
Índice

Agradecimientos	ii
Introducción	iv
1. Sistema Eléctrico de Potencia	1
1.1. Cargas en un Sistema Eléctrico de Potencia	2
1.2. Topología de un Sistema Eléctrico	2
1.3. Subestaciones eléctricas	3
1.3.1. Arreglos de barras	3
1.3.2. Equipo de una subestación	11
1.4. Referencias	18
2. Calidad de la energía	19
2.1. La importancia de la calidad de la energía	19
2.2. ¿Qué es la calidad de la energía?	19
2.3. Tipos de disturbios en los Sistemas Eléctricos de Potencia	19
2.3.1. Transitorios	19
2.3.2. Variaciones de tensión de larga duración	21
2.3.3. Variaciones de tensión de corta duración	23
2.3.4. Desbalance de tensión	25
2.3.5. Distorsión en la forma de onda	25
2.3.6. Fluctuaciones de tensión (Flicker)	28
2.3.7. Variaciones en la frecuencia	29
2.4. Curva CBEMA	30
2.5. Referencias	31
3. Armónicas	32
3.1. Introducción a las armónicas	32
3.2. Definición de armónica	32
3.3. Distorsión armónica	34
3.3.1. Descomposición de una onda distorsionada en sus armónicas	34
3.4. Componentes simétricas y secuencia armónica	35
3.5. Distorsión Armónica Total	36
3.6. Fuentes de armónicas	37
3.6.1. Fuentes tradicionales de armónicas	37
3.6.2. Nuevas fuentes de armónicas	50

3.7. Características de la respuesta del sistema	51
3.7.1. Impedancia del sistema	51
3.7.2. Impedancia capacitiva	52
3.7.3. Resonancia paralelo	52
3.7.4. Resonancia serie	54
3.8. Normatividad sobre el problema de armónicas	54
3.8.1. Norma IEEE Std. 519-1992	54
3.8.2. Especificación CFE L0000-45-2005	55
3.9. Efectos de las armónicas	55
3.9.1. Efectos en el sistema de potencia	56
3.9.2. Efectos en las cargas	56
3.9.3. Efectos en los circuitos de comunicaciones	58
3.10. Referencias	59
4. Compensación de potencia reactiva por medio de filtros de armónicas	61
4.1. Introducción	61
4.2. Filtros pasivos	65
4.2.1. Filtros en derivación	66
4.2.2. Filtros serie	70
4.2.3. Filtros paso bajas	70
4.2.4. Limitaciones de los filtros pasivos	71
4.3. Filtros activos	72
4.3.1. Conexión en derivación	73
4.3.2. Conexión en serie	73
4.4. Otras técnicas de eliminación de armónicas	74
4.4.1. Reactores de línea o de choque	74
4.4.2. Transformadores zig-zag	75
4.4.3. Multiplicación de fases	76
4.4.4. Sobredimensionamiento del neutro	78
4.5. Referencias	79
5. Análisis para el diseño de un filtro pasivo de armónicas	80
5.1. Consideraciones para el diseño del filtro de armónicas	80
5.1.1. Estudio de la interacción entre el sistema y las cargas no lineales	81
5.1.2. Potencia reactiva capacitiva del filtro	82
5.1.3. Límites permisibles de corrientes y tensiones armónicas	83

5.1.4.	Condiciones normales de operación del sistema	83
5.1.5.	Condiciones normales de operación del filtro	84
5.1.6.	Condiciones de contingencia del sistema	84
5.1.7.	Condiciones de contingencia del filtro	84
5.1.8.	Ubicación del filtro	84
5.1.9.	Configuración del filtro	84
5.2.	Filtros de armónicas para sistemas de media y alta tensión	85
5.2.1.	Consideraciones de sobrecarga armónica	85
5.2.2.	Especificación de los principales componentes	85
5.2.3.	Control de switcheo para el filtro de armónicas	95
5.2.4.	Protección	96
5.2.5.	Diseño del filtro de armónicas	97
5.3.	Referencias	100
6.	Dimensionamiento y especificación del filtro de corriente armónica de 5º orden en la industria mittal	101
6.1.	Dimensionamiento del filtro de 5ª armónica de 1.5 [MVAR] en 4.16 [kV], 45 MVA _{CC} , 6.245 KA _{CC} de la industria mittal	101
6.1.1.	Componentes del filtro	101
6.1.2.	Especificación de la unidad capacitadora utilizando el concepto de gradiente de potencial	103
6.1.3.	Reactor del filtro para la 5ª armónica	104
6.1.4.	Calidad del filtro	106
6.1.5.	Protecciones del filtro	106
6.1.6.	Análisis armónico para la corriente de 5º orden	110
6.1.7.	Resonancia serie-paralelo del filtro con el sistema de potencia	113
6.1.8.	Aplicación de la especificación CFE L0000-45-2005	113
6.1.9.	Diagrama unifilar de la industria Mittal	114
	Conclusiones	124
	Anexo A. Tablas para el dimensionamiento de bancos de capacitores y filtros	125
	Anexo B. Norma CFE – L000045	127
	Anexo C. Curvas de operación característica de fusibles	128