1	2	3	4	5	6	21	21	N	N					14	13
Ziel-bezeich-nung	-6N1	-6N1		-6N1	-X6	-6N1		-6K7	-X12	-6N1	-6N1	-6N1	-6N1	-6N1	-6N1	-6S10	-6S11	-6H10	-6H11					-6K8	-6K8
Brücken			●—	—●			●—	—●—	—●							●—	—●	●—	—●	●—	—●—	—●—	—●		
Klemmleistenbezeichnung +NKO-X6 — Klemmen-nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Anschluß	5	6		A1				0	0	1	2	1	2	1	2	30		24		22	L	22	L	97	100
Ziel-bezeich-nung	+NMS-X3	+NMS-X3	-6F0	-6K7	-6F0	-6F0	-N	-X11	-X13	-X11	-X11	-X12	-X12	-X13	-X13	+NMS-X3		+NMS-X3		-6S10	-6H10	-6S11	-6H11	+NMS-X3.1	+NMS-X3.1
Kabelbezeichnung / Kabeltyp																									
+NKO-W62_NMS / OELFLEX 3x2.5mm²	1	2																							
+NKO-W61_NMS / OELFLEX 3x1.5mm²																1		2							
+NKO-W64_6S10 / OELFLEX 3x1.5mm²																				2					
+NKO-W66_6H10 / OELFLEX 3x1.5mm²																					1				
+NKO-W65_6S11 / OELFLEX 3x1.5mm²																						2			
+NKO-W67_6H11 / OELFLEX 3x1.5mm²																							1		
+NKO-W63_NMS / OELFLEX-CY 3x1mm²																								1	2
Funktionstexte	corriente para regulador de potenci	"		etapa 1			aviso de avería	etapa 1	etapa 3	etapa 1	etapa 2	etapa 3	etapa 4	etapa 5	etapa 6	alumbrado	"	"	"	"	"	"	"	aviso de avería	"

+NKO-X6

Armario de compensación T01
SEAT Martorell

Bearb. USR	am: 27.May.2002	Zeichnungs-Nummer	=
Geändert USR	am: 15.Dic.2011	TFG	+NKO
Gepr. Daniel Martínez	Druck: 15.Dic.2011		

Seite / Pfad		/22		/22		/23		/22		/23		/58		/59																																			
+NKO-W67_6H11	OELFLEX 3x1.5mm²													PE																																			
+NKO-W66_6H10	OELFLEX 3x1.5mm²											PE																																					
Kabelbezeichnung	Kabeltyp																																																
Klemmleistenbezeichnung +NKO-X6	Anschluß	5		400V								PE		PE																																			
	Ziel-bezeich-nung	-X6		-6N1				-PE		-PE		-6H10		-6H11																																			
	Brücken											PE		PE																																			
	Klemmen-nummer	26		27		28		PE1		PE2		PE3		PE4																																			
	Anschluß					PE		PE		PE			PE																																				
	Ziel-bezeich-nung	-6S1		-6S1		+NMS-X3.1		+NMS-X3		+NMS-X3.1		PE	+NMS-X3	PE																																			
Kabelbezeichnung	Kabeltyp																																																
+NKO-W62_NMS	OELFLEX 3x2.5mm²							PE																																									
+NKO-W63_NMS	OELFLEX-CY 3x1mm²									PE																																							
+NKO-W61_NMS	OELFLEX 3x1.5mm²												PE																																				
Funktionstexte						aviso de avería		corriente para regulador de potenci		aviso de avería		alumbrado		=																																			

Lista de materiales

PPT4_STK international(LEUVWSTI)

Designación en esquema	Posición Página/gráfica	Cant.	A	N° de articulo	descripción	Proveedor	N° de tipo	G	N° de almacén
+NK0-6C1	+NK0/7/8/9	12			Condensadores trifásicos 28 kVAr	AEG	AE 28 TDG 440D		
+NK0-6L1	+NK0/7/8/9	6			Reactancia de filtrado	AEG	FR0,78-7,00@75/26/10		
+NK0-6N1	+NK0/6	1			Regulador del factor de potencia	Frako	RM 9606		
+NK0-6H10	+NK0/13	2			Alumbrado del armario 230VAC,50Hz,14W	Richter J.,Friedewald	LL 14-D-EMV-E4-N + LL AB 14		
+NK0-6K1	+NK0/7/8/9	6			Contactor con resistencias	Frako	K3-62A00		
+NK0-6QF1	+NK0/7/8/9	6			Interruptor-seccionador para fusibles	ABB	XLP00		
+NK0-6QF1	+NK0/7/8/9	18			Fusible 125 A	ABB	NH 125		
+NK0-6F0	+NK0/6	3			Portafusible, NEOZED,D02,E18,63A,	ABB	D02 DIN49525 K		
+NK0-6F0	+NK0/6	3			Cartucho, NEOZED, D01,E14,gL,4A,	ABB	D01x4gL		
+NK0-6K7	+NK0/12	1			Contactor de tiempo 24VUC/230VAC,0.5-10s	Siemens	3RP1511-1AP30		
+NK0-6K8	+NK0/12	1			Contactor de control,230V,6A,2NA2NC	Siemens	3RH1122-1AP00		
+NK0-6-1/3	+NK0/15	1			Armario 800x2240x1070mm	Frako			
+NK0-X		2			Borne para medición de corriente,44A,6mm²,	Phoenix	UGSK/S-GS		
+NK0-X		26			Bornes de resorte 2,5mm²,31A,800V	Phoenix	STS2,5-TWIN		
+NK0-X		4			Bornes de tierra, 2,5mm²,verde/amarillo	Phoenix	STS2,5-TWIN PE		

Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Volumen III

Pliego de Condiciones – Presupuesto y análisis de beneficios

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en INGENIERÍA ELÉCTRICA

Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Pliego de Condiciones

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en INGENIERÍA ELÉCTRICA

Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

Índice de pliego de condiciones 3

Capítulo 1: Legalización 5

1.1. Certificados 5

1.2. Documentación 6

Capítulo 2: Formación y mantenimiento 7

2.1. Formación 7

2.1.1. Cursos de formación 8

2.2. Asistencia técnica a la explotación 8

2.3. Plan de mantenimiento 8

Capítulo 3: Normas de trabajo 9

3.1. Generales de la instalación 9

3.1.1. Armarios eléctricos 9

3.1.2. Instalaciones de datos 10

3.1.3. Instalaciones eléctricas generales 11

3.1.4. Compensación de energía reactiva 11

3.1.5. Puesta en marcha 11

3.1.6. Conexión a RED 12

3.2. Gestión ambiental 12

3.3. Prohibición de uso de silicona 12

3.4. Memorando de seguridad 13

3.5. Medios de elevación y transporte 13

3.6. Vallados 13

3.7. Trabajos con obra civil 13

3.8. Retirada de restos materiales 14

CAPÍTULO 1: LEGALIZACIÓN

En todas las instalaciones solicitadas por SEAT que, por las disposiciones vigentes, requieran su legalización, el adjudicatario realizará toda la tramitación necesaria ante los entes oficiales que correspondan (Departament d'Indústria i Energía de la Generalitat de Catalunya, de ámbito Municipal u otros).

Así mismo deberán realizar esta legalización, aunque ésta por error u omisión no haya sido expresamente así solicitada.

Los importes de estos conceptos, se deberán incluir en el importe total ofertado.

No se admitirá un importe específico por estos conceptos, incluyendo gastos tasas o Colegios Oficiales que correspondan.

1.1. Certificados

Una vez finalizado el proyecto deberán entregarse los certificados de cumplimiento de las normativas y requisitos legales de:

- Productos y materiales.
- Instalación.
- Marcado CE.
- Instalador.

1.2. Documentación

Deberá hacerse entrega de la documentación según se describe en el presente pliego de condiciones.

El adjudicatario deberá presentar antes del inicio de los trabajos una planificación pormenorizada donde al menos queden reflejados los siguientes hitos:

- Aceptación del recorrido del cableado.
- Aceptación de la descripción de las zonas de riesgos.
- Aceptación del listado de elementos.
- Aceptación de la distribución y configuración de armarios.
- Aceptación de la puesta en marcha.
- Aceptación de la programación gráfica.

CAPÍTULO 2: FORMACIÓN Y MANTENIMIENTO

2.1. Formación

Una vez instalado y configurado el sistema objeto de este pliego, se procederá a un periodo de formación adecuado para la correcta explotación, mantenimiento y actualización del equipo.

La formación tendrá lugar en las instalaciones de SEAT, o bien en unas instalaciones más convenientes designadas por SEAT.

El adjudicatario incluirá en su oferta un plan de formación de una semana de duración destinado al personal de SEAT que vaya a realizar el mantenimiento y la gestión.

El plan de formación deberá incluir, como mínimo, el siguiente curso:

- Configuración y mantenimiento general de todos los elementos constituyentes.
- La oferta detallará el horario de cada tema a cubrir en los cursos. El contratista aportará todos los manuales y demás elementos necesarios para el curso.

Se requiere para ello:

- Instalación finalizada.
- Documentación entregada.
- Manual de manejo de la instalación.
- Temario de formación.

2.1.1. Cursos de formación

Para cada curso ofertado se deberá detallar:

- Objetivo
- Perfil del personal al que se dirige el curso
- Contenido y duración del curso
- Documentación facilitada
- Prácticas previstas

2.2. Asistencia técnica a la explotación

Terminada la fase de formación del personal de SEAT, el adjudicatario proporcionará a SEAT el apoyo de un técnico experto en el sistema, durante un periodo de 1 mes, para dar soporte en las tareas de configuración, administración, operación y adaptación del sistema a las necesidades de los usuarios finales del mismo.

La prestación de este servicio se realizara en Martorell en las instalaciones de SEAT. Se realizará en jornada de trabajo de 8 horas, salvo que se acuerde algún cambio entre ambas partes. El horario de trabajo se ajustará al que sigue el personal de SEAT según convenio.

2.3. Plan de mantenimiento

El adjudicatario deberá presentar el plan de mantenimiento recomendado según normativa vigente o en su defecto lo recomendado por el fabricante.

El plan de mantenimiento deberá contemplar los siguientes apartados:

- Normativa de referencia.
- Descripción de operaciones a efectuar.
- Descripción y referencia de útiles y medios a emplear durante dichas operaciones.
- Frecuencia/tiempo de revisión.
- Listado de recambios recomendados y valoración económica.
- Valoración económica del mantenimiento anual recomendado.

CAPÍTULO 3: NORMAS DE TRABAJO

3.1. Generales de la instalación

Las instalaciones eléctricas a realizar para la conexión de los nuevos equipos a las redes, objeto del presente proyecto, estarán sometidas a las normas vigentes de Redes informáticas para Procesos Industriales de SEAT; en cuanto a los cables de datos y a la normativa SEAT VW para las instalaciones convencionales, tal como se especifica en la petición de SEAT.

3.1.1. Armarios eléctricos

Se tendrán que incluir nuevos armarios para la correcta ubicación en cada uno de los sistemas detallados de la aparamenta eléctrica de mando y potencia necesaria para el correcto funcionamiento de la instalación, éstos tendrán las reservas de espacio establecidas por las normas **VW** y deberán disponer de cerramiento mediante llave E1.

La capacidad de la reserva exigida es del 20%.

Especialmente deben cumplirse las normas siguientes:

- BV 1.09 Cierres, dispositivos de cierre y pinturas
- BV 1.11 Electricidad
- BV 5.11 Montajes e instalaciones eléctricas
- BV 5.12 Esquemas eléctricos
- BV 5.13 Técnica de control
- DIN EN 60204 Parte 1 / VDE 0113 Parte 1

Las normas BV, conexiones de principio e instalaciones de referencia, pueden solicitarse a través de los departamentos que piden la oferta, o a través de los departamentos de compras competentes.

3.1.2. Instalaciones de datos

Los cables de datos (FO, ETHERNET, PROFIBUS, INTERBUS, RS422, vídeo etc.) irán por conducciones independientes del resto de las instalaciones. Las bandejas serán del tipo GAMMA P3 de color azul y dimensiones 50 x 75 mm, en tramos de 2 m, todos los tramos estarán conectados a tierra eléctricamente. Los soportes estarán fabricados en tubo cuadrado y pintados de color azul.

Las bandejas de nueva instalación serán GAMMA P3 de color azul de medidas 50x50 mm, en tramos de 2m.

Los conductores en las canales no deben ser atados con bridas.

Las canales colocadas en el suelo deben ser practicables y antideslizantes (chapa estriada). Las canales porta cables deben taparse. Los tubos protectores de acero se colocarán abiertos y sin codos, con casquillos de plástico en los extremos.

Las bandejas se etiquetarán en los tramos horizontales cada 20m (Indicando: red de datos), iguales a las ya colocadas en otras bandejas. Los bajantes se etiquetarán en lugares visibles.

Todos los tramos tendrán que estar interconectados a tierra eléctricamente, incluidas tapas, curvas, derivaciones, etc., utilizando para ello el sistema propio de la bandeja.

La suportación se realizará mediante grapas similar al tipo MUPRO M-8 ref. 32948, de la firma comercial Tecnifix, u otra firma comercial, teniendo en cuenta que el tipo de grapas deberá ser según las necesidades de la sujeción. Los soportes deberán ser fabricados con tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.5 mm, con tapones de plástico en sus extremos, suspendidos de las vigas con las grapas referenciadas anteriormente. Podrá utilizarse soportes galvanizados previa aceptación de Ingeniería de Procesos. Los soportes de las bandejas deben estar a una distancia de 1m, considerando uno en el centro y otro en la unión. En las curvas y cambios de nivel de suportación podrá ser menor, según las necesidades del montaje. Cuando la distancia mínima entre soportes sea de 3 m a lo largo del recorrido de la bandeja, por su base tendrá que ir un perfil en forma de “U” de 30x20x4 mm de hierro pintado de color blanco RAL9002 igual que la estructura, como refuerzo de ésta.

En caso de que la distancia entre soportes sea superior a 3m y la instalación lo aconseje, a lo largo del recorrido de la bandeja se instalará una viga de hierro pintada de la misma forma que la estructura (color blanco RAL9002) y de las dimensiones adecuadas para que la viga no flexione.

En caso de utilizarse las canalizaciones existentes se debe garantizar un espacio libre restante del 15%. En las canalizaciones de nueva instalación se deberán realizar con la amplitud necesaria para que una vez terminada la obra quede un 35% de espacio disponible.

Las bandejas que, previa autorización, puedan utilizarse y tengan que ser destapadas, deberán dejarse de nuevo tapadas al finalizar el trabajo y en perfecto estado (tal como se encontraron).

3.1.3. Instalaciones eléctricas generales

Los cables eléctricos de los elementos que no constituyen parte de la red de datos se realizarán por las conducciones habituales utilizando mangueras flexibles de características según la normativa vigente. Las cajas de conexión, acceso, tubos etc. deberán cumplir el grado de protección adecuado.

3.1.4. Compensación de energía reactiva

En cualquier nueva instalación con una potencia eléctrica apreciable (aprox. 20 kW) siempre hay que compensar adecuadamente la energía reactiva. Con el fin de cumplir las normas y requerimientos para la realización de la nueva instalación, el proveedor una vez concluida técnicamente ésta, deberá consensuarla con Ingeniería de Procesos.

3.1.5. Puesta en marcha

Toda la instalación, tanto la red de datos como la eléctrica, se tiene que entregar correctamente conectada, configurada, comprobada y etiquetada. Dada la importancia de este punto, se tratará directamente con el responsable del seguimiento. La instalación, tanto la eléctrica como de datos, se efectuará con grapas sujetas a la estructura del taller, naves o edificios, no permitiéndose la soldadura en ningún sitio. En el caso de tener que utilizar soldadura, previa consulta al responsable del seguimiento, tras su estudio se autorizará o se dará una solución alternativa.

Deberán utilizarse los elementos de protección pertinentes, como magneto-térmicos, diferenciales, etc., de intensidades y características adecuadas a los equipos que alimenten, teniéndose en cuenta entre otras características los arranques de los equipos.

Los armarios han de cumplir las protecciones IP normalizadas por SEAT y el reglamento electrotécnico de baja tensión.

Las cerraduras de los paneles, armarios de datos, etc. deben ser homologados por SEAT. Tómese como referencia que los paneles eléctricos llevarán las cerraduras para que se puedan abrir con la llave normalizada E1, siendo la de datos E12.

La aparamenta y material auxiliar serán de las marcas que SEAT autoriza.

Las instalaciones eléctricas a lo largo de un tendido paralelo a la de datos que no sean fibra óptica estarán separadas 30 cm, tanto para las de nueva instalación como para las ya existentes.

En caso necesario en que se tengan que montar cajas de paso (registros) en las conducciones eléctricas, por tubos, éstas estarán a la distancia que se determine en su momento.

Los cables eléctricos a instalar serán mangueras flexibles para los tendidos, según normativa.

3.1.6. Conexión a RED

Una vez realizadas las conexiones será necesario entregar el certificado y reflectometría de las conexiones, que serán supervisados y firmados por los entes de SEAT autorizados, así como la entrega de la documentación actualizada en la que se indique la situación de dichas conexiones.

3.2. Gestión ambiental

Todos los proyectos de construcción, contrataciones de obra, instalaciones, o servicios con incidencia medioambiental deberán cumplir las especificaciones medioambientales generales y particulares indicadas:

- Deberán nombrar a un responsable medioambiental del proyecto, obra, instalación o servicio.
- Cumplirán rigurosamente la normativa ambiental vigente, la política medioambiental y el sistema de gestión medioambiental conforme a la norma ISO 14001 implantado en Seat, informando a los trabajadores que intervengan en el proyecto, obra, instalación o servicio y a las empresas subcontratadas.
- El responsable medioambiental entregará los aspectos medioambientales del proyecto, obra, instalación o servicio a la dependencia que solicita el proyecto, obra, instalación, o servicio. Los aspectos se refieren a las emisiones atmosféricas, vertidos, residuos, consumos energéticos, consumo de recursos o materias primas, riesgos ambientales derivados de almacenamiento o manipulación de materias o residuos, y ruidos (según procedimiento del sistema de gestión medioambiental 04.ECO.24 identificación y evaluación de aspectos medioambientales).
- Se entregarán a la dependencia que solicita la obra instalación o servicio todos los certificados y registros medioambientales pertinentes que aseguren el cumplimento de la legislación o los requerimientos específicos antes de la aceptación de la obra, instalación, o servicio.
- Toda obra, instalación o servicio incluirá los medios y contenedores específicos para la recogida selectiva de los residuos durante la ejecución de la misma y cuya gestión y coste de los residuos serán asumidos por la empresa contratada salvo en caso que se especifique lo contrario. Todos los residuos trataran con gestores y transportistas autorizados.
- Todos los proyectos, instalaciones y obras, en el momento de la entrega en Seat, incluirán las necesidades y medios para la clasificación de los residuos según los colores y tipologías definidas en el sistema de clasificación selectiva de Seat.

3.3. Prohibición de uso de silicona

Se recuerda que está terminantemente prohibido instalar, usar o introducir en la fábrica cualquier tipo de materiales o componentes que contengan silicona.

3.4. Memorando de seguridad

El adjudicatario de los trabajos solicitados en este proyecto deberá confeccionar un proyecto que contenga la “Memoria de Seguridad “, la “Evaluación de Riesgos” y la “Notificación de la Autoridad Laboral”, el cual será presentado, en un plazo de 7 días desde la adjudicación de los trabajos por parte de Seat, al Departamento de Seguridad para su aprobación, mediante el impreso de “Conformidad de medidas de Seguridad “.

Una vez aceptado, se entregarán a SEAT 3 ejemplares: uno a Seguridad y otros dos, a Dependencia de Ingeniería de Procesos.

Los importes se deberán incluir en el importe total ofertado. No se admitirá un importe específico por este concepto.

3.5. Medios de elevación y transporte

El adjudicatario deberá disponer de todos los medios de elevación y transporte necesarios para efectuar todos los trabajos solicitados en este proyecto, ya sean, desmontajes, traslados o nuevas instalaciones. Los importes deberán incluirse en el importe total ofertado. No se admitirá un importe específico por este concepto.

3.6. Vallados

Será a cargo del adjudicatario, el vallado del área de trabajo y zona de almacenamiento del material correspondiente a los trabajos contratados.

- Trabajos que produzcan polvo, o levantamiento del mismo: vallado mediante cerramiento de toldos o similares.
- Restos de trabajos: Vallado mediante vallas metálicas portátiles.
- Carteles de señalización de zona de obras e instalaciones.

3.7. Trabajos con obra civil

En todos los desmontajes de instalaciones o medios en los cuales intervengan trabajos de obra civil, se incluirán en la valoración de su desmontaje/demolición, la reposición del pavimento, de modo que éste, quede igual que el resto de la planta del taller (hormigonado y aplicación de resina autonivelante). Así mismo, se incluirá el transporte, a realizar por el adjudicatario, de los escombros al vertedero público autorizado.

3.8. Retirada de restos materiales

Será a cargo de la firma instaladora, la retirada fuera de fábrica de todo tipo de restos materiales procedentes de las instalaciones contratadas en el presente pedido.

La retirada de estos materiales se tramitará por medio del departamento de Ingeniería de Procesos tramitando el E.M.E. correspondiente.

La chatarra derivada de las instalaciones será enviada a recuperación, o al exterior según indicaciones de Ingeniería de Planta.

Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Presupuesto y análisis de beneficios

"Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL"

TFG presentado para optar al título de GRADO en INGENIERÍA ELÉCTRICA

Por **Daniel Martínez Morato**

Barcelona, 13 de Junio de 2012

Director: Andreas Sumper
Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

PRESUPUESTO

Descripción	Medición	Unidad	Precio	Importe	Totales
Capítulo 1: Elementos Pasivos					
AEG AE 28 TDG 440D Condensador 28 kVAr	12	U	187,73	2252,76	
AEG FR0,78-7,00@75/26/10 Reactancia antiarmónicos	6	U	368,00	2208,00	
	TOTAL CAPÍTULO				4460,76

Capítulo 2: Control					
Frako RM9606 Regulador del factor de potencia con 6 salidas	1	U	370	370	
	TOTAL CAPÍTULO				370,000

Capítulo 3: Varios					
Richter J.Friedewald KTS1141 Alumbrado para armario a 230V, 50Hz y 14W	2	U	45,95	91,90	
	TOTAL CAPÍTULO				91,9000

Capítulo 4: Protecciones y maniobra					
Frako K3-62A00 Contactor con resistencias de conexión para condensadores	6	U	297,00	1782,0	
ABB XLP00 Interruptor-seccionador para fusibles	6	U	23,470	140,82	
ABB NH 125 Fusibles de 125 A	18	U	29,380	528,84	
ABB NEOZED D02, E18, 63A Portafusibles	3	U	4,6700	14,010	
ABB NEOZED D01x4gL Cartucho fusible	3	U	0,5600	1,6800	
Siemens 3RP1511-1AP30 Contactor de tiempo 230V, 10s	1	U	117,00	117,00	
Siemens 3RH1122-1AP00 Contactor de control 230 V 6A, 2NA2NC	1	U	45,000	45,000	
	TOTAL CAPÍTULO				2629,35

Capítulo 5: Cuadro de distribución					
Frako Armario NKO6-1/3 Armario de 800mm/2240mm/1070mm	1	U	300,00	300,00	
	TOTAL CAPÍTULO				300,00

Capítulo 6: Cableado					
Phoenix Borneras Borneras de conexión	32	U	0,2800	8,9600	

RZ1 0,6/1 (3x35mm^2) Conductor de cobre	10	m	5,1900	51,900
RZ1 0,6/1 (16mm^2) Conductor de tierra	10	m	3,1000	31,000
RZ1 0,6/1 (1,5mm^2) Conductor mando y control	10	m	0,7500	7,5000
	TOTAL CAPÍTULO			99,3600

PRECIO TOTAL DEL ARMARIO DE COMPENSACIÓN REACTIVA [€]	7951,37

Capítulo 7: Personal (Horas totales -Modificar todo el taller 01)				
Oficial de 1ª Electricista	120	h	9,5000	1140,0
Oficial de 2ª Electricista	120	h	8,2000	984,00
Certificación (Técnico)	85	h	22,000	1870,0
	TOTAL CAPÍTULO			3994,00

[1] Precio total ejecución material	91459,07
[2] Precio total ejecución material	28282,00
[1] Beneficio industrial 6%	5487,540
[2] Beneficio industrial 6%	1696,920
[1] Gastos generales 14%	12804,27
[2] Gastos generales 14%	3959,480
[1] Suma	109750,9
[2] Suma	33938,40
[1] I.V.A 18%	19755,16
[2] I.V.A 18%	6108,910

[1] PRECIO TOTAL: **NUEVA INSTALACIÓN DE 11 ARMARIOS EN T01 [€]**	129506
[2] PRECIO TOTAL: **ÚNICAMENTE MODIFICACIÓN DE LOS 11 ARMARIOS, INSTALANDO LAS REACTANCIAS ANTIARMÓNICOS EN T01 [€]**	40047,31

ANÁLISIS DE BENEFICIOS

Con la implementación de las nuevas baterías de condensadores, solo realizando la inversión para la modificación de incluir las reactancias inductivas antiarmónicos, en todo el taller 01 se consiguen los siguientes beneficios:

1. Reducción máxima de las pérdidas totales en el transformador un 3% y, por lo tanto, aumento del tiempo de vida del aislante.
2. Reducción máxima de la potencia total consumida de la instalación un 26% y, por lo tanto, reducción en la factura eléctrica.
3. Los condensadores tienen una esperanza de vida de 100.000 horas que equivaldrían a 11 años. Actualmente se cambian cada año y medio, y tomando un tiempo de recambio de 6 años (recomendado por diferentes fabricantes), obtendríamos la siguiente amortización de la inversión:

Recambio de condensadores: 12 condensadores a 2252,76 € cada año y medio para el total de 11 baterías de condensadores del taller 01 equivalen a 24780,36€.

Inversión: Solo la nueva instalación de las reactancias inductivas antiarmónicos para las 11 baterías de condensadores del taller 01 equivalen a 40047,31 €

Tabla. *Evolución de la inversión*

Año	0	1	2	3	4	5	6
Inversión [€]	-40047						
Recambio de condensadores [€]	0	0	0	0	0	0	-24780
Ahorro en condensadores [€]	0	0	24780	0	24780	0	24780
Liquidez [€]	-40047	-40047	-15267	-15267	9513	9513	9513

Tal como se observa, solo teniendo en cuenta el gasto en recambio de condensadores, se obtiene una amortización de la inversión al 4 año de realizar la instalación y el primer año positivo se consigue un ahorro de 9513 €.