

Facultad de Ciencias  
Químicas

**FORMATO 4**

**NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR**

**DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS  
DR. MARIO LIMÓN MENDOZA  
DR. JOSE GERARDO VERA DIMAS  
DRA. ARIADNA ORTIZ HUERTA  
ING. LUIS MARDONIO RODRÍGUEZ LÓPEZ**

**P R E S E N T E**

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de:

**TESIS**

Titulado:

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL HOSPITAL DEL NIÑO  
Y ADOLESCENTE MORELENSE**

Que presenta (el) o (la) **C. HERNÁNDEZ CARBALLO DAVID ULISES**

Del programa educativo de: **INGENIERÍA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA**

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA A. LEÓN HERNÁNDEZ  
DIRECTORA DE LA FCQel**

**FIRMA ELECTRÓNICA**

**D I C T A M E N**

**DRA. VIRIDIANA A. LEÓN HERNÁNDEZ  
DIRECTORA DE LA FCQel**

**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTÁMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
	<b>DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS</b>	
	<b>DR. MARIO LIMÓN MENDOZA</b>	
	<b>DR. JOSÉ GERARDO VERA DIMAS</b>	
	<b>DRA. ARIADNA ORTIZ HUERTA</b>	
	<b>ING. LUIS MARDONIO RODRÍGUEZ LÓPEZ</b>	



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ** | Fecha:2021-08-10 14:43:32 | Firmante

W/y2UyDPqZtq2NkOTzNZOhgyjWfZnqdbUYChVCV3ZNPdqJHXSaea/q0nlupVQQ+xrMOXQXZ3uFd6+rkCkfxdx7RCM9qJO5vzl/TIs47YGrITH28aspAy6FBX9kepCOWQNmE9Jh7q1Xd2YueF6n4kLylLKt00z4BB7Lk/+uWK7bKICs75qtt0lm1N2Q45wLzfs2dlBK2LzAcBRSRNE7PNVWuwmf0BV87cXYpp+Hxc7V2FgdRvf/6Fr+BdOrDn6fl6G2ykW8sy5pNu2+8sBi70dEIDtuKmYihGjCVHTEyhnVN+MZdrw3PYBo3SsmzLjcM7axAalKRbAPyMV41w5VjA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



FZokN0

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/ghhmCEmRMxKv8kLQNxLbYJuU2G79AN7v>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**JOSE GERARDO VERA DIMAS | Fecha:2021-08-11 00:50:51 | Firmante**

L8ZGHoj5wzyEFB0mGW0kQ82E16zr+4Pci7BoiQa5BSmCu/X7OCL4NCtAYOhe6cSOIfOxpju33vAEpeC9LbO2VuoNdhYnIHvGk92eB3Mmhc108UHItgjeclCzBe87GYibm3TUx  
x/DOw1K2lcZOToh5+BUUOTrVr0hNHANmvFu3JTVk/fGUdFZUL0ldG2rji1HA5gwH2wAzDfDT/Q5zfmwZScQ0OZVsJcm5o3zgH2RCrKbFkPk4zATgIH2XwvWmGtAr1Prcv6SuT  
eUTfwVJDJTpA1JhFnOLbPKj1D68b9yZ6ZNgYQHyoaxMx2TAeGBqUkEAqkJI7B8E8pQevViQ==

**LUIS CISNEROS VILLALOBOS | Fecha:2021-08-11 06:22:25 | Firmante**

L94nEPrAqKuz/RMgOk6feGlc0epG01urBPWVKxm+L6pkggZc3C16owlyF8PoxroG/jxNVunBOOaJTVWckBILY7u/hJfu3mgkI8BrGjhEa/JQNf9s0PBK9HO4B8rfebMT7/cvAUcCP  
PrLbHmBshtE4iAN7MN5/J6XIL1lb+ftbA45WZeYAwn9jPliaZTvMFBNQs518ayoNhQy67ix0jK+OYjvvuZfmrGXCPmQnmA6Qft4c5oEf55GhIkvtgTU116pFgmfyZ8Gc4gVYfN1aPB  
mVuRouEUwMgRFb0+Jw72GRitVMpXWNH0JFF3OQfZTOYZnCrRortuOdXFe/QIUVBxA==

**MARIO LIMON MENDOZA | Fecha:2021-08-11 09:33:47 | Firmante**

MDwCVP1yXBVDSgceKQL08Y5WNBelyhG3RQ1NAfH+ohnvaFpfWBXvhqHeGXW9jsE5I890pFxfVc6A2ng98iAQN86/RCNm8DxiaMSL7aiqauVTMZTfGdydcJghLHMPZ/ydUAB  
+4H907gpKbsm4rmNNkBTwV1XJNrMMWYCjgmGF1/ELw7clvsf10KCeD/7g7sCLTmD7LFi8p8MUvt6ZV2ttQtozusJysDu0oQ7FTD58Ansp9Xk3QMCLC8IED64QxeDx4FnL6C9o  
GmvTC9XHD74FWA/7T3ev41EmiX1LEghlyAug/FCEyLtf81PKwsJ3WdjPS1caqTT+XtDH3WTPYuoYg==

**ARIADNA ORTIZ HUERTA | Fecha:2021-08-17 22:02:04 | Firmante**

CmtHOIMm39Hb+aZvebhdBxaqL1MFnrL5I3M1bB+ptvrmT+irnNOAUrkbt5B2syyK7/RO8m6UPHvuGP1Z8ZpExuFuevaz8YcAfW8Q7Q+nQO+anqt3UjXFi5aMCoSIWfJJqaBFIZH  
LWM0lq62imaQ9lxioY2kl6OzSmoXUuAMRRMxMGOJ5+/VbnyYZoyBCY9y7wojKpARtr6w3Z+L/xwx03uJvuKDPVFaJiaJ9Cyr3lGaxdZvXeQ78aFoLWmJleSpvqmIznMIQj1iz4X  
bHw9uGZGgGj4FGct0EsRBERaSnPzqB+8qm5XYhM/Vmu4XqTmtokwsCe5DjQPyb3KcrwQ==

**LUIS MARDONIO RODRIGUEZ LOPEZ | Fecha:2021-08-18 23:24:03 | Firmante**

AsUvDldjbugOt2c8gx/VnXm4jFunMamMXN//D35ZJkLsXN1QEVEEXKWmyrx76t91UB00Wb/y7jOCHPYhz4dVwfV1p/NrDnzVZfyR5ZAhVpqc0D0rTdiMKTo//eEdA/IFyURI/GSc+a  
LSQUgyEy6mtc9vccrvQCTuCYI3JHhX29+XeQvALvYmPLof1Yop9oQ8ZdTcA+gEpAlBoIMApv3ZuvPigkX/tV+u0YOrpMMg0muw3wRWLGwOpd1WbhAmUzBGJb80sjh/2EG/mns  
CU+55XBLes2keL2lxaa/5VEyrEcBpc+qcRKpuYTZ+jj1jPBaf74nK3CYmQvXgaE4pRX0F7A==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



bQi1qy

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/SmlPplb0yaztkSFbcjXtbQUin6rtqVbV>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA ENERGIA EN EL SISTEMA  
ELÉCTRICO DEL HOSPITAL DEL NIÑO Y ADOLESCENTE  
MORELENSE**

TESIS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA –  
ELÉCTRONICA

PRESENTA  
HERNÁNDEZ CARBALLO DAVID ULISES

ASESOR DE TESIS  
DR. LUIS CISNEROS VILLALOBOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

## Agradecimientos

Doy gracias a Dios por permitirme la vida, a las personas que me impulsaron a realizar mis sueños, a mis padres que nunca perdieron la fe en mí, por seguir apoyándome a pesar de las dificultades de la vida.

Agradezco a mi director espiritual que me oriento para seguir adelante y a mi prometida que día a día me sigue impulsando.

Gracias a todos mis profesores de la carrera que me ayudaron a crecer intelectualmente al doctor Luis Cisneros que me oriento en la redacción de la tesis, al ingeniero Luis Rodríguez que siempre me oriento de la mejor manera posible durante toda la carrera y finalmente a todos los profesores que hicieron su mayor esfuerzo por dar una clase de calidad y no se cansaron de dar soluciones a las dudas planteadas durante clase.

## CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS .....	VI
INDICE DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	IX
1. CAPÍTULO. CALIDAD DE LA ENERGÍA .....	10
1.1 Introducción a la calidad del suministro eléctrico y su importancia .....	10
1.2 Concepto de Calidad de Energía .....	10
1.3 Parámetros de calidad de la energía .....	12
1.4 Factores que afectan la calidad del suministro eléctrico .....	13
2. CAPÍTULO. MONITOREO DE LA RED ELÉCTRICA.....	14
2.1 Nociones generales de la onda eléctrica.....	15
2.2 Fenómenos electromagnéticos.....	16
2.3 Variaciones de estado estable.....	19
2.3.1 Variaciones de voltaje de larga duración.....	19
2.3.2 Distorsión armónica.....	24
2.3.3 Fluctuaciones de voltaje (Flicker) .....	40
2.3.4 Desbalance.....	44
2.4 Perturbaciones .....	46
2.4.1 Variaciones de voltaje de corta duración.....	46
2.4.2 Transitorios de voltaje .....	51
2.4.3 Variaciones de la frecuencia.....	53
2.5 Factor de potencia.....	55
2.6 Termografía infrarroja de la instalación eléctrica.....	60
3. CAPÍTULO: CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA Y ANALIZADOR DE REDES MARCA DRANETZ.....	62
3.1 Descripción de la instalación eléctrica .....	62
3.2 Tensión de servicio.....	63
3.3 Cargas conectadas.....	63
3.4 Corriente de corto circuito.....	64
3.5 Corriente de carga.....	65
3.6 Impedancia relativa.....	65
3.7 Diagrama unifilar.....	67
3.8 Descripción de un analizador de redes .....	67

3.8.1	Ventajas de un analizador de redes.....	68
3.8.2	Características y aplicación del analizador de redes Dranetz.....	69
3.8.3	Modo transitorio .....	71
3.8.4	Parámetros del analizador de redes Dranetz.....	71
4.	<b>CAPÍTULO. ANÁLISIS DE MEDICIONES DE LA RED ELÉCTRICA DEL HOSPITAL DEL NIÑO Y EL ADOLESCENTE MORELENSE.....</b>	<b>73</b>
4.1	Instalación del equipo .....	73
4.2	Configuración del instrumento .....	75
4.3	Reporte de datos obtenidos.....	77
4.3.1	Prueba de frecuencia rangos de $[\pm 1\%]$ .....	77
4.3.2	Prueba de frecuencia rangos de $[-6\%, +4\%]$ .....	77
4.3.3	Prueba de frecuencia rangos de $[\pm 0.08\%]$ .....	78
4.3.4	Prueba de frecuencia rango de $[59 - 61 \text{ Hz}]$ .....	78
4.3.5	Prueba de frecuencia rango de $[58 - 62.5 \text{ Hz}]$ .....	79
4.3.6	Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase A, rangos de $[\pm 10\%]$ .....	80
4.3.7	Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase B, rangos de $[\pm 10\%]$ .....	81
4.3.8	Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase C, rangos de $[\pm 10\%]$ .....	83
4.3.9	Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase A, rangos de $[-15\%, 10\%]$ .....	84
4.3.10	Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase B, rangos de $[-15\%, 10\%]$ .....	85
4.3.11	Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase C, rangos de $[-15\%, 10\%]$ .....	85
4.3.12	Prueba de parpadeo de la fase A: $P_{st} \leq 1$ .....	86
4.3.13	Prueba de parpadeo de la fase B: $P_{st} \leq 1$ .....	87
4.3.14	Prueba de parpadeo de la fase C: $P_{st} \leq 1$ .....	89
4.3.15	Prueba de desbalance de voltaje de fase A $\leq 2\%$ .....	90
4.3.16	Prueba de desbalance de voltaje de fase B $\leq 2\%$ .....	91
4.3.17	Prueba de desbalance de voltaje de fase C $\leq 2\%$ .....	91
4.3.18	Prueba de desbalance de corriente trifásico $\leq 8\%$ .....	93
4.3.19	Prueba de factor de potencia en fase A $\geq 0.95$ .....	94
4.3.20	Prueba de factor de potencia en fase B $\geq 0.95$ .....	95
4.3.21	Prueba de factor de potencia en fase C $\geq 0.95$ .....	96
4.3.22	Prueba de factor de potencia trifásico $\geq 0.95$ .....	97

4.3.23	Prueba de distorsión armónica total de voltaje de fase $\leq 8\%$ .....	98
4.3.24	Prueba de distorsión armónica total de demanda de corriente en la fase A $\leq 15\%$ .....	99
4.3.25	Prueba de distorsión armónica total de demanda de corriente en la fase B $\leq 15\%$ .....	100
4.3.26	Prueba de distorsión armónica total de demanda de corriente en la fase C $\leq 15\%$ .....	102
4.3.27	Prueba de armónicos individuales 1-25 de voltaje de fases .....	103
4.3.28	Prueba de armónicos individuales 1-25 de corriente en la fase A.....	104
4.3.29	Prueba de armónicos individuales 1-25 de corriente en la fase B.....	106
4.3.30	Prueba de armónicos individuales 1-25 de corriente en la fase C.....	107
4.4	Reporte termográfico .....	112
5.	CAPÍTULO. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES .....	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	114
	ANEXO A. TÉCNICAS DE ATENUACIÓN DE DISTURBIOS .....	119

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diagrama de supervisión en la Industria [referencia bibliográfica 19].....	14
Figura 2.1. Forma ideal de onda sinusoidal” .....	16
Figura 2.2. Rangos de voltaje para servicio en 120 [referencia bibliográfica 20].....	19
Figura 2.3. Comportamiento de la red por sobretensión atmosférica y de maniobra [referencia bibliográfica 21] .....	20
Figura 2.4. Bajo voltaje en una línea 120 V [referencia bibliográfica 22] .....	21
Figura 2.5. Unión de armónica con señal fundamental [referencia bibliográfica 20] .....	26
Figura 2.6. Representación de una serie de Fourier y sus armónicos. [referencia bibliográfica 23].....	27
Figura 2.7. Espectro armónico de una fuente conmutada [referencia bibliográfica 24] .....	31
Figura 2.8. Muestras de tensión de un rectificador trifásico.[ referencia bibliográfica 25] ..	38
Figura 2.9. Representación de una onda con ruido. [referencia bibliográfica 26] .....	39
Figura 2.10. Límites de irritación y visibilidad de fluctuaciones de voltaje.[ referencia bibliográfica 27] .....	41
Figura 2.11. Representación de fluctuaciones de voltaje.[ referencia bibliográfica 27] .....	41
Figura 2.12. Representación de sag’s en la onda sinusoidal [referencia bibliográfica 20]. .	47
Figura 2.13. Representación de un swell en una onda sinusoidal [referencia bibliográfica 20]. .....	48
Figura 2.14. Interrupción del suministro eléctrico de 0.17 segundos aproximadamente [referencia bibliográfica 20] .....	49
Figura 2.15. Transitorio por descarga atmosférica.[ referencia bibliográfica 28].....	51
Figura 2.16. Corriente transitoria oscilante causada por la maniobra de banco de capacitores.[ referencia bibliográfica 20] .....	52
Figura 2.17.Representación de variación de frecuencia a través del tiempo.[ referencia bibliográfica 29] .....	54
Figura 2.18. Representación de triángulo de potencias. ....	56
Figura 2.19. Voltaje con corriente armónica de 5 orden.[ referencia bibliográfica 30] .....	58
Figura 2.20. Pirámide de potencias. ....	58
Figura 3.1. Diagrama Unifilar de fuerzas .....	67
Figura 3.2. Analizador Dranetz DBPVFLEX6K.....	70
Figura 4.1. Conexión de sensores para tensión y corriente. ....	73
Figura 4.2. Analizador de redes Dranetz conectado a los sensores de voltaje y corriente. ..	74
Figura 4.3. Conexión correcta del neutro .....	74
Figura 4.4. Tipo de conexión seleccionada. ....	75
Figura 4.5. Sensor de corriente TR2500A.....	75
Figura 4.6. Espectro total de frecuencia. ....	80
Figura 4.7. Voltaje RMS de fase A. ....	81
Figura 4.8. Voltaje RMS de fase B.....	82
Figura 4.9. Voltaje RMS de fase C.....	84
Figura 4.10. PST fase A. ....	87
Figura 4.11. PST fase B.....	88

Figura 4.12. PST de fase C.....	89
Figura 4.13. Desbalance de fase A. ....	90
Figura 4.14. Desbalance de fase B. ....	91
Figura 4.15. Desbalance de fase C. ....	92
Figura 4.16. Desbalance trifásico. ....	93
Figura 4.17. Factor de potencia fase A.....	94
Figura 4.18. Factor de potencia fase B. ....	95
Figura 4.19. Factor de potencia fase C. ....	96
Figura 4.20. Factor de potencia trifásica. ....	97
Figura 4.21. Porcentaje de VTHD de las tres fases. ....	99
Figura 4.22. Porcentaje de ITHD de fase A. ....	100
Figura 4.23. Porcentaje de ITHD de fase B.....	101
Figura 4.24. Porcentaje de ITHD de fase C.....	102
Figura 4.25. Espectro armónico de Voltaje. ....	104
Figura 4.26. Espectro armónico de corriente de fase A. ....	105
Figura 4.27. Espectro armónico de corriente de fase B.....	107
Figura 4.28. Espectro armónico de corriente de fase C.....	108
Figura 4.30. Conexión de cargas .....	112
Figura 4.29. Variador de frecuencia .....	112
Figura 4.31. Temperatura de conductores .....	112
Figura 0.1. Estructura del MOV´s. ....	120
Figura 0.2. Conexión trifásica de supresor de picos.....	120
Figura 0.3. Conexión típica de UPS .....	120
Figura 0.4. Aplicación de un filtro activo de potencia. ....	120
Figura 0.5. Aplicación de un filtro pasivo de potencia.....	120
Figura 0.6. Conexión de banco de capacitores en estrella.....	120
Figura 0.7. Conexiones comunes de los bancos de capacitores. ....	120
Figura 0.8. Reactor trifásico de línea.....	120
Figura 0.9. Esquema de conexión de reactor de línea .....	120
Figura 0.10. Diagrama de transformador ordinario y de aislamiento.....	120

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de las principales perturbaciones electromagnéticas según la CEI17	
Tabla 2.2. Estándar de la norma IEEE dentro del parámetro de calidad de la energía .....	18
Tabla 2.3. Voltajes con rangos de tolerancia según la Norma ANSI .....	22
Tabla 2.4. Tolerancias según el manual regulatorio de centros de carga – código de red. ..	23
Tabla 2.5. Relación de la secuencia y armónicos .....	29
Tabla 2.6. Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en la red pública de baja tensión. ....	32
Tabla 2.7. Límite de distorsión armónica .....	33
Tabla 2.8. Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos, en porcentaje de la fundamental o pu, para sistemas de BT y MT.....	33
Tabla 2.9. Límites máximos de distorsión armónica total en tensiones de CAIMT en el punto de acometida .....	34
Tabla 2.10. Límites de distorsión para sistemas de 120 V a 69 kV.....	35
Tabla 2.11. Distorsión máxima permitida en corrientes de baja tensión.....	35
Tabla 2.12. Límites máximos permisibles en corrientes para tensiones menores o iguales a 69 kV. ....	36
Tabla 2.13. Límite de variación de tensión CFE-L0000-45 .....	42
Tabla 2.14. Límites de fluctuaciones de tensión .....	43
Tabla 2.15. Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida. – CFE L0000-45 .....	45
Tabla 2.16. Desbalance máximo permitido en la tensión en el punto de acometida – CFE L0000-45 .....	45
Tabla 2.17. Desbalance máximo permitido de corriente en el punto de acometida. ....	46
Tabla 2.18. Valores de frecuencia máxima y mínima. ....	55
Tabla 3.1. Parámetros de medición y monitoreo del analizador Dranetz.....	72
Tabla 4.1. Parámetros de medición del analizador de redes por defecto B.....	76
Tabla 4.2. Parámetros de medición del analizador de redes por defecto A.....	76
Tabla 4.3 Rango de distorsión armónica permitido trifásico. ....	103
Tabla 4.4 Distorsión armónica fase A .....	105
Tabla 4.5 Distorsión armónica fase B. ....	106
Tabla 4.6 Distorsión armónica fase C. ....	108

## LISTA DE ACRÓNIMOS

### Español

CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CRE	Comisión Reguladora de Energía
FP	Factor de potencia
MB	Baja Tensión
MOV's	Varistor de óxido metálico
MT	Mediana Tensión
NOM	Norma Oficial Mexicana
RMS	Raíz media cuadrática

### Inglés

ANSI	American National Standards Institute
EN	European Normalization
HV	High Voltage
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Electrotechnical Commission
LV	Low Voltage
MV	Medium Voltage
NETA	International Electrical Testing Association
PU	Per Unit
TDD	Total Demand Distortion
THD	Total Harmonic Distortion
UPS	Uninterruptible Power Supply

## **1. CAPÍTULO. CALIDAD DE LA ENERGÍA**

El estudio se realiza para determinar la causa probable que provoco que el devanado del transformador tipo seco se quemara.

### **1.1 Introducción a la calidad del suministro eléctrico y su importancia**

Actualmente el organismo que se encarga de regular todo el sector eléctrico y dar los lineamientos a seguir es la CRE, está se encarga de dar los parámetros para el adecuado funcionamiento de la red eléctrica.

El sector eléctrico en México, al contar con una cobertura amplia del servicio para la población, busca la óptima calidad en el servicio que presta. Por lo tanto, la regulación de la calidad de energía es parte de las actividades de la industria eléctrica y de los centros de carga, ya que los diferentes tipos de consumidores son más susceptibles a diferentes a las variaciones de energía en el sistema eléctrico.

El impacto del concepto “calidad de energía” es necesario comprenderlo, ya que el aumento de equipos electrónicos y electrónica de potencia es cada vez mayor.

### **1.2 Concepto de Calidad de Energía**

Definamos primeramente ¿qué es la calidad?

La calidad es definida por varios autores entre ellos sobresalen Deming (1989) o Crosby (1987), considerados por muchos autores como los grandes teóricos de la calidad.

- Deming (1989) la calidad es “un grado predecible de uniformidad y fiabilidad a bajo coste, adecuado a las necesidades del mercado”. El autor indica que el principal objetivo de la empresa debe ser permanecer en el mercado, proteger la inversión, ganar dividendos y asegurar los empleos.
- La idea principal que aporta Crosby (1987) es que la calidad no cuesta, lo que cuesta son las cosas que no tienen calidad.
- **NC/ ISO 9000 2005.** Según la norma, la calidad es entendida como el grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos.

De lo anterior se puede definir como calidad de la energía al conjunto de normas que establecen el adecuado funcionamiento del sistema eléctrico, que permiten una mejor eficiencia en las plantas generadoras.

Para la norma IEC (61000-2-2/4) define la calidad de la energía como: “Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos de este mismo”.

Para la norma IEEE Estándar 1159 de 2019: El término se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctrica, en un tiempo dado y en una ubicación en el sistema de potencia.

Para la **CRE** la calidad se divide en tres aspectos.

- **Calidad del servicio:** Todos los aspectos relacionados con la interacción comercial entre usuario y el prestador del servicio.
- **Calidad del suministro:** Todos los aspectos relacionados con la continuidad con que se recibe el servicio una vez que este ha sido contratado.
- **Calidad de la energía:** Todos los aspectos relacionados con la calidad de onda de la energía que se recibe cuando hay servicio.

### **1.3 Parámetros de calidad de la energía**

La calidad de la energía eléctrica depende de características clave de las fuentes de electricidad, como la frecuencia, tensión y variación de tensión, pero las características más críticas son el contenido armónico y los transitorios por sobretensión, a continuación, se enlistan los más importantes.

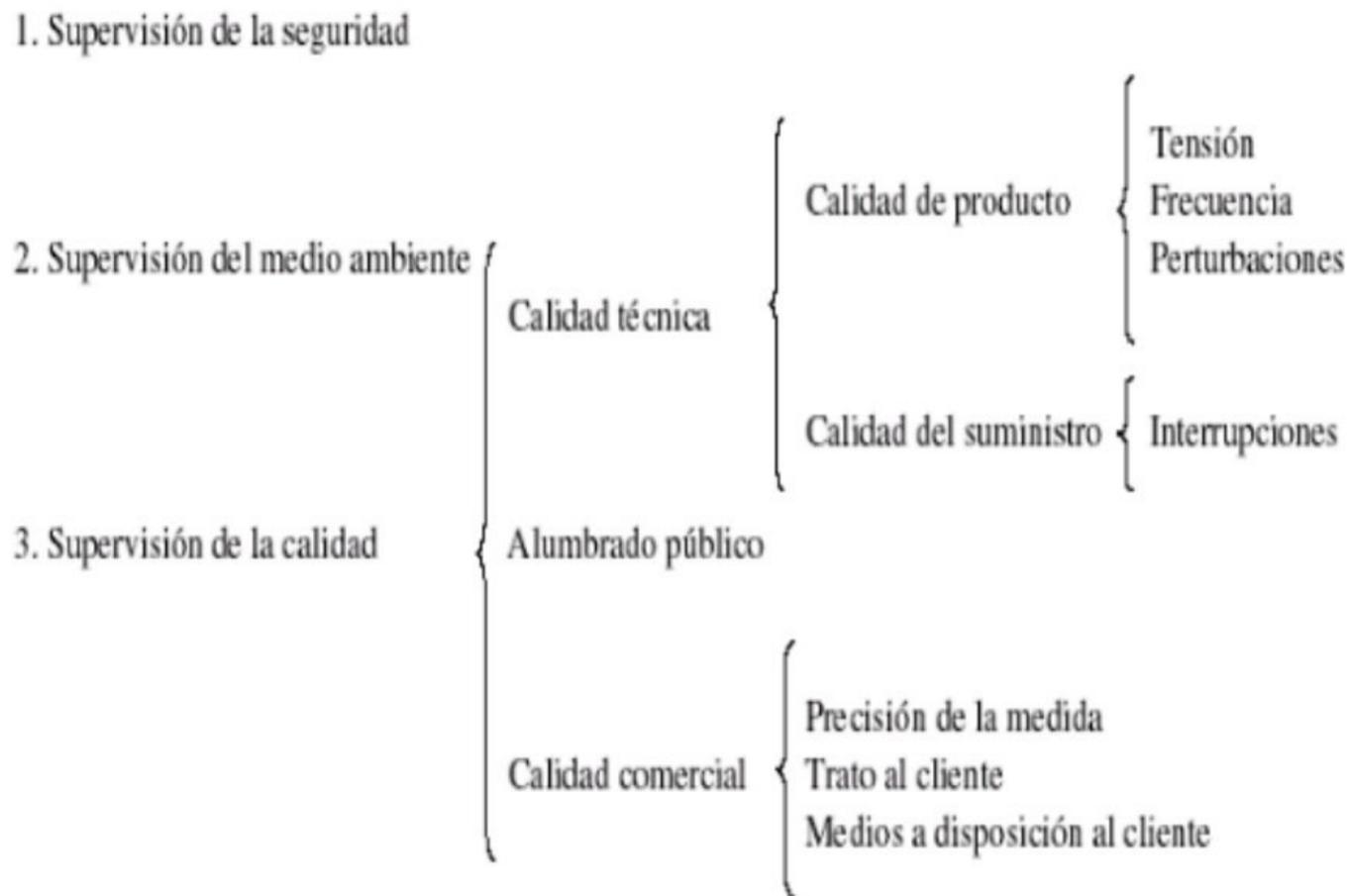
- Variaciones de frecuencia y tensión
- Cambios rápidos de tensión
- Severidad de parpadeos (Flicker)

- Huecos de tensión (Dips)
- Interrupciones cortas o prolongadas de tensión
- Transitorios por sobretensión
- Desequilibrio de tensión

#### **1.4 Factores que afectan la calidad del suministro eléctrico**

Se habla de problemas en la calidad de la energía cuando ocurre cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia que provoca la mala operación de equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los usuarios; así mismo cuando ocurre alguna interrupción de larga duración en el flujo de energía eléctrica.

Más del 85% de las perturbaciones son altibajos de tensión y el resto de los problemas son: eventos transitorios o impulsos, distorsiones armónicas, variaciones o deformaciones de la frecuencia, picos de tensión y ruido en la línea.



*Figura 1.1. Diagrama de supervisión en la Industria [referencia bibliográfica 19]*

## 2. CAPÍTULO. MONITOREO DE LA RED ELÉCTRICA

La red eléctrica tiene como propósito suministrar electricidad, desde los proveedores hasta los consumidores. La red es una interconexión de los siguientes componentes; plantas generadoras, líneas de transmisión y los transformadores que reducen o aumentan la energía generada.

Dentro de la industria de la energía eléctrica, la red eléctrica es un término que se usa para definir una red de electricidad que realiza lo siguiente:

### 1.- Generación de electricidad

2.- Trasmisión de electricidad

3.- Distribución de electricidad

## **2.1 Nociones generales de la onda eléctrica**

A continuación, se presentan características generales de una onda sinusoidal.

**Frecuencia:** La frecuencia de red es, idealmente, de 60 Hz (ciclos por segundo). Mientras la generación y la carga se mantengan equilibradas, esta frecuencia ha de mantenerse constante.

**Fase:** Situación instantánea en el ciclo de una magnitud que varía cíclicamente.

**Amplitud:** Define los valores máximos y mínimos de esta onda; el valor máximo positivo recibe el nombre de “pico o cresta”, por el contrario, el valor máximo negativo recibe el nombre de “vientre o valle”.

**Valor eficaz:** Se define como el valor de una corriente rigurosamente constante que al circular por una determinada impedancia produce los mismos efectos caloríficos que dicha corriente variable.

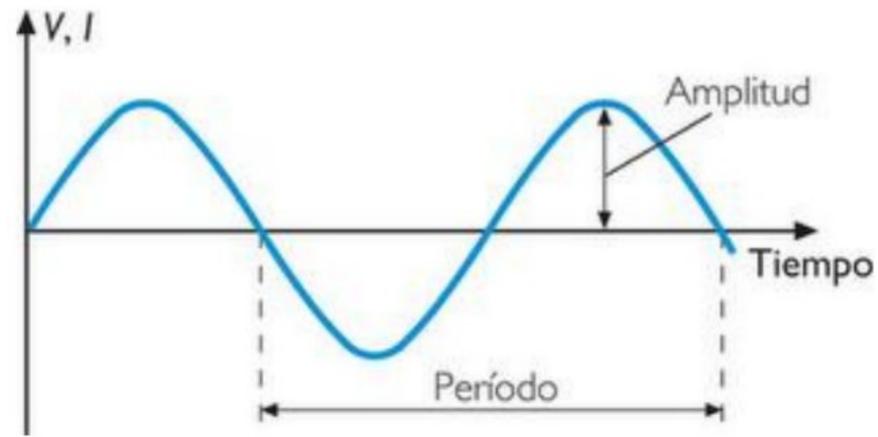


Figura 2.1. Forma ideal de onda sinusoidal”

## 2.2 Fenómenos electromagnéticos

Son los que producen un campo magnético que surge cuando existe una carga en movimiento en una corriente y dipolos magnéticos intrínsecos. Es así, como el magnetismo se observa siempre que hay partículas cargadas eléctricamente y que se encuentran en movimiento.

### Clasificación de fenómenos electromagnéticos norma de CEI

La CEI en su norma sobre compatibilidad electromagnética clasifica las perturbaciones de la siguiente manera:

<i>Categoría</i>	Descripción
------------------	-------------

<i>Fenómenos conducidos de baja frecuencia</i>	Armónicos, inter-armónicos Señales transmitidas en la red Fluctuaciones de tensión Huecos de tensión e interrupciones Desequilibrio de tensiones Variaciones de frecuencia Voltajes inducidos de baja frecuencia Componente de continua en redes de alterna
<i>Fenómenos radiados de baja frecuencia</i>	Campos magnéticos Campos eléctricos
<i>Fenómenos conducidos de alta frecuencia</i>	Tensiones o corrientes inducidas de onda continua Transitorios unidireccionales Transitorios oscilatorios
<i>Fenómenos radiados de alta frecuencia</i>	Campos eléctricos Campos magnéticos Campos electromagnéticos (radio) Ondas continuas Transitorios
<i>Fenómenos de descarga electrostática</i>	-
<i>Pulsos electromagnéticos nucleares</i>	-

*Tabla 2.1. Clasificación de las principales perturbaciones electromagnéticas según la CEI*

### **Clasificación de fenómenos electromagnéticos norma de IEEE**

La norma IEEE Estándar 1159 de 2019 [8], fenómenos electromagnéticos clasifica tres tipos.

- Variaciones en el valor RMS de la tensión o corriente.
- Perturbaciones de carácter transitorio.

- Deformaciones en la forma de onda.

En la tabla 2.2 se muestra un resumen de las características típicas de los fenómenos electromagnéticos.

Categorías	Contenido espectral	Duración	Magnitud de voltaje
<b>Transitorios</b>			
<b>Impulsos</b>			
Nanosegundos	5 ns rise	< 50 ns	
Microsegundos	1 $\mu$ s rise	50 ns - 1 ms	
Milisegundos	0.1 ms rise	> 1 ms	
<b>Oscilatorios</b>			
Baja frecuencia	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
Mediana frecuencia	5-500 kHz	20 $\mu$ s	0 - 8 pu
Alta frecuencia	0.5 - 5 MHz	5 $\mu$ s	0 - 4 pu
<b>Variación RMS de corta duración</b>			
<b>Instantáneas</b>			
Sag/Dip (Valles)		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
Swell (Cresta)		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
<b>Momentáneas</b>			
Interrupciones		0.5 ciclos - 3 s	<0.1 pu
Sag/Dip (Valles)		30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
Swell (Cresta)		30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
<b>Temporales</b>			
Interrupciones		> 3 s - 1 min	<0.1 pu
Sag/Dip (Valles)		> 3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
Swell (Cresta)		> 3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
<b>Variación RMS de larga duración</b>			
<b>Interrupciones sostenidas</b>			
Bajo voltaje		> 1 min	0.0 pu
Sobre voltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
Sobrecarga de corriente		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
<b>Desbalance</b>			
Voltaje		Estado estable	0.5 - 2 %
Corriente		Estado estable	1.0 - 30 %
<b>Distorsión de forma de onda</b>			
Desplazamiento o corrimiento de CD		Estado estable	0 - 0.1%
Armónicos	0 - 9 kHz	Estado estable	0 - 20%
Interarmónicos	0 - 9 kHz	Estado estable	0 - 2%
Notching (hendiduras o muescas de tensión)		Estado estable	
Ruido	Banda ancha	Estado estable	0 - 1%
<b>Fluctuaciones de voltaje (Flicker)</b>			
	<25 Hz	Intermitente	0.1 - 1%
<b>Variación de frecuencia</b>			
		<10 s	$\pm$ 0.10 Hz

Tabla 2.2. Estándar de la norma IEEE dentro del parámetro de calidad de la energía

## 2.3 Variaciones de estado estable

### 2.3.1 Variaciones de voltaje de larga duración

Las sobretensiones y la baja tensión son variaciones de voltaje de larga duración cuando las desviaciones de RMS a la frecuencia del sistema son mayores a 1 minuto.

Las sobretensiones y la baja tensión no se deben a fallas en el sistema, estas son causadas generalmente por variaciones de la carga u operaciones de conexión y desconexión.

Estas variaciones se registran cuando se monitorea el valor RMS de la tensión contra el tiempo.

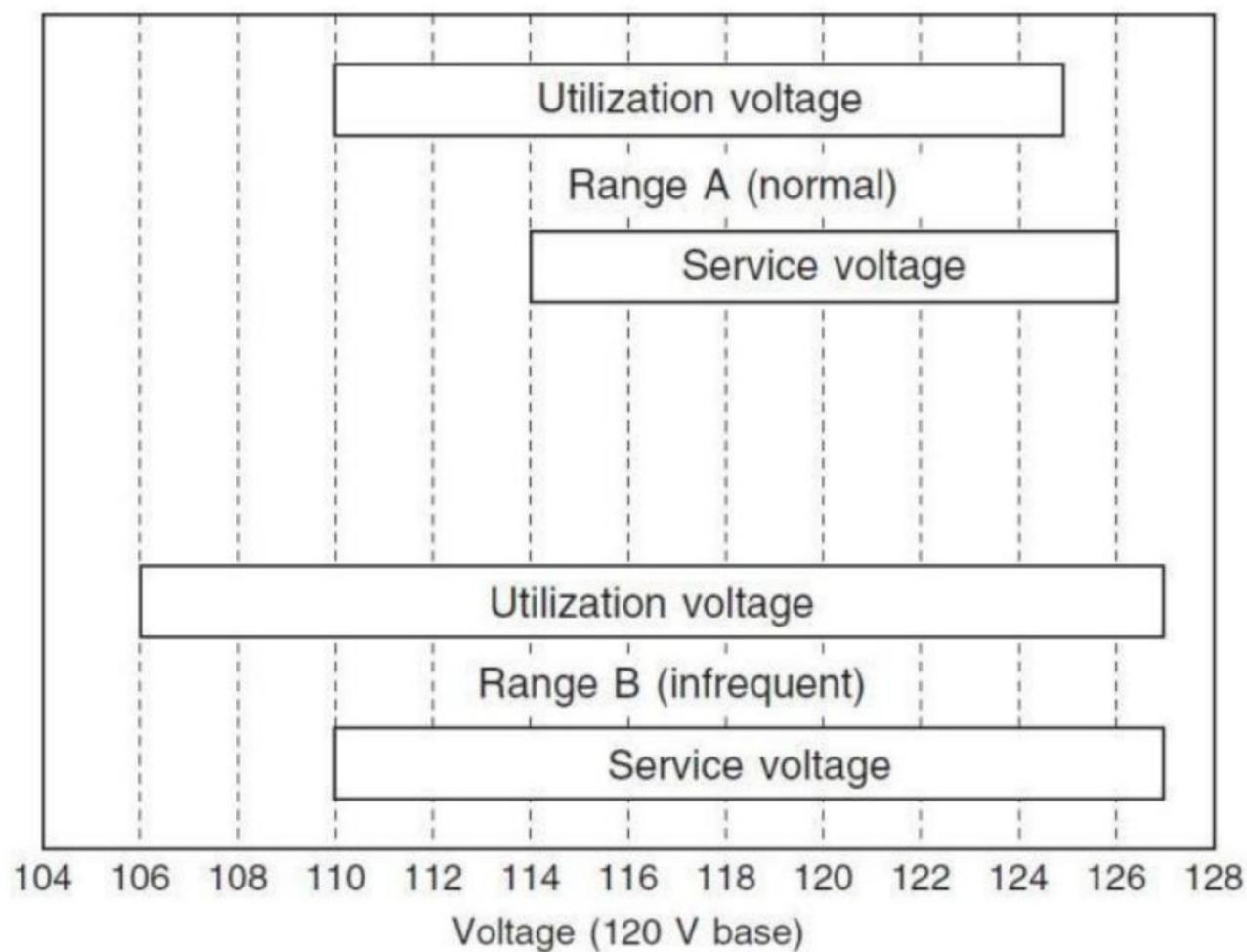
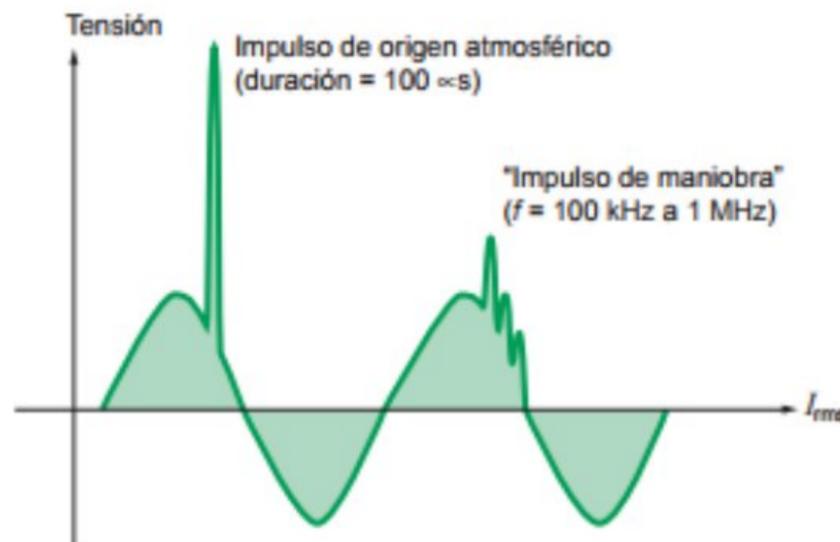


Figura 2.2. Rangos de voltaje para servicio en 120 [20]

## Sobretensión

Es el incremento de la tensión a un nivel superior del valor nominal que se presentan en los sistemas de energía eléctrica.

Regularmente las sobretensiones son el resultado de la desconexión de grandes cargas o a la conexión de bancos de capacitores. Además, éstas sobretensiones se pueden originar por descargas atmosféricas en las líneas de transmisión y esto se puede observar cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

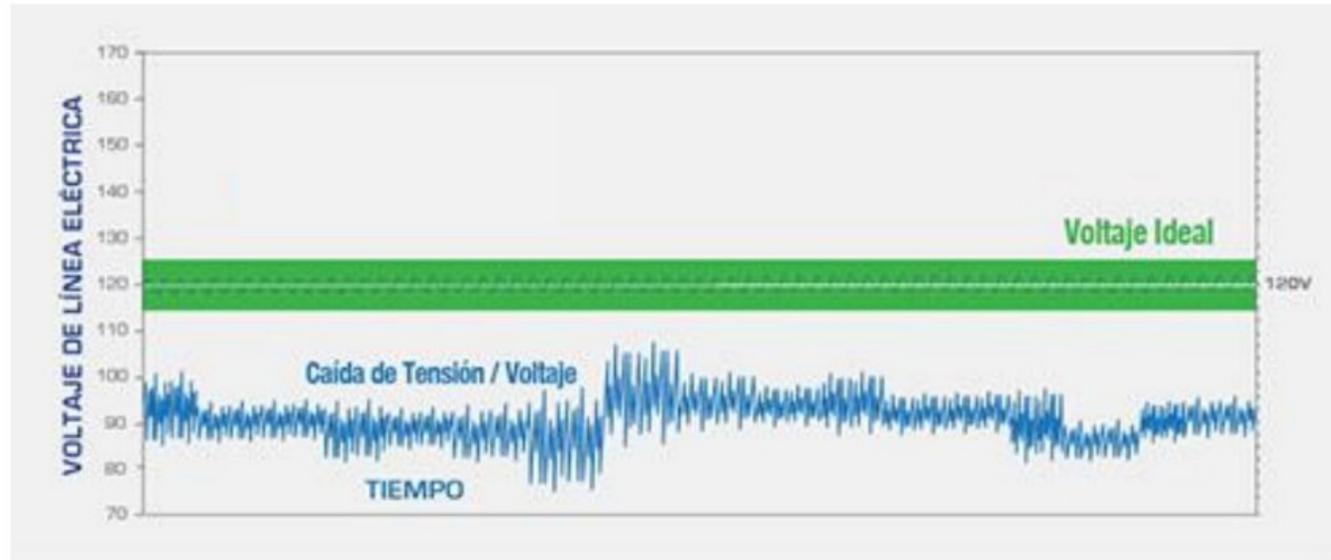


*Figura 2.3. Comportamiento de la red por sobretensión atmosférica y de maniobra [21]*

## Baja tensión

Es la reducción de la tensión a menos del valor nominal por una duración de tiempo mayor a un minuto.

Generalmente es contrario a la sobretensión y se produce cuando hay conexión de cargas o desconexión de bancos de capacitores estos que pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación de la red eléctrica actúen para restablecer su operación normal.



*Figura 2.4. Bajo voltaje en una línea 120 V [22]*

### **Interrupciones sostenidas**

Cuando el voltaje de suministro es cero, por un periodo de tiempo que excede a 1 minuto, la variación de voltaje de larga duración se considera una interrupción sostenida. Las interrupciones de voltaje más grandes de 1 minuto son a menudo permanentes y requieren de la intervención humana para reparar el sistema para su restauración.

Las interrupciones son el resultado de fallas en el sistema de potencia, fallas en el equipo, déficit de generación, mal funcionamiento de los controles y del mantenimiento programado.

Las interrupciones se miden por su duración y la magnitud del voltaje es siempre o casi cero.

## Normativas aplicables para variaciones de voltaje

### ANSI C84.1 VOLTAGE TOLERANCE STANDARD

El estándar nacional para la tolerancia de voltaje de la red pública en Norteamérica es ANSI C84.1. Esta norma establece los valores nominales de voltaje y las tolerancias de funcionamiento para sistemas de energía eléctrica de 60 Hz por encima de 100 voltios.

Según la norma aplicable los rangos de tolerancia son los siguientes.

Para el rango A la tolerancia es de +5%, -5% para voltajes menores a 600 V para voltajes superiores a 600 V la tolerancia es de +5%, -2.5%.

Para el rango B la tolerancia es de +5.8%, -8.3% para sistemas operando por debajo de los 600 V, y para los sistemas operando superior a 600 V la tolerancia es de +5.8%, -5%.

VALOR NOMINAL	RANGO A	RANGO B
120	114 - 126	110.04 - 126.96
208	197.6 - 218.4	190.736 - 220.064
240	228 - 252	220.08 - 253.92
277	263.15 - 290.85	254.009 - 293.066
480	456 - 504	440.16 - 507.84
2400	2340 - 2520	2280 - 2539.2
4160	4056 - 4368	3952 - 4401.28
4800	4680 - 5040	4560 - 5078.4
13800	13455 - 14490	13110 - 14600.4
23000	22425 - 24150	21850 - 24334
34500	33637.5 - 36225	32775 - 36501

*Tabla 2.3. Voltajes con rangos de tolerancia según la Norma ANSI*

## NOM-001-SEDE-2012

En la sección 4.2.2.3 sobre valores y tolerancias se establece que las tensiones y tolerancias no excederán el margen del +10%, -10%.

### Código De Red

Se establece que en estado normal de operación los centros de carga deberán soportar en mediana y alta tensión valores de tolerancia del -5% para valor menor y valor máximo según el aislamiento del centro de carga. Como se muestra en la siguiente tabla.

Tensión nominal [kV]	Tensión máxima [kV]	Tensión mínima [kV]
400.0	420.0	380.0
230.0	245.0	218.5
161.0	170.0	152.9
138.0	145.0	131.1
115.0	123.0	109.2
85.0	92.0	80.7
69.0	72.5	65.5
34.5	38.0	32.7
23.0	25.0	21.8
13.8	15.0	13.1

Tabla 3.1.1.A. Valores máximos y mínimos de tensión que deben soportar los Centros de Carga de manera permanente.

**Nota 1.** Se toma como tensión máxima, el valor que soporta el aislamiento de los equipos del Centro de Carga.

**Nota 2.** Se toma como tensión mínima, el 95% de la tensión nominal.

*Tabla 2.4. Tolerancias según el manual regulatorio de centros de carga – código de red.*

## **UNE EN 50160**

Variaciones de tensión en BT y MT:  $\pm 10\%$  durante el 95% de la semana, mediante los valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos.

Variaciones de tensión en BT y MT:  $+10\%$ ,  $-15\%$  durante el 100% de la semana, media de valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos. Un sobrevoltaje o swell sucede cuando el voltaje suministrado es mayor que  $110\%$  del voltaje nominal.

Interrupción breve de la tensión del suministro en BT, MT (hasta 3 minutos). Pocas decenas – pocas centenas /año. Durante del 70% de las interrupciones  $<1$  seg. Con reducción del 95% durante 5 segundos (EN 61000-6-1).

Una interrupción sucede cuando el voltaje suministrado tiene un valor menor al 1% del voltaje nominal. Al año se permiten hasta 1000 interrupciones breves (hasta 3 minutos) y 50 interrupciones prolongadas (de más de 3 minutos).

### **2.3.2 Distorsión armónica**

La distorsión de la forma de onda se define como una desviación en estado estacionario de una onda senoidal a la frecuencia del sistema, principalmente se caracteriza por el contenido espectral de la desviación. Existen 5 tipos de distorsión armónica.

1. Offset de CD (Desplazamiento de CD)
2. Armónicos
3. Inter-armónicos
4. Notching (hendiduras o muescas de tensión)
5. Ruido

### **1-. Offset de CD**

La presencia de un voltaje o corriente de CD en un sistema de potencia de CA se determina por un offset de CD. Esto se puede presentar como el resultado de un disturbio geomagnético o asimetría de los convertidores de electrónica de potencia. La corriente directa en redes de CA puede tener un efecto perjudicial para los núcleos de los transformadores, porque se saturan en operación normal. Esto causa calentamiento adicional y pérdidas en la vida útil del transformador.

### **2-. Armónicos**

Los armónicos son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60 Hz) de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, estas se originan debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal.

Los niveles de distorsión armónica se describen por el espectro completo de armónicas con magnitudes y ángulos de fase de cada componente. Es común usar una cantidad, distorsión armónica total (en inglés, THD) como una medida del valor efectivo de distorsión armónica.

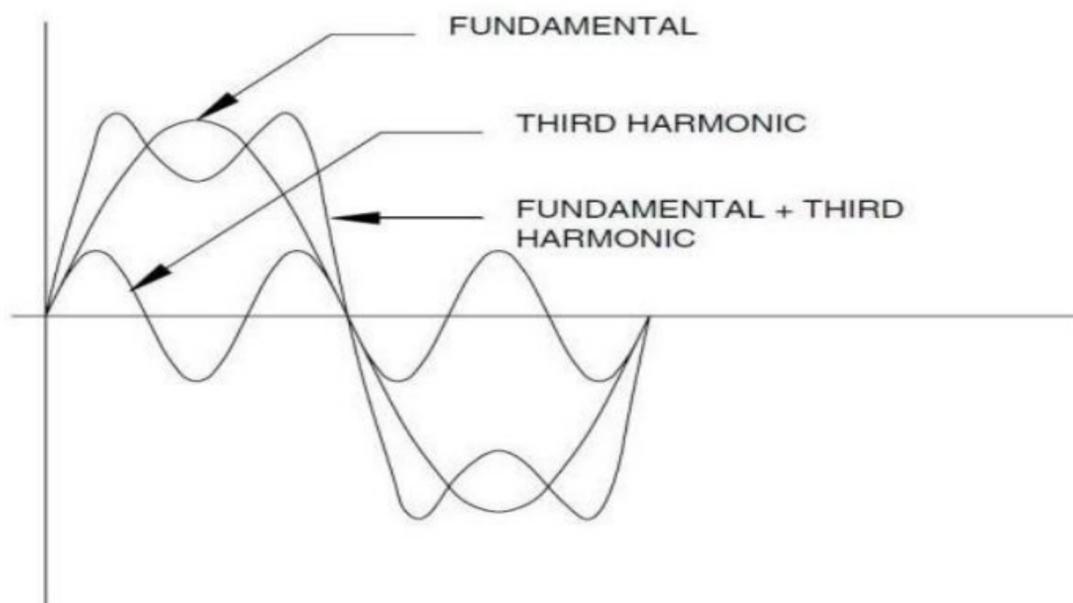


Figura 2.5. Unión de armónica con señal fundamental [20]

### Generalidades de los armónicos

Se pueden clasificar en tres parámetros: Orden, Frecuencia y Secuencia.

La modelación matemática de una onda sinusoidal distorsionada por armónicos es:

$$g(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cdot \cos(h\omega t) + b_n \cdot \sin(h\omega t)) \quad (2.1)$$

El valor eficaz F de una señal temporal f(t) se calcula mediante la expresión matemática.

$$F = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad (2.2)$$

Que es la parte más significativa del sumatorio.

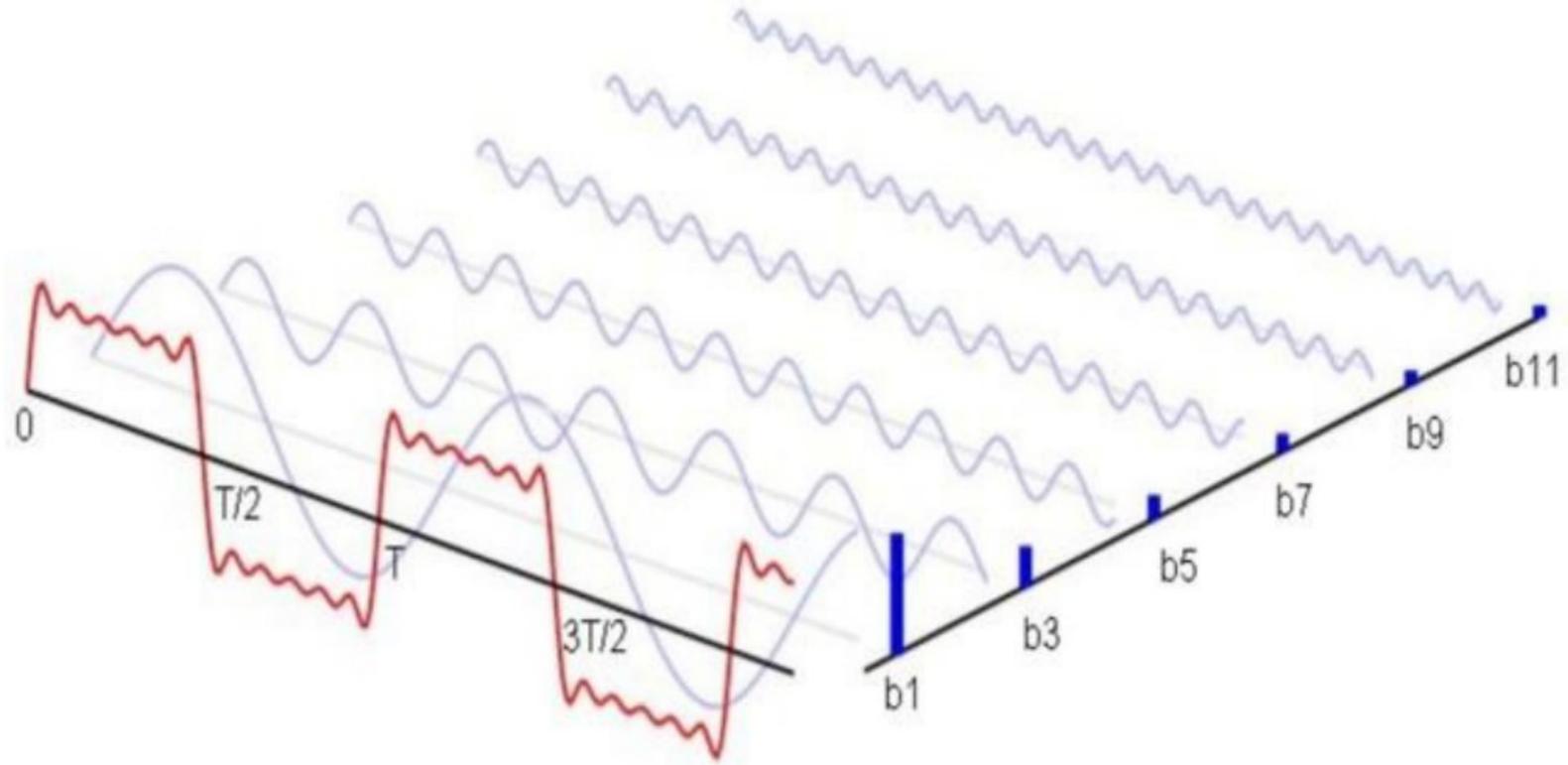


Figura 2.6. Representación de una serie de Fourier y sus armónicos. [23]

## Orden

Determina el número de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor a la frecuencia fundamental. Además, se define como la relación que hay entre la frecuencia del armónico ( $f_n$ ) y la frecuencia fundamental ( $f_{60}$ )Hz.

$$n = \frac{f_n}{f_{60}} \quad (2.3)$$

## La frecuencia

Se define como el resultado de multiplicar el número de orden del armónico por la frecuencia fundamental (60 Hz), por ejemplo.

3ª armónica 3 x 60 Hz = 180 Hz

Los armónicos de orden impar son los que se encuentran en las redes eléctricas. Los de orden par solo aparecen cuando hay asimetría en la señal eléctrica.

### La secuencia

El teorema de componentes simétricas nos ayuda a simplificar el análisis de los sistemas de energía trifásicos desequilibrados, pues permite describir de forma general un sistema polifásico desbalanceado.

Para la armónica fundamental  $h = 1$  que es una secuencia positiva:

$$\begin{aligned}I_a &= I \sin(\delta_a) = I \sin(\omega t) \\I_b &= I \sin(\delta_b) = I \sin(\omega t - 120^\circ) \\I_c &= I \sin(\delta_c) = I \sin(\omega t + 120^\circ)\end{aligned}\tag{2.4}$$

Para  $h = 2$  que es una secuencia negativa tenemos que:

$$\begin{aligned}I_a &= I \sin(2\delta_a) = I \sin(2\omega t) \\I_b &= I \sin(2\delta_b) = I \sin(2\omega t - 240^\circ) = I \sin(2\omega t + 120^\circ) \\I_c &= I \sin(2\delta_c) = I \sin(2\omega t + 240^\circ) = I \sin(2\omega t - 120^\circ)\end{aligned}\tag{2.5}$$

Para  $h = 3$  que es una secuencia cero:

$$\begin{aligned}I_a &= I \sin(3\delta_a) = I \sin(3\omega t) \\I_b &= I \sin(3\delta_b) = I \sin(3\omega t - 360^\circ) = I \sin(3\omega t) \\I_c &= I \sin(3\delta_c) = I \sin(3\omega t + 360^\circ) = I \sin(3\omega t)\end{aligned}\tag{2.6}$$

En las siguientes h se repiten las secuencias, quedando la relación que existe entre las armónicas y las secuencias de la siguiente forma.

Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	-	...
Armónica	1	2	3	4	5	6	7	8	...
Frecuencia (Hz)	60	120	180	240	300	360	420	480	...

*Tabla 2.5. Relación de la secuencia y armónicos*

### **Efectos de los armónicos en sistemas de potencia**

Los armónicos tienen que ser reportados como la causa de problemas operacionales y algunos problemas son los siguientes.

**Sobrecarga en los bancos de capacitores.** - El esfuerzo dieléctrico es proporcional a la cresta o picos de voltaje. La potencia total reactiva, incluye frecuencia fundamental y armónicas, las cuales no deben exceder el rango de potencia reactiva del capacitor.

**Corrientes armónicas en máquinas de inducción y síncronas** causan pérdidas adicionales en calentamiento de estas máquinas. Estos efectos son la parte más importante atribuibles a las armónicas de bajo orden y de magnitudes altas. Las armónicas de más grande orden en motores de inducción reducen la disponibilidad de torque y velocidad y producen torque parásito a bajas velocidades desde que el motor arranca hasta máxima velocidad.

**Los sobrevoltajes y corrientes excesivas en un sistema** pueden ser debidos a la resonancia de armónicas en el circuito. Estas resonancias ocurren como resultado de muchas posibilidades diferentes. Los bancos de capacitores causan resonancia y las líneas de transmisión largas son únicamente dos de las muchas posibilidades.

**Errores de inducción en medición de los kilowatts-hora.** Causado por los armónicos que distorsionan la onda y al ser un sistema de medición que se basa en la media, los valores pueden ser diferentes cuando la onda se encuentra distorsionada.

**Sobre los motores** produce sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas de secuencia negativa (5ta armónica) y corrientes parasitas.

**Sobrecalentamiento de conductores,** las armónicas provocan un sobrecalentamiento debido al efecto piel; entre mayor es la frecuencia, el grado de penetración de la corriente en el conductor es menor, tendiendo a que viaje por su superficie.

#### **Tasa de distorsión armónica individual en tensión (U) y corriente (I)**

La tasa de distorsión armónica se define como la relación porcentual de la tensión (o de la corriente) en valor eficaz de la frecuencia del armónico correspondiente y la tensión en valor eficaz de la tensión correspondiente a la frecuencia fundamental.

$$HDU_n = \frac{U_{cafn}}{U_{caf60}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

$$HDI_n = \frac{I_{cafn}}{I_{caf60}} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

### Espectro armónico

Es la descomposición de la señal en sus armónicos en el dominio de la frecuencia, así se representa en un diagrama de barras el porcentaje de cada una de las señales armónicas, cuya suma produce la señal total analizada.

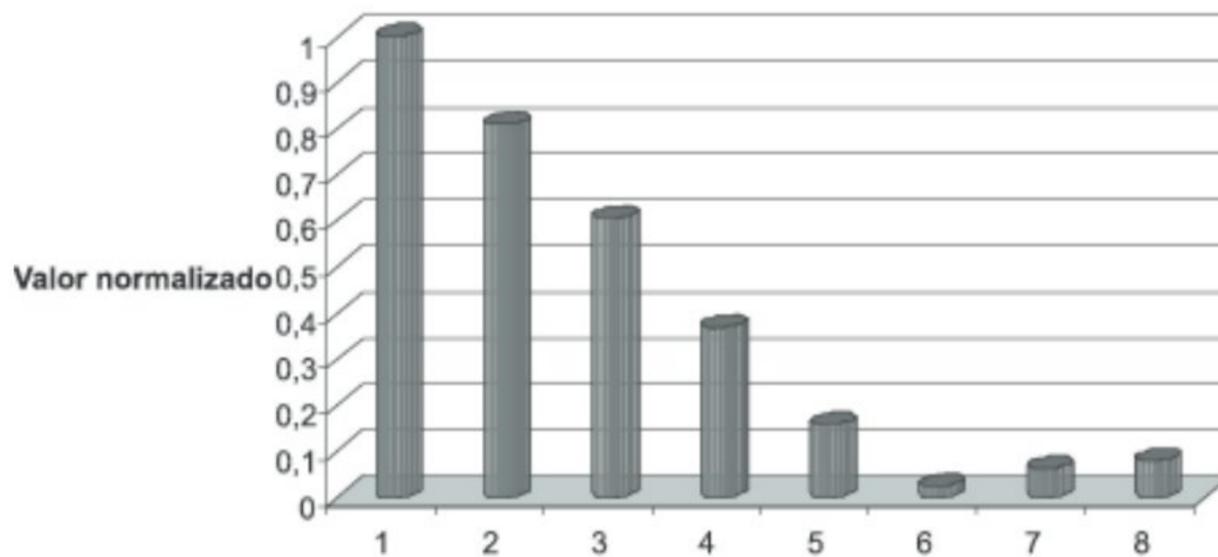


Figura 2.7. Espectro armónico de una fuente conmutada [24]

### Normatividad aplicable para tensión

Establece los límites de máxima distorsión que las compañías suministradoras deben garantizar en el punto de suministro a sus usuarios

## Estándar IEC 61000-3-6

Establece los límites de distorsión de armónicos de voltaje para los niveles de tensión manejados en Europa: Baja tensión (LV:  $V_n = 1$  kV), Mediana tensión (MV:  $1\text{kV} < V_n = 35$  kV), Alta tensión (HV:  $35\text{ kV} < V_n = 230$  kV) y Extra alta tensión (EHV:  $V_n > 230$  kV).

No múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden impar h	Voltaje armónico (%)	Orden impar h	Voltaje armónico (%)	Orden par h	Voltaje armónico (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,2
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0,2+1,3*25/h$				

Se considera que en el THD de la tensión de alimentación de considera que los componentes armónicos mayores a 40th son menores al 8%

*Tabla 2.6. Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en la red pública de baja tensión.*

## Estándar EN 50160

Estándar europeo que establece los límites de distorsión de armónicos de voltaje y son en su mayoría los mismos valores del estándar IEC 61000-3-6.

Armónicos impares				Armónicos pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden $h$	Voltaje armónico (%)	Orden $h$	Voltaje armónico (%)	Orden $h$	Voltaje armónico (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6-24	0,5
13	3	21	0,2		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

*Tabla 2.8. Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos, en porcentaje de la fundamental o pu, para sistemas de BT y MT.*

### Estándar IEEE 519-2014

Bus voltage $V$ at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1$ kV $< V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69$ kV $< V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161$ kV $< V$	1.0	1.5 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be connected.

*Tabla 2.7. Límite de distorsión armónica*

\*Nota: El PCC se define como el punto de acoplamiento común. Desde donde la distribuidora puede alimentar a varios usuarios.

## Especificación CFE L000-45

El contenido armónico de la tensión en el punto de acometida para formas de ondas periódicas debe limitarse de tal modo que los factores de distorsión total y de componente

Tensión kV	Componente armónico individual máximo de tensión (CAIMT) %	Distorsión armónica total de tensión (DATT) %
Menor de 1	6	8
De 1 a 35	5	6,5
Mayor de 35	2	3

*Tabla 2.9. Límites máximos de distorsión armónica total en tensiones de CAIMT en el punto de acometida*

armónico individual máximo de la tensión de fases y de fase a tierra, no exceda los límites establecidos como se muestra a continuación.

### **Normatividad aplicable para corriente**

#### **Estándar IEEE 519-2014**

Establece los límites de distorsión armónica de la corriente, tomando en cuenta la relación de la máxima corriente de corto circuito y de la corriente promedio de carga máxima (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común del sistema de distribución.

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>						
$I_{sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

<sup>a</sup>Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

<sup>b</sup>Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup>All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$ .

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC

$I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component)  
at the PCC under normal load operating conditions

Tabla 2.10. Límites de distorsión para sistemas de 120 V a 69 kV.

## Especificaciones CFE L0000-45

Los consumidores deben de limitar el contenido armónico que generan en la corriente que demandan según su impedancia relativa y su nivel de tensión.

Impedancia relativa $(I_{cc}/I_L)$	CAIMC %					DATD %
	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
$(I_{cc}/I_L) < 20$	4	2	1.5	0.6	0.3	5
$20 \leq (I_{cc}/I_L) < 50$	7	3.5	2.5	1	0.5	8
$50 \leq (I_{cc}/I_L) < 100$	10	4.5	4	1.5	0.7	12
$100 \leq (I_{cc}/I_L) < 1000$	12	5.5	5	2	1	15
$(I_{cc}/I_L) \geq 1000$	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabla 2.11. Distorsión máxima permitida en corrientes de baja tensión.

\*En caso de armónicas pares los límites se reducen al 25% de los correspondientes a armónicas impares.

\*\*Los límites mostrados en la tabla 2.11 deben ser utilizados en el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto se permite exceder los límites en un 50%.

\*\*\*En ningún caso se permiten corrientes con componentes de corriente directa.

## Código De Red

Se deberá cumplir con los siguientes criterios:

Impedancia Relativa o razón de corto circuito ( $I_{cc}/I_L$ )	Límites para componentes armónicas impares en % de $I_L$					Distorsión armónica total de demanda en % (%DATD)
	Armónicas <11	Armónicas 11 a 16	Armónicas 17 a 22	Armónicas 23 a 34	Armónicas >34	
$I_{cc}/I_L < 20$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 2.12. Límites máximos permisibles en corrientes para tensiones menores o iguales a 69 kV.

**$I_L$**  = Corriente Máxima de Carga, correspondiente al promedio de las corrientes de demanda máxima de los últimos 12 meses. Si no se dispone de este valor, se asume la corriente nominal de los transformadores de corriente del equipo de medición del suministrador.

**$I_{cc}$**  = Corriente de Corto Circuito en el punto de acometida.

**%DATD** = Porcentaje de distorsión armónica total de demanda.

\*En el caso de armónicas pares, los límites se reducen al 25% de los correspondientes a armónicas impares.

\*\*Los límites mostrados en las tablas anteriores deben ser utilizados como el caso más desfavorable de operación normal. Para arranque de hornos eléctricos de arco, que toman un tiempo máximo de un minuto, se permite exceder los límites de la tabla en 50%.

\*\*\*En ningún caso se permiten corrientes de carga con componentes de corriente directa.

Referencia: Especificación CFE L0000-45 “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica” (IEEE-519).

### **3.- Inter-armónicos**

Se conocen como inter-armónicos a las tensiones o corrientes con componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual trabaja el sistema.

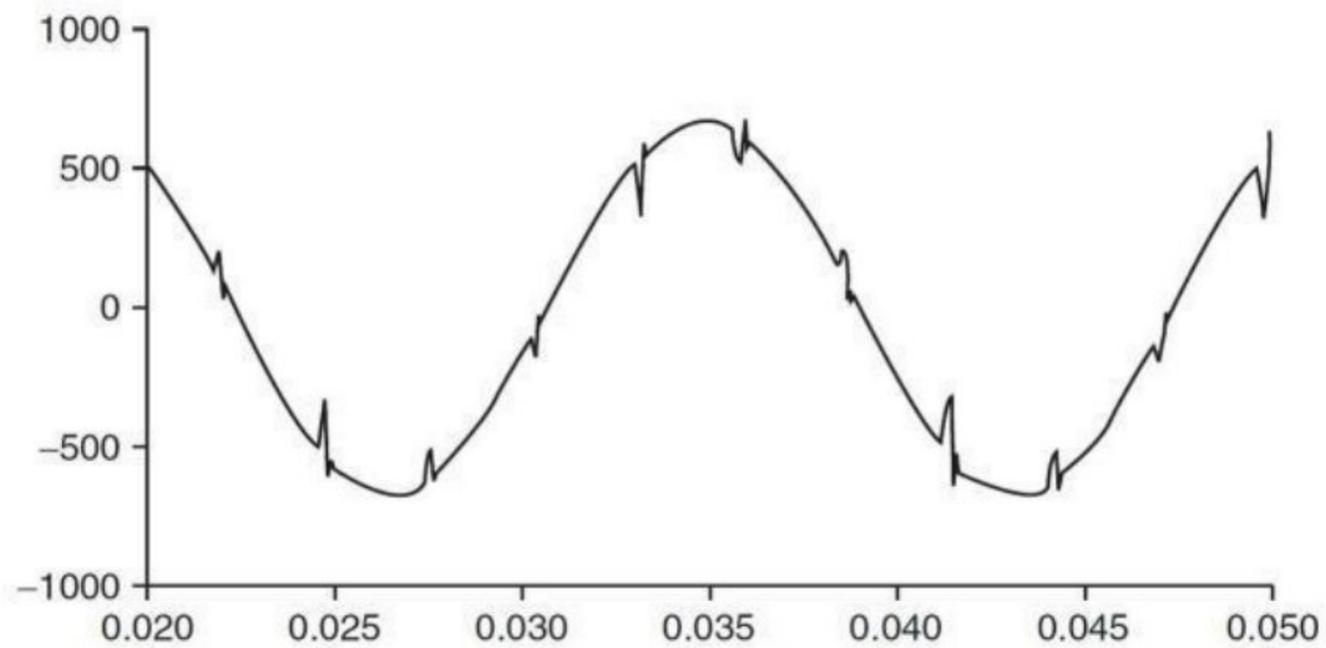
Estos provocan efectos de calentamiento, similares a los producidos por los armónicos. Debido a que los inter-armónicos son fuentes de fluctuaciones de tensión, se presentan altos riesgos de generación de flickers.

### **4.- Notching (hendidura o muesca de tensión)**

Son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra.

Generalmente son tratadas como un caso especial, ya que los componentes de frecuencia asociados a ellas pueden ser tan altos que no son fácilmente detectados por los equipos de medición normalmente utilizados para el análisis armónico.

La eliminación de las muescas de tensión implica el aislamiento, de los equipos sensibles y de la fuente que las está produciendo. La inserción de reactancias inductivas también puede servir como solución, para mitigar los efectos de las muescas.



*Figura 2.8. Muecas de tensión de un rectificador trifásico.[25]*

## **Normativa aplicable para hendiduras**

### **Especificación CFE L0000-45**

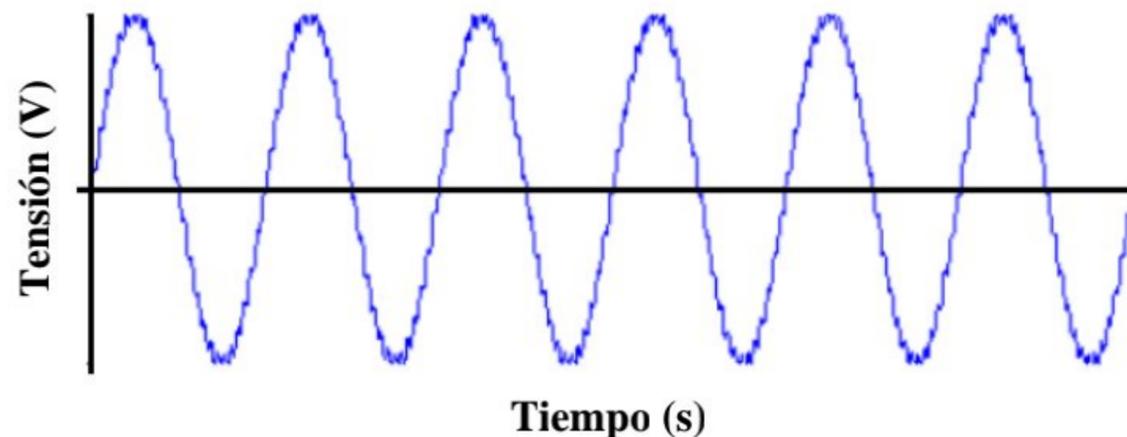
Las perturbaciones más importantes son las producidas por los pulsos de conmutación del equipo electrónico de potencia, cuya área de conmutación debe limitarse a 50 pu- $\mu$ s y referida

a un pulso y no a la totalidad de pulsos en un ciclo de 60 Hz. La profundidad máxima del pulso debe ser del 20%, referida al valor instantáneo que tendría la tensión de 60 Hz en un punto medio del pulso.

## 5.- Ruido

El ruido es definido como una señal eléctrica indeseada con contenido espectral de banda amplia menor de 200 kHz, supuestamente a la tensión o corriente de los conductores de fase, conductores de neutro o de señal.

Los ruidos en el sistema de potencia pueden ser causados por equipos electrónicos de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y maniobras del sistema. Los problemas generados por el ruido pueden ser molestos ya que interfieren los sistemas electrónicos, cuando estos cuentan con una deficiente conexión de puesta a tierra. Básicamente, el ruido es cualquier distorsión que no puede ser clasificada como distorsión armónica o transitoria. El problema puede ser corregido con filtros o transformadores de aislamiento.



*Figura 2.9. Representación de una onda con ruido. [26]*

### 2.3.3 Fluctuaciones de voltaje (Flicker)

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de la envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no exceda normalmente los rangos de la tensión especificados por la norma ANSI C84.1.

Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas (Flicker). El término se deriva del impacto de las fluctuaciones de tensión de las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como titilaciones. Se distingue el parpadeo cíclico y abrupto ya que en cada caso el ojo reacciona diferente. Las tolerancias reconocen como determinante un criterio psico-fisiológico que le da un carácter universal.

Una de las causas más comunes de las fluctuaciones de voltaje en los sistemas de transmisión y distribución son los hornos de arco. En otros sistemas más débiles las fluctuaciones se pueden deber a la presencia de equipos de soldadura por arco y cargas similares.

Cuando el voltaje sufre una variación abrupta, la intensidad de las luminarias se ven afectadas y de acuerdo con la ley de Fichner, se necesita una variación porcentual del estímulo para traspasar el umbral de la excitación que produce una nueva sensación.

Hay dos indicadores básicos que se emplean para evaluar la severidad del Flicker.

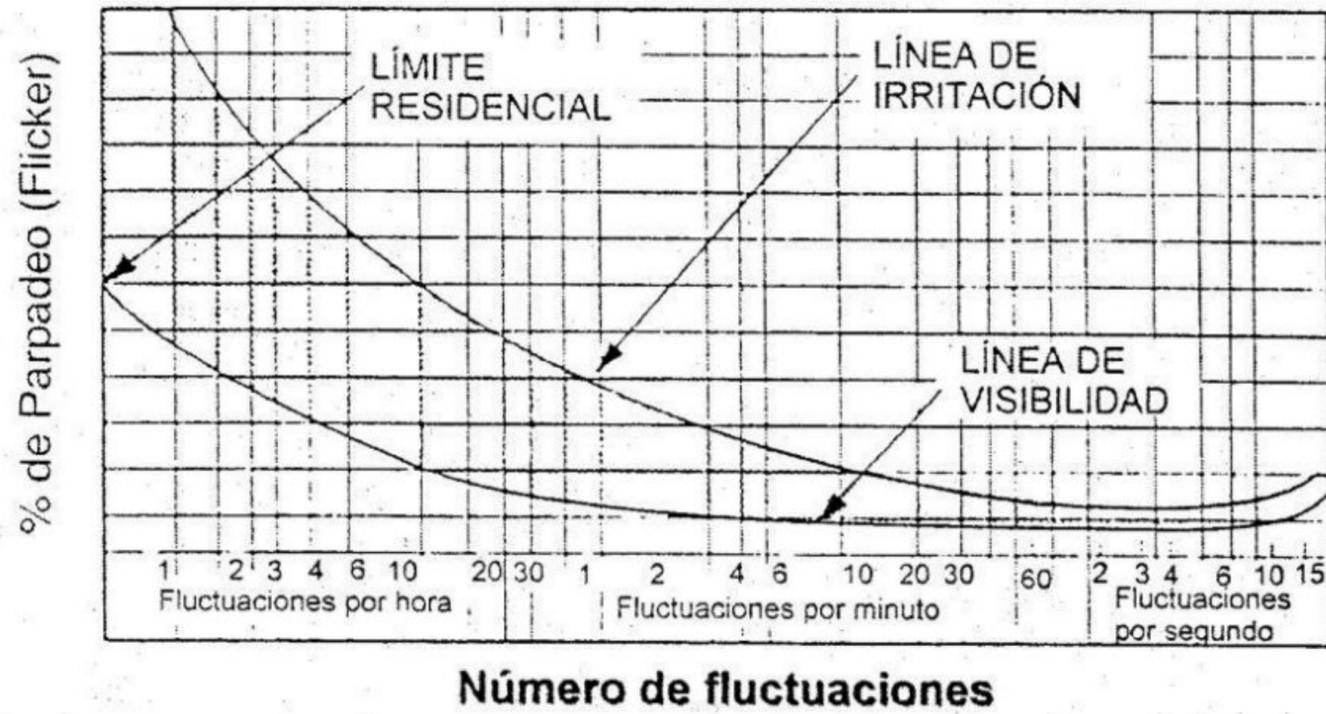


Figura 2.10. Límites de irritación y visibilidad de fluctuaciones de voltaje.[27]

\*Pst. Evalúa la severidad del Flicker a corto plazo, con intervalos de observación de 10 minutos. El valor del Pst se expresa en unidad de perceptibilidad (p.u).

\*\* Plt. Evalúa la severidad del Flicker a largo plazo, con intervalos de observación de 2 hrs.

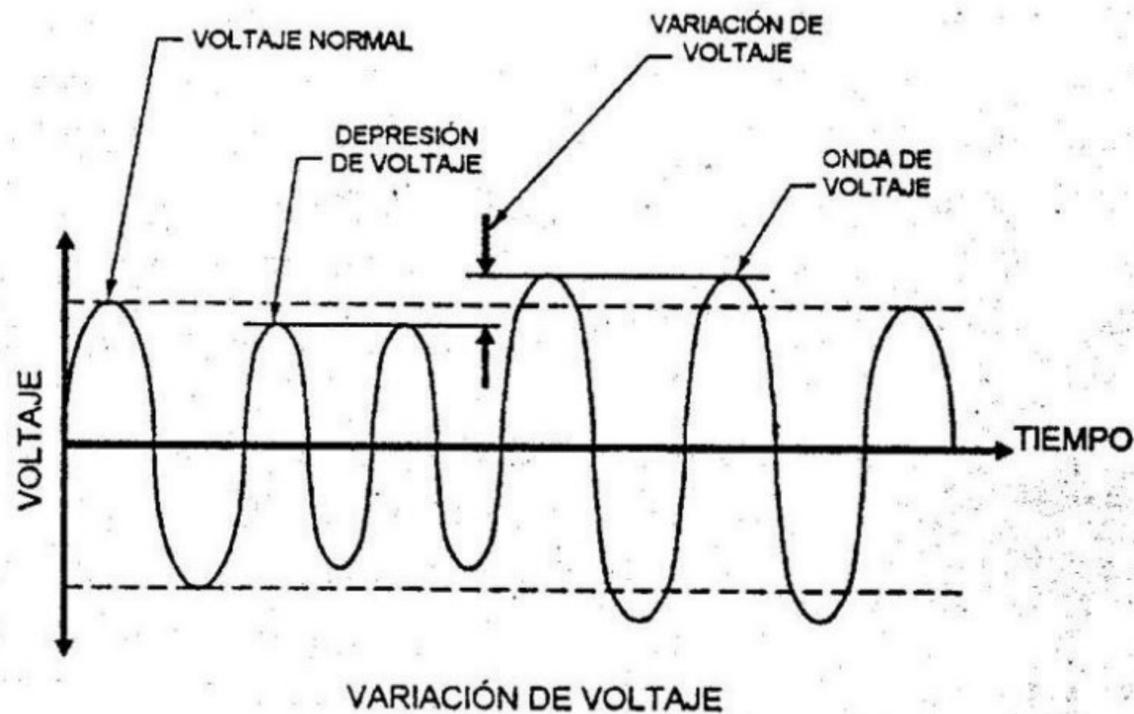


Figura 2.11. Representación de fluctuaciones de voltaje.[27]

## Normatividad aplicable para Flicker

### Especificación CFE L0000-45

El número de variaciones por minuto, en acometidas de baja, media y alta tensión en estado estacionario, debe limitarse de acuerdo con lo siguiente:

Indicador	Límite
Pst	$\leq 1$
Plt	$\leq 0,65$
dt	$\leq 3,3\%$ Durante el cambio de tensión para más de 500 ms
dc	$\leq 3,3\%$
dmax	$\leq 4\%$ Sin condiciones adicionales. $\leq 6\%$ Para equipo que es conmutado manualmente o con una frecuencia mayor a 2 veces por día y también con arranque retardado de más de 10 s, o arranque manual después de una interrupción en el suministro de energía. $\leq 7\%$ Para equipo que es conmutado hasta dos veces al día.

Tabla 2.13. Límite de variación de tensión CFE-L0000-45

### EN 501604

En condiciones normales de operación, para cada periodo de una semana, el nivel de severidad de corta duración del Flicker, Pst debido a las fluctuaciones de tensión deberían ser menor o igual a 1 durante el 95% del tiempo y el nivel de severidad de larga duración, Plt menor o igual a 0.8 durante el 100% del tiempo.

## Código de Red

Variaciones periódicas de amplitud de la tensión (fluctuación de tensión o flicker). El número de variaciones por minuto, en acometidas de Media Tensión y Alta Tensión en estado estacionario, debe limitarse de acuerdo a:

Indicador	Límite
$P_{st}$	$\leq 1$
$P_{lt}$	$\leq 0.65$
$d_t$	$\leq 3.3\%$ Durante el cambio de tensión para más de 500 ms.
$d_c$	$\leq 3.3\%$
$d_{m\acute{a}x}$	$\leq 4\%$ Sin condiciones adicionales. $\leq 6\%$ Para equipo que es conmutado manualmente o con una frecuencia mayor a 2 veces por día y también con arranque retardado de más de 10 segundos, o arranque manual después de una interrupción en el suministro de energía. $\leq 7\%$ Para equipo que es conmutado hasta dos veces al día.

*Tabla 2.14. Límites de fluctuaciones de tensión*

\*.Pst y Plt no aplica para cambios de tensión por conmutación manual que ocurre una vez cada día y los límites dt, dc y dmáx deben aplicarse con las tensiones previas multiplicadas por el factor 1.33.

\*\* Los límites no aplican a conmutaciones por interrupciones de emergencia.

Referencia: Especificación CFE L0000-45 “Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica” (IEEE-519)

\*\*Descripción de indicadores: Pst – Indicador de variación de tensión de corto plazo. Expresa la severidad de la fluctuación durante un período de 10 min, siendo

**Pst=1** el umbral de irritabilidad.

Plt – Indicador de variaciones de tensión de largo plazo. Expresa la severidad de la fluctuación durante un periodo largo de 2 horas, empleando valores sucesivos de Pst.

**dt** – Característica de cambio de tensión, . Es el cambio de tensión rcm evaluado de fase a tierra como un valor simple para cada medio periodo sucesivo entre cruces por cero de la fuente de tensión entre intervalos de tiempo en los cuales la tensión está en condiciones de estado estacionario hasta 1 segundo.

**dc** – Cambio de tensión en estado estacionario, . Es la diferencia entre dos tensiones medidas de fase a tierra y en estado estacionario separados por una característica de cambio de tensión.

**dmáx** – Característica de cambio de tensión máxima . Es la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la característica de cambio de tensión.

#### 2.3.4 Desbalance

El desequilibrio de tensiones es un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres fases no son iguales. Además, esta perturbación se presenta solo en los sistemas trifásicos, el desbalance afecta principalmente a los motores con vibración.

Puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado con la siguiente ecuación.

$$\Delta DTD(\%) = \frac{3(V_{m\acute{a}x} - V_{MIN})}{V_A + V_B + V_C} \quad (2.9)$$

Donde:

$\Delta DTD(\%)$                       Porcentaje de desbalance de tensión por parte del distribuidor.

$V_{MÁX}$	Tensión máxima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo de medición.
$V_{MIN}$	Tensión mínima de cualquiera de las fases, registrada en el intervalo de medición.
$V_A, V_B, V_C$	Tensión de las fases, registradas en el intervalo de medición.

Las fuentes más comunes de desequilibrio son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto y fallas de aislamiento en conductores no detectadas.

### **Normatividad aplicable para desbalance**

#### **Especificación CFE L0000-45**

Los límites de desbalance de tensión y corriente, tanto de secuencia negativa como de secuencia cero en estado estacionario y por un lapso de 10 minutos o más se muestran a continuación:

<b>Tensión kV</b>	<b>Desbalance %</b>
Menor de 1	3
Mayor o igual de 1	2

*Tabla 2.16. Desbalance máximo permitido en la tensión en el punto de acometida – CFE*

*L0000-45*

*Tabla 2.15. Desbalance máximo permitido en la corriente en el punto de acometida. – CFE*

*L0000-45*

## EN 50160

En BT y MT hasta el 2% durante el 95% de la semana, media de valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos, hasta el 3% en algunas zonas.

## IEC 61000-2-2 y IEEE 1159

La norma IEC 61000-2-2, al igual que la norma IEEE 1159, recomienda que el índice de desbalance en un suministro eléctrico no debe superar el 2 %.

### Código de Red

Impedancia Relativa o razón de corto circuito ( $I_{cc}/I_L$ )	Desbalance (%)		
	Menor a 1 kV	De 1 kV a 35 kV	Mayor a 35 kV
$I_{cc}/I_L < 20$	5.0	2.5	2.5
$20 \leq I_{cc}/I_L < 50$	8.0	4.0	3.0
$50 \leq I_{cc}/I_L < 100$	12.0	6.0	3.75
$100 \leq I_{cc}/I_L < 1000$	15.0	7.5	4.0
$I_{cc}/I_L \geq 1000$	20.0	10.0	5.0

Referencia: Especificación CFE L0000-45 "Desviaciones permisibles en las formas de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica" (IEEE-519)

*Tabla 2.17. Desbalance máximo permitido de corriente en el punto de acometida.*

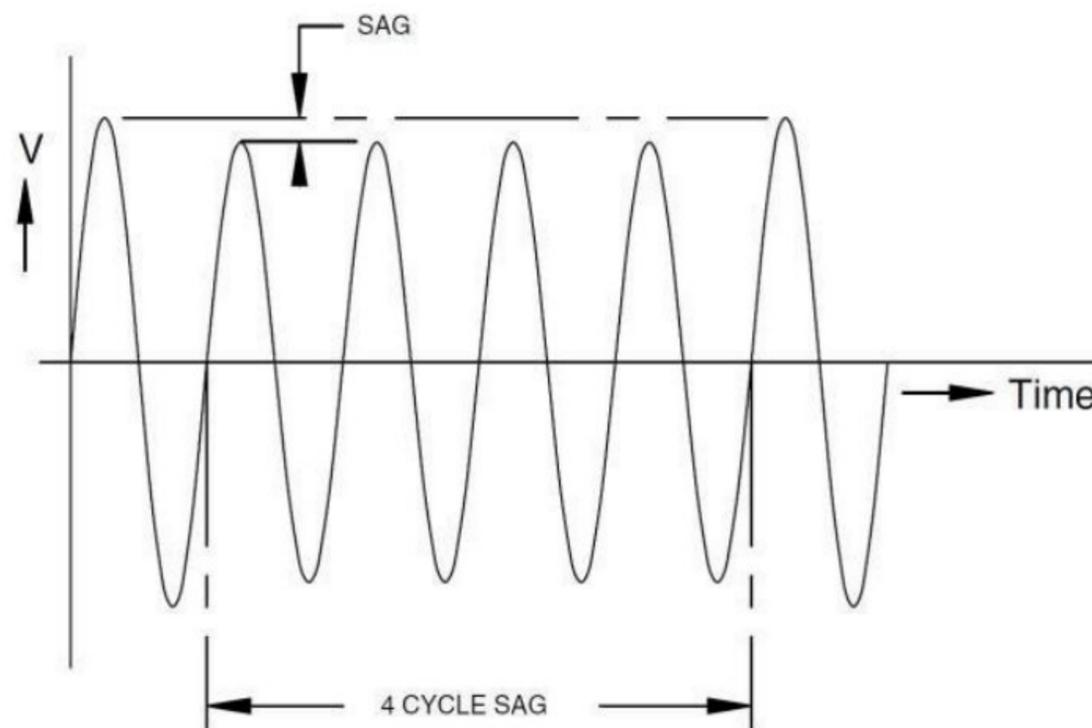
## 2.4 Perturbaciones

### 2.4.1 Variaciones de voltaje de corta duración

Las variaciones de voltaje de corta duración son causadas por condiciones de falla, la energización de grandes cargas que requieren altas corrientes de arranque o la pérdida de conexiones en el cableado del sistema eléctrico. Dependiendo del sitio de la falla y de las

condiciones del sistema eléctrico, la falla puede causar depresiones de voltaje temporal (sags), elevaciones de voltaje (swells) o una pérdida completa del voltaje (interrupciones). La condición de falla puede estar cercana o remota al punto de interés. En cualquier caso, el impacto sobre el voltaje durante la condición de falla es una variación de corta duración, hasta que los dispositivos de protección operan para liberar la falla.

### Sag's de voltaje



*Figura 2.12. Representación de sag's en la onda sinusoidal [20].*

Son conocidas como valles o huecos se definen como una disminución de la tensión eficaz de corta duración comprendida entre un valor del 90% y del 10% de la tensión nominal y con una duración comprendida entre 0.5 ciclos y 1 minuto.

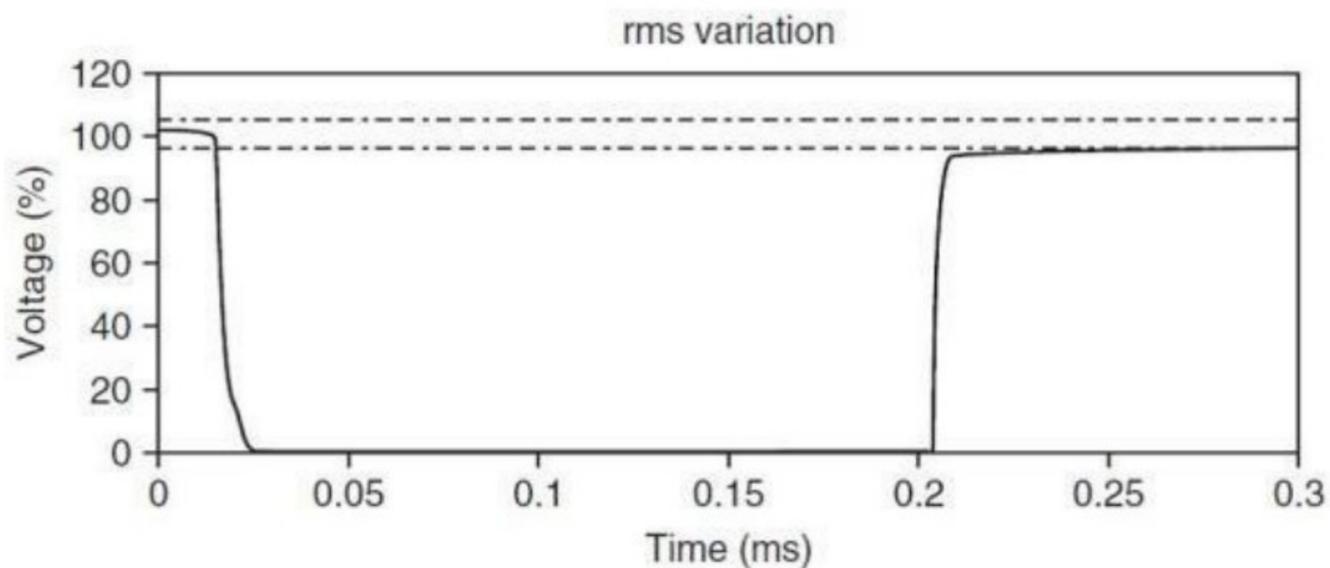


del aumento de la tensión es función de la localización del fallo, de la impedancia del sistema y del tipo de conexión a tierra.

### **Interrupciones**

Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en los sistemas de potencia, fallas en el equipo y mal funcionamiento de los controles. Las interrupciones se miden por su duración, puesto que la magnitud del voltaje es siempre menor del 10% del nominal.

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de carga disminuye a menos de 0.1 p.u. durante un periodo de tiempo que no exceda un minuto.



*Figura 2.14. Interrupción del suministro eléctrico de 0.17 segundos aproximadamente [20]*

### **Normativa aplicable**

**EN 50160 para huecos**

La mayoría: duración <1s caída <60%.

Caídas locales limitadas causadas por una carga al conectarse:

BT: 10% - 50%, MT: 10% - 50%

Variaciones rápidas de voltaje: se consideran eventos de preocupación para voltaje RMS  $\leq 1\text{kV}$  las variaciones de  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$ .

Los sag's de voltaje: es una condición en que el voltaje se reduce de 90% a 1% de su valor nominal. Los eventos entre 90% y 60% del voltaje nominal son considerados de preocupación. Los eventos entre 60% y 1% del voltaje nominal son considerados severos. Hasta 1000 eventos al año se considera una condición normal.

### **EN 6100-6-1, 6-2**

Sag's de voltaje de hasta 30% durante 10 ms.

Sag's de voltaje de hasta 60% durante 100 ms.

Sag's de voltaje de hasta 60 durante 1000 ms.

## 2.4.2 Transitorios de voltaje

Los transitorios de voltaje son variaciones rápidas asociadas con las maniobras de interruptores, fallas o sobrevoltajes inducidos debido a las descargas eléctricas atmosféricas.

Los transitorios de voltaje a diferencia de las variaciones lentas y rápidas de voltaje, no conservan la frecuencia fundamental, son señales de alta frecuencia, generalmente presentan sobrevoltajes de valores considerables que ponen a prueba la rigidez dieléctrica de los aislamientos de los equipos e instalaciones eléctricas.

Los transitorios se pueden clasificar dentro de dos categorías:

- 1.- Impulsivos
- 2.- Oscilatorios

### 1.- Transitorios Impulsivos

Un transitorio impulsivo es un cambio súbito a diferente frecuencia de la fundamental, en estado estacionario, de voltaje o corriente y es unidireccional en polaridad (principalmente

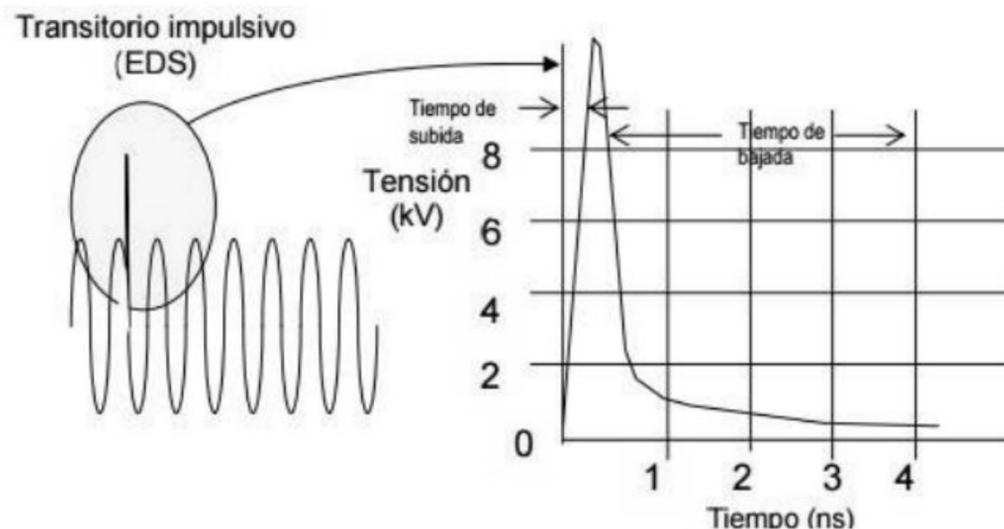
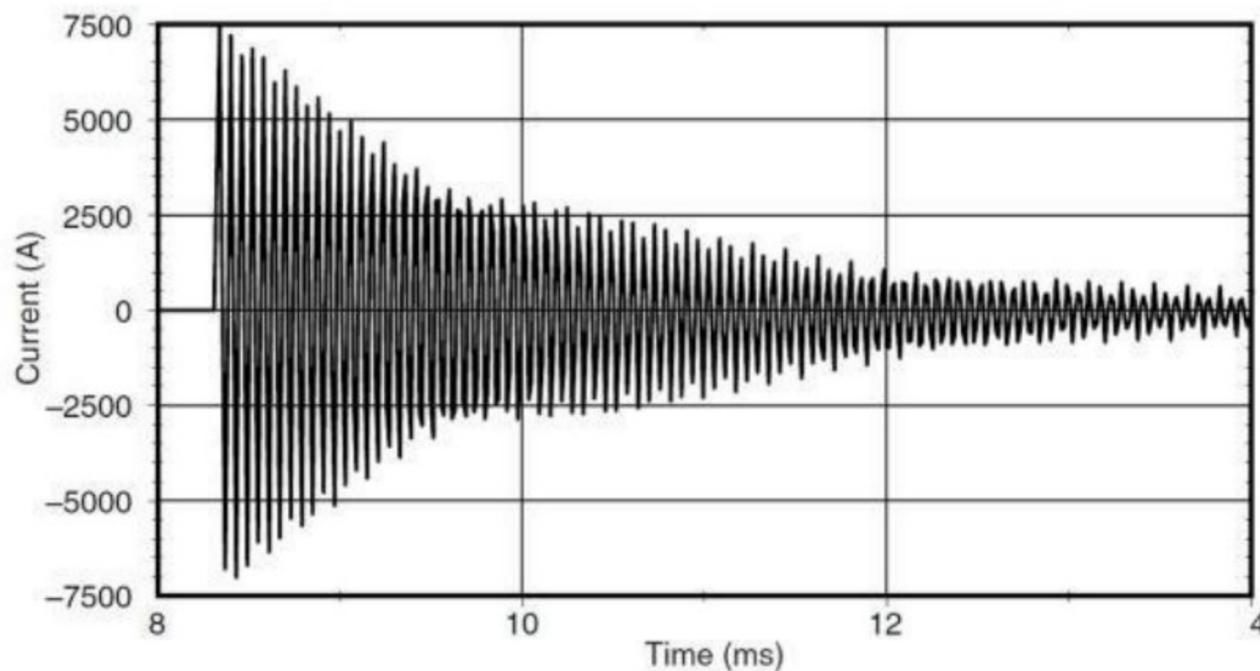


Figura 2.15. Transitorio por descarga atmosférica.[28]

positivo o negativo). Se caracterizan por sus tiempos de elevación y caída, debido a que alcanzan altos valores de voltaje en periodos de tiempo muy cortos, pero su caída es más lenta y suave. La causa más común de este tipo de transitorios son las descargas atmosféricas.

## 2.- Transitorio Oscilante

Un transitorio oscilatorio es un cambio repentino en la condición de estado estable de la tensión o la corriente de una señal, o de ambas, tanto en los límites positivo como negativo de la señal, que oscila a la frecuencia natural del sistema. En términos simples, el transitorio hace que la señal de suministro produzca un aumento de tensión y luego una bajada de tensión en forma alternada y muy rápida. Los transitorios oscilatorios suelen bajar a cero dentro de un ciclo (oscilación descendente).



*Figura 2.16. Corriente transitoria oscilante causada por la maniobra de banco de capacitores.[20]*

Estos transitorios ocurren cuando uno conmuta una carga inductiva o capacitiva, como un motor o un banco de capacitores. El resultado es un transitorio oscilatorio porque la carga resiste el cambio.

### **Normatividad aplicable de transitorios**

#### **Estándar IEEE C62.41.2-2002**

Se trata de un estándar sobre las prácticas para la caracterización de transitorios de voltaje en circuitos de potencia.

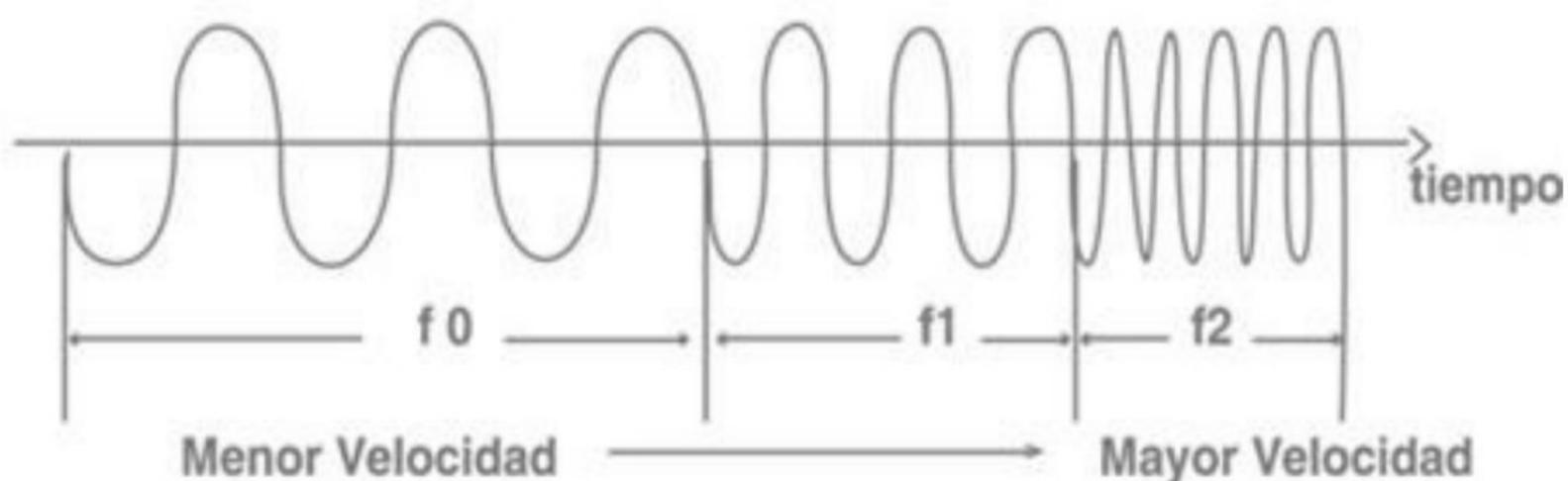
#### **Estándar IEEE 1159**

Marca como parámetros solo su clasificación. Se puede consultar en el capítulo de esta sección 2.2.1 clasificación de fenómenos electromagnéticos.

### **2.4.3 Variaciones de la frecuencia**

Se dice que existen variaciones de frecuencia en un sistema eléctrico de corriente alterna cuando se produce una alteración del equilibrio entre carga y generación. La frecuencia, en un sistema eléctrico de corriente alterna, está directamente relacionada con la velocidad de giro, es decir, con el número de revoluciones por minuto de los alternadores. Dado que la

frecuencia es común a toda la red, todos los generadores conectados a ella girarán de manera síncrona, a la misma velocidad angular eléctrica.



*Figura 2.17. Representación de variación de frecuencia a través del tiempo. [29]*

### **Normatividad aplicable para frecuencia**

#### **NOM-001-SEDE-2012**

La sección 4.2.2.3 sobre valores y tolerancias establece que la frecuencia eléctrica en México debe de ser de 60 Hz con una tolerancia de  $\pm 0.8\%$ .

#### **EN 50160**

BT, MT: Valor medio fundamental medida a lo largo de 10 segundos.

$\pm 1\%$  (59.4 – 60.6 Hz) durante el 95% de la semana.

-6% /+4% (56.4 - 62.4 Hz) durante el 100% de la semana.

## Código de Red

Establece los siguientes parámetros: Los Centros de Carga deberán ser capaces de soportar variaciones de frecuencia y permanecer conectados, de acuerdo con lo establecido:

Tiempo	Frecuencia máxima [Hz]	Frecuencia mínima [Hz]
Permanente	61.0	59.0
30 minutos	62.5	58.0

*Tabla 2.18. Valores de frecuencia máxima y mínima.*

## 2.5 Factor de potencia

Para definir la relación de potencias en un sistema eléctrico se utiliza ampliamente la relación de ecuación:

$$S = P + jQ \quad (2.10)$$

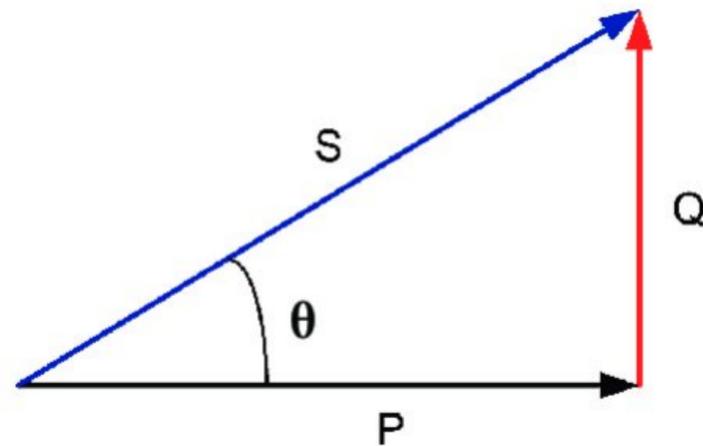
Donde:

S: Potencia aparente

P: Potencia activa

Q: Potencia reactiva

Su representación fasorial es un triángulo de potencias y muestra una relación con los ejes, donde P pertenece a eje real y Q al imaginario; ambos son parte fundamental para el cálculo de factor de potencia, su representación es la siguiente:



*Figura 2.18. Representación de triángulo de potencias.*

El factor de potencia es uno de los principales indicadores del rendimiento o nivel de eficiencia de nuestra instalación. Muestra la relación entre la potencia activa, o que produce un trabajo útil, respecto a la potencia total demandada a la red eléctrica.

Se define el factor de potencia como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente:

$$FP = \frac{P}{|S|} \quad (2.11)$$

### **Factor de potencia sin presencia de armónicos**

En las cargas lineales, ambos valores coinciden. Cuando no hay presencia de armónicos, es decir, la forma de onda de la tensión y corriente son totalmente senoidales, y no deformadas,

entonces decimos que el factor de potencia es igual al coseno de Theta o factor de potencia de desplazamiento.

$$FP_{desplazamiento} = \cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (2.12)$$

Cuando estas condiciones se cumplen se puede decir que la tensión y la corriente están en fase, pero esto solo es un ideal de las cargas.

### **Factor de potencia con presencia de armónicos**

La forma de onda de la tensión y/o la corriente dejan de ser senoidales, y por tanto existe una presencia de armónicos eléctricos relevante, aparece una nueva demanda de potencia debida a los armónicos, la cual denominaremos potencia reactiva distorsionante (D).

Esa potencia reactiva distorsionante no genera un trabajo útil, pero sí que es demandada a la red, con lo que hace aumentar la potencia aparente y baja más el factor de potencia.

Para entender mejor veamos la figura 2.19 donde la corriente y la tensión están en fase lo cual sería lo ideal, pero como la corriente no es la fundamental y de igual frecuencia que la tensión sino de 5ta armónica, se generan picos negativos de potencia indicando retorno a la red y pérdidas.

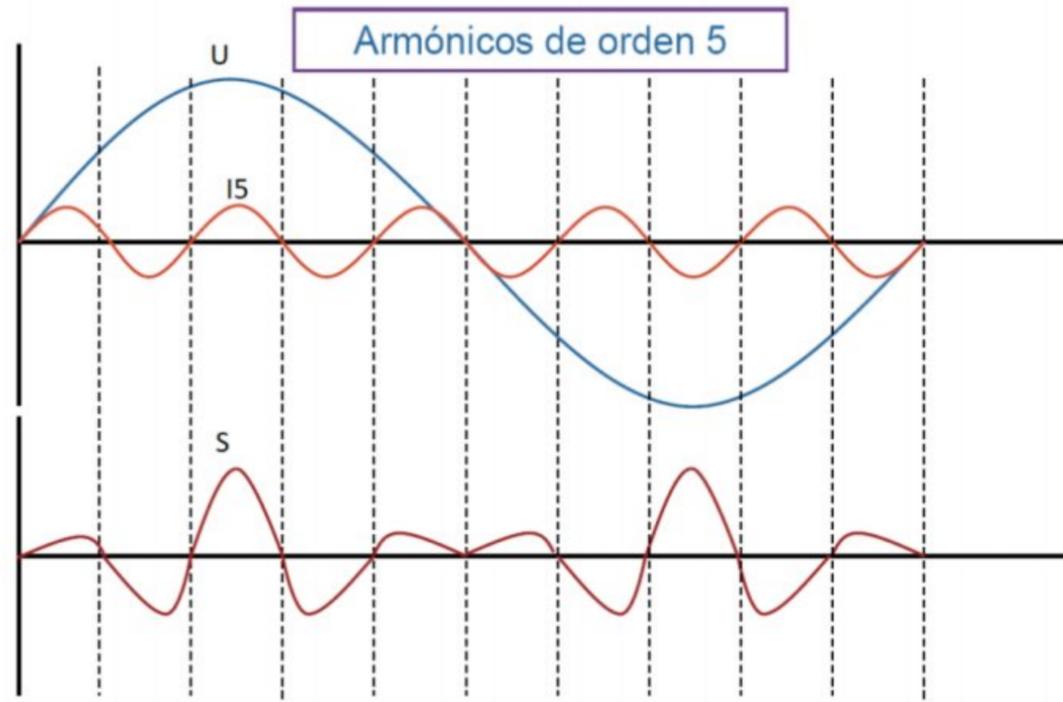


Figura 2.19. Voltaje con corriente armónica de 5 orden.[30]

Cuando tenemos presencia de armónicos en la corriente debemos de dejar a un lado el triángulo de potencia y pensar en la pirámide de potencias, donde ya no se habla de dos dimensiones sino de tres.

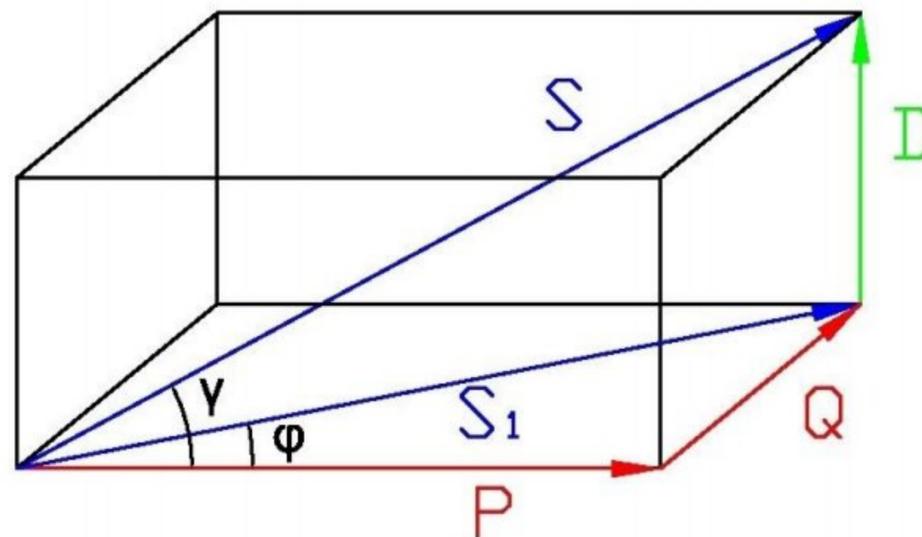


Figura 2.20. Pirámide de potencias.

Donde las ecuaciones se modifican quedando de la siguiente manera:

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (2.13)$$

Donde potencia reactiva distorsionante (D) equivale:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (2.14)$$

Un detalle que no debemos pasar por alto. Cuando tenemos armónicos la potencia aparente será mayor que cuando no hay (en la figura 2.18.  $S > S_1$ ). Eso comportará que el factor de potencia cuando hay armónicos será igual o inferior al coseno de Theta.

El factor de potencia distorsionante se calcula con la expresión:

$$FP_{distorsionante} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{TDHI}{100}\right)^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{TDHU}{100}\right)^2}} \quad (2.15)$$

Se suele despreciar la parte de distorsión en tensión al ser normalmente niveles bajos y que tienen poca incidencia en el cálculo del factor de potencia distorsionante.

Para obtener el factor de potencia total, simplemente debemos multiplicar el coseno de Theta o factor de potencia con el factor de potencia distorsionante:

$$FP_{Total} = FP_{Desplazamiento} \cdot FP_{Distorsionante} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{TDHI}{100}\right)^2}} \quad (2.16)$$

## **Normatividad aplicable para factor de potencia**

### **Código de Red**

Para disposición de calidad el factor de FP debe ser mayor o igual al 0.95.

## **2.6 Termografía infrarroja de la instalación eléctrica**

La termografía es una manera de detectar el fallo de un sistema a través de su temperatura superficial, a distancia y sin ningún contacto y principalmente su uso es en mantenimiento de equipos eléctricos.

Las cámaras infrarrojas utilizan detectores que miden la radiación emitida por un objeto y a través de procesamiento electrónico generan una imagen que representa y visualiza el patrón térmico de la superficie del objeto de estudio, permitiendo medir el calor producido por objetos y determinar la temperatura a distancia.

Con la implementación de un programa de inspección termográfica es posible minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias.

Se debe revisar con la cámara de infrarrojo los cuadros eléctricos sin cubiertas con al menos un 40% de carga máxima.

Malos contactos, una conexión suelta o corroída hace que la resistencia de la corriente sea mayor, ya que aumenta la temperatura debido al efecto Joule que puede provocar, si no se soluciona a tiempo, un corto circuito.

### **Normatividad aplicable para temperatura**

#### **NETA**

Considera que deben tomarse medidas correctivas cuando la diferencia de temperatura entre componentes eléctricos bajo cargas similares supere los 15 °C o cuando la diferencia entre las temperaturas de un elemento eléctrico y del aire del entorno supere los 40 °C.

### **3. CAPÍTULO: CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA Y ANALIZADOR DE REDES MARCA DRANETZ**

Se plantea la descripción del sistema de conexión en el Hospital del Niño y el Adolescente Morelense, desde su instalación y sus cargas, abordando su instalación en general.

#### **3.1 Descripción de la instalación eléctrica**

La instalación del hospital comienza desde la acometida que proviene de la red de distribución y termina en uno de los muchos equipos conectados en las instalaciones. La instalación está conformada por los siguientes tramos y dispositivos.

- Línea de enlace o de alimentación.
- Acometida
- Medidor de energía
- Caja general de protección (interruptor general de maniobra, fusibles de seguridad).
- Toma de corriente.
- Dispositivos generales de protección y de mando (interruptores de seguridad, tableros de distribución e interruptores termomagnéticos).
- Circuitos o líneas que alimentan los equipos eléctricos (cajas, canalizaciones, registros, conductores, apagadores, tomacorrientes monofásicos y trifásicos).

### **3.2 Tensión de servicio**

La energía eléctrica se toma de la red de distribución de media tensión con un voltaje de 23kV trifásicos, pasando por un transformador de 23kV /0.48-0.227 kV entre fases y neutro respectivamente, a través de un sistema de 3 F – 4 H.

### **3.3 Cargas conectadas**

Ya que al ser un hospital y sobre todo que atiende a niños los equipos son variados así que a continuación se nombraran algunos de los más importantes, aclarando que no son todos los que hay en el hospital.

- Monitor de signos vitales.
- Máquina de electrocardiograma.
- Desfibrilador.
- Ultrasonido de diagnóstico.
- Respiradores artificiales.
- Máquinas de anestesia.
- Motores para bombeo de agua.
- Tomógrafos.
- Máquina de rayos X.
- Luminarias.

- Etc.

### 3.4 Corriente de corto circuito

Teniendo las características del transformador: 23kV devanado primario y 480 / 227 devanados secundarios, con una impedancia  $Z=5.75\%$  y una potencia aparente de 1500 kVA.

Tenemos lo siguiente:

$$I_{cc1\phi} = \frac{kVA \cdot 1000}{V \cdot Z/100} \quad (3.1)$$

$$I_{cc3\phi} = \frac{kVA \cdot 1000}{V \cdot \sqrt{3} \cdot Z/100} \quad (3.2)$$

Para un voltaje de 23kV su nivel de corto circuito queda como:

$$I_{cc1\phi} = 1.13 \text{ kA} \quad (3.3)$$

$$I_{cc3\phi} = 654.84 \text{ A} \quad (3.4)$$

Para un voltaje de 480 su nivel de corto circuito queda como:

$$I_{cc1\phi} = 54.38 \text{ kA} \quad (3.5)$$

$$I_{cc3\phi} = 31.38 \text{ kA} \quad (3.6)$$

### 3.5 Corriente de carga

Basados en las mediciones realizadas por el analizador se determinó que las corrientes de carga monofásica promedio de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC durante el periodo de monitoreo.

$$I_{L1\phi-A} = 273.7 \text{ A} \quad (3.7)$$

$$I_{L1\phi-B} = 259.5 \text{ A} \quad (3.8)$$

$$I_{L1\phi-C} = 298.8 \text{ A} \quad (3.9)$$

Estos índices se utilizan para la evaluación de armónicos individuales de corriente por fase. Si se considera la corriente trifásica de carga como la suma de las tres corrientes máximas promedio presentadas en (3.7, 3.8 y 3.9) entonces:

$$I_{L3\phi} = 832 \text{ A} \quad (3.10)$$

### 3.6 Impedancia relativa

En la fase A, la relación entre el (3.5) y (3.7) está dada por la fórmula:

$$\frac{I_{cc1\phi}}{I_{L1\phi-A}} = 198.7 \quad (3.11)$$

En la fase 2, la relación entre (3.5) y (3.8) está dada por la fórmula:

$$\frac{I_{cc1\phi}}{I_{L1\phi-B}} = 209.6 \quad (3.12)$$

En la fase 3, la relación entre (3.5) y (3.9) está dada por la fórmula:

$$\frac{I_{cc1\phi}}{I_{L1\phi-C}} = 181.9 \quad (3.13)$$

Los valores de estos índices se utilizarán para la evaluación de armónicos individuales de corriente.

Para las tres fases, la relación entre (3.6) y (3.10) está dada por la fórmula:

$$\frac{I_{cc3\phi}}{I_{L3\phi}} = 37.7 \quad (3.14)$$

El valor de (3.14) se utilizará para la evaluación de desbalance de corriente.

### 3.7 Diagrama unifilar

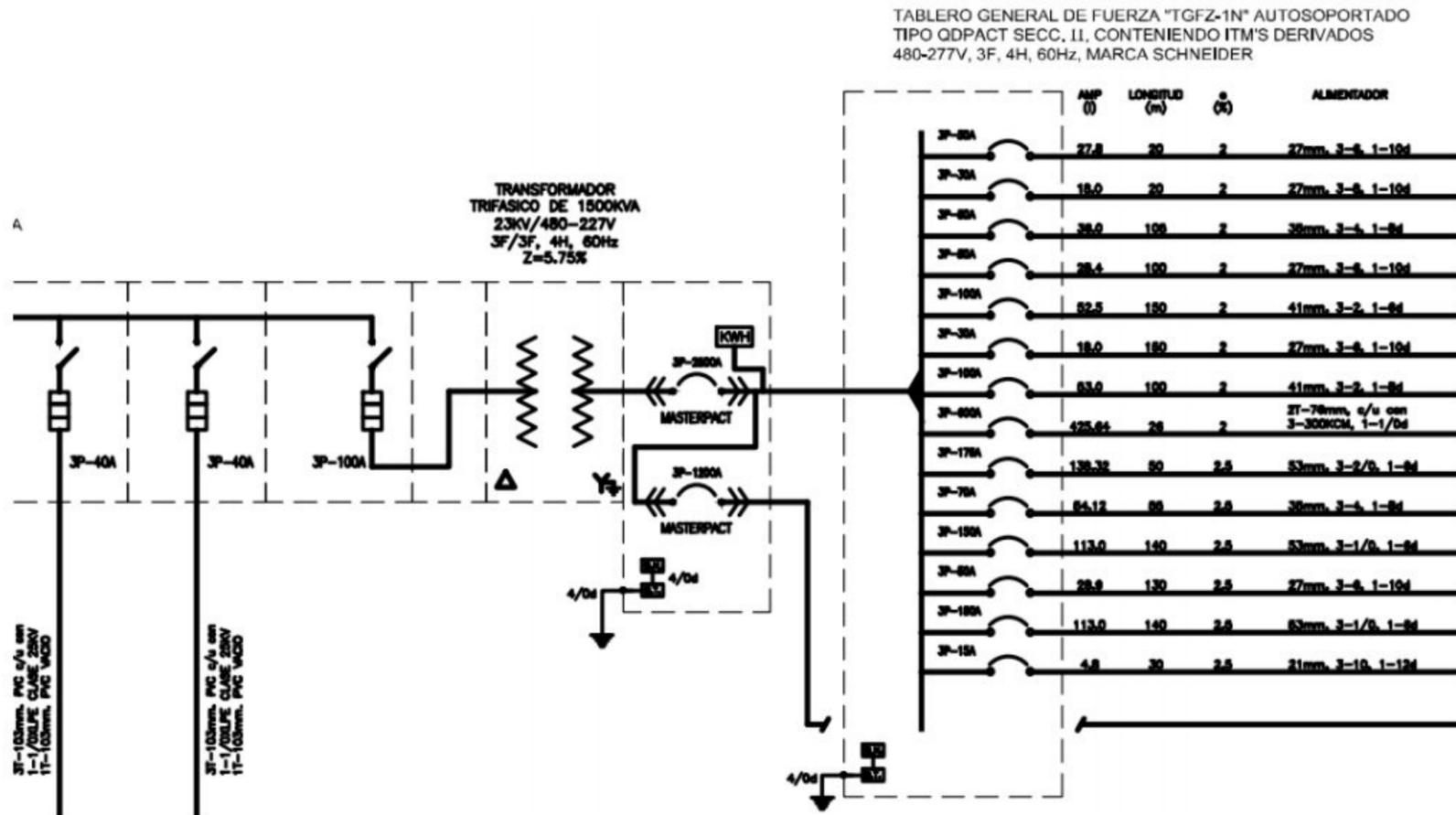


Figura 3.1. Diagrama Unifilar de fuerzas

El estudio realizado se hizo, a partir del devanado secundario del transformador, siendo un estudio parcial del mismo, ya que como se observa, hay dos salidas de 23kV que van a otros dos transformadores de tipo seco de 750 kVA.

### 3.8 Descripción de un analizador de redes

Un analizador de redes es un instrumento capaz de analizar las propiedades de las redes eléctricas. Están diseñados para ser instalados de forma sencilla en cualquier instalación y para su uso sea totalmente adaptable a cualquier tipo de medida requerida. Disponen de una

memoria interna y externa donde se almacenan los datos que se programan para la medición de la red.

Un mismo analizador puede contener varios softwares, cuyas aplicaciones están destinadas a distintos tipos de análisis.

Existen una gran variedad de analizadores los cuales reportan o muestran los parámetros eléctricos, directa o indirectamente mediante su display y trasmite por comunicación todas las magnitudes eléctricas medidas o calculadas.

Algunos analizadores son expandibles o modulares, pudiendo dotarlos de funciones adicionales asociados a cualquier parámetro eléctrico medido o calculado.

### **3.8.1 Ventajas de un analizador de redes**

1. Ahorro
  - a. Detección y prevención de exceso de consumo.
  - b. Análisis de curvas de cargas para determinar donde se produce la máxima demanda de energía.
  - c. Detección de necesidades como la instalación de un banco de capacitores.
  - d. Detección de fraude en los contadores de energía.
2. Prevención

- a. Su uso es ideal para realizar mantenimiento periódico del estado de la red eléctrica, tanto en baja como en media tensión, se pueden visualizar las curvas de arranque de motores, detectar posibles saturaciones del transformador de potencia, cortes de alimentación, deficiente calidad del suministro eléctrico, etc.

### 3. Solución

- a. Permite analizar en qué parte de la red eléctrica tiene un problema, permite solucionar problemas de disparos intempestivos, fugas diferenciales, calentamiento de cables, resonancias, armónicos, perturbaciones, Flicker, desequilibrio de fases, etc. También permite diseñar los tamaños adecuados para los filtros activos y pasivos de armónicos y filtros para variadores de velocidad, etc.

#### 3.8.2 Características y aplicación del analizador de redes Dranetz

- Mediciones de RMS verdadero mono-, di- y trifásicas a 256 muestras/ciclo.
- Forma de onda en color en tiempo real.
- Ajustes de pantalla, fáciles de usar.
- Captura transitorios de hasta 1/256 de ciclo.
- Presentación de diagramas fasoriales.
- Voltaje y corriente pico.
- Frecuencia nominal de (50, 60 Hz)

- Medición y registro de la calidad de los sistemas de potencia (VA, VAR y W) por fases y totales.
- Medición de energía (kVAh, VARh y kWh) por fase y totales.
- Presenta y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia (distorsión armónica total e individual).
- Análisis ciclo por ciclo; 256 muestras / ciclo; 1/2 pasos RMS
- LL, LN, NG Variaciones RMS: sags / swells / interrupciones
- Grabaciones RMS y grabaciones de forma de onda (30 ciclos previos a la falta, 100 ciclos posteriores a la falta)
- Transitorios de frecuencia baja y media
- parámetros de resumen de armónicos V&I Disparo cruzado Canales V&I
- RMS caracterización de eventos (IEEE o IEC)



*Figura 3.2. Analizador Dranetz DBPVFLEX6K*

### **3.8.3 Modo transitorio**

Los transitorios se muestran con formas de onda y se tiene una memoria para almacenar hasta 50 eventos transitorios, que incluyen la forma previa del transitorio de la onda, el evento transitorio en cuestión y la forma de la onda cuando este ha ocurrido.

Los eventos transitorios se detectan al comparar 256 muestras del ciclo actual con sus contrapartes del ciclo anterior para cada canal activo de entrada. Para que sea capturado y almacenado debe tener una variación porcentual definida por el usuario respecto al ciclo anterior, sea 1%, 2%, 5%, 10%, 20%, 50% o 100%.

### **3.8.4 Parámetros del analizador de redes Dranetz**

La tabla 3.1 nos muestra los parámetros que el analizador es capaz de analizar, a partir de las lecturas realizadas.

<b>Medición</b>	<b>Descripción</b>
Vrms	Voltaje de fase RMS
Urms	Voltaje de líneas RMS
Arms	Corriente RMS por fase
VPST	Flicker de voltaje de corta duración
Vflk	Flicker de voltaje
Vcf	Factor de cresta del voltaje de fase
Ucf	Factor de cresta del voltaje de línea
Acf	Factor de cresta de corriente
Vunb	Desbalance de voltaje
Aunb	Desbalance de corriente
Hz	Frecuencia
Akf	Factor K de la corriente
Vthd	Distorsión armónica total del voltaje de fase
Uthd	Distorsión armónica total del voltaje de línea
Athd	Distorsión armónica total de la corriente
W	Potencia real
VA	Potencia aparente
VAR	Potencia reactiva
DC	Cantidad de voltaje y corriente continua presente
3U	Muestra los 3 voltajes de línea
3V	Muestra los 3 voltajes de fase
3A	Muestra las 3 corrientes en las fases
4A	Muestra las 3 corrientes en las fases y la corriente en el neutro
L1	Muestra el voltaje y la corriente en la fase 1
L2	Muestra el voltaje y la corriente en la fase 2
L3	Muestra el voltaje y la corriente en la fase 3
PF	Factor de potencia
DPF	Factor de potencia con distorsión armónica
KF	Factor K
Vh	Armónicos de voltaje
Ah	Armónicos de corriente
DF	Factor de distorsión
Wh	Energía activa
VARh	Energía reactiva
Vah	Energía aparente

*Tabla 3.1. Parámetros de medición y monitoreo del analizador Dranetz*

## **4. CAPÍTULO. ANÁLISIS DE MEDICIONES DE LA RED ELÉCTRICA DEL HOSPITAL DEL NIÑO Y EL ADOLESCENTE MORELENSE**

La duración de monitoreo se realizó según la norma CFE L0000-45 donde marca como periodo mínimo una semana, de la fecha 31 de enero del 2020 a las 10:34 configurado al 07 de febrero del 2020 a las 8:35 hora de finalización. Para más descripción consultar sección 3.1 del capítulo 3.

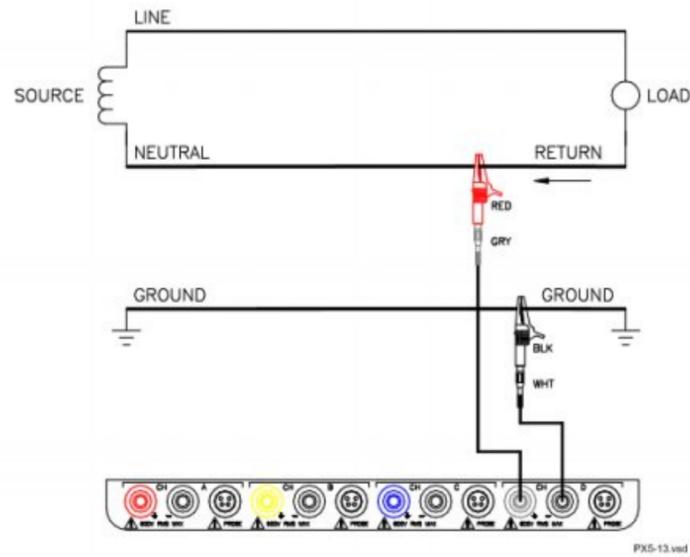
### **4.1 Instalación del equipo**

La instalación del equipo se hizo en devanado secundario del transformador del Hospital del Niño y el Adolescente Morelense, se conectó un sensor de pinza para la tensión por cada fase, un sensor tipo gancho para la corriente por cada fase.



*Figura 4.1. Conexión de sensores para tensión y corriente.*

En la conexión de los sensores se debe de poner a neutro cada uno de los sensores, como se muestra a continuación.



*Figura 4.3. Conexión correcta del neutro*



*Figura 4.2. Analizador de redes Dranetz conectado a los sensores de voltaje y corriente.*

## 4.2 Configuración del instrumento

1. Una vez encendido el analizador, se debe de configurar para realizar las mediciones necesarias, primero se configura la hora y la fecha, que es muy importante para el análisis posterior.
2. Se procede a configurar el método de cálculo de parámetros.
3. Se selecciona el tipo de conexión. Para este caso se seleccionó la configuración de 3 Fases y 4 Hilos.

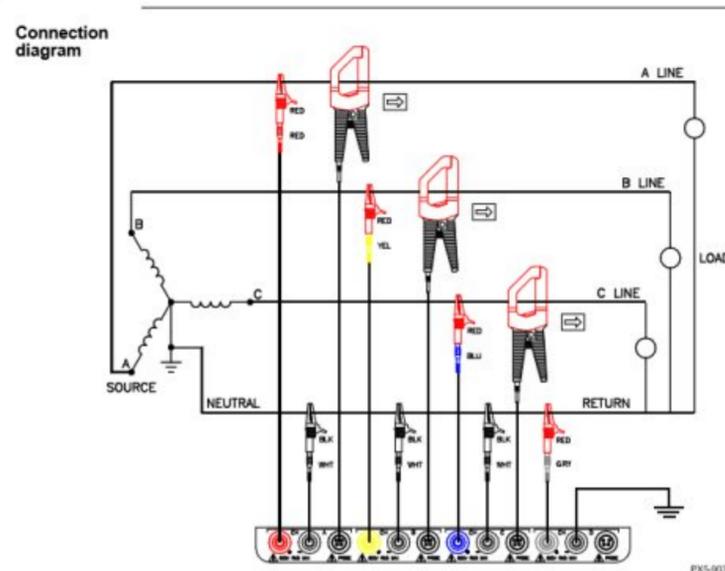


Figura 4.4. Tipo de conexión seleccionada.

4. Se selecciona el tipo de sensor de corriente que se utilizará. Para la medición se ocupó el sensor de corriente TR2500A tipo gancho.



Figura 4.5. Sensor de corriente TR2500A

5. Para la obtención de datos basta con dejar las configuraciones por defecto, las cuales incluyen los parámetros de medición siguiente:

Standard Tab	Parameter Name	Label
Basic (for A, B, C, D)	Volts NOTE: Some voltage channel meter values are derived based on the circuit type selection. The values will change depending on the wiring configuration setup.	Volts
	Ampere	Amps
Computed Basic	Vector Displacement Power Factor	Vector Displacement PF
	Arithmetic Displacement Power Factor	Arithmetic Displacement PF
	Residual Current	Residual Current
	Net Current	Net Current
Power (for A, B, C, D, Total)	Watts	W
	Volts Ampere	VA
	Volts Ampere Reactive	VAR
	True Power Factor	TPF
	Displacement Power Factor	DPF

Tabla 4.2. Parámetros de medición del analizador de redes por defecto A.

Standard Tab	Parameter Name	Label
Demand	Active Power Demand	Active Power Demand
	Apparent Power Demand	Apparent Power Demand
	Reactive Power Demand	Reactive Power Demand
	RMS Current Demand Phase A	RMS Current Demand Ph A
	RMS Current Demand Phase B	RMS Current Demand Ph B
	RMS Current Demand Phase C	RMS Current Demand Ph C
	RMS Current Demand Average	RMS Current Demand Avg
Energy (for A, B, C, D, Total)	Watt Hours	Watt Hrs
	Volts Ampere Hours	VA Hrs
	Volts Ampere Reactive Hours	VAR Hrs
Harmonics (for A, B, C, D)	Voltage Total Harmonic Distortion	V THD
	Current Total Harmonic Distortion	I THD
	RMS Harmonic Current	RMS I Harm
	Harmonic Power Unsigned	Harm Pwr Unsigned
Flicker (for A, B, C)	Short Term Flicker	Pst
	Long Term Flicker (Sliding)	Plt (Slide)
	Long Term Flicker	Plt

Tabla 4.1. Parámetros de medición del analizador de redes por defecto B.

### 4.3 Reporte de datos obtenidos

A continuación, se presentan los datos obtenidos del análisis con ayuda de Dran – View.

#### 4.3.1 Prueba de frecuencia rangos de $[\pm 1\%]$

Norma aplicable EN 50160

Cada muestra de frecuencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de frecuencia permitido es de  $[-1\%, 1\%]$ .

Descripción	Valor requerido	Resultado
Frecuencia promedio (Hz)	60	60.01
Mínimo permitido (Hz)	59.4	59.94
Máximo permitido (Hz)	60.6	60.12
Número de muestras		1995
Resultado		Satisfactorio

#### 4.3.2 Prueba de frecuencia rangos de $[-6\%, +4\%]$

Norma aplicable EN 50160

Cada muestra de frecuencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de frecuencia permitido es de [-6%, 4%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Frecuencia promedio (Hz)	60	60.01
Mínimo permitido (Hz)	56.4	59.94
Máximo permitido (Hz)	62.4	60.12
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

#### 4.3.3 Prueba de frecuencia rangos de [ $\pm 0.08\%$ ]

Norma aplicable NOM-001-SEDE-2012

Cada muestra de frecuencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de frecuencia permitido es de [-0.8%, 0.8%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Frecuencia promedio (Hz)	60	60.01
Mínimo permitido (Hz)	59.52	59.94
Máximo permitido (Hz)	60.48	60.12
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

#### 4.3.4 Prueba de frecuencia rango de [59 – 61 Hz]

Norma aplicable Código de red

Cada muestra de frecuencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de frecuencia permitido es de [59.0 Hz, 61.0 Hz].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Frecuencia promedio (Hz)	60	60.01
Mínimo permitido (Hz)	59	59.94
Máximo permitido (Hz)	61	60.12
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

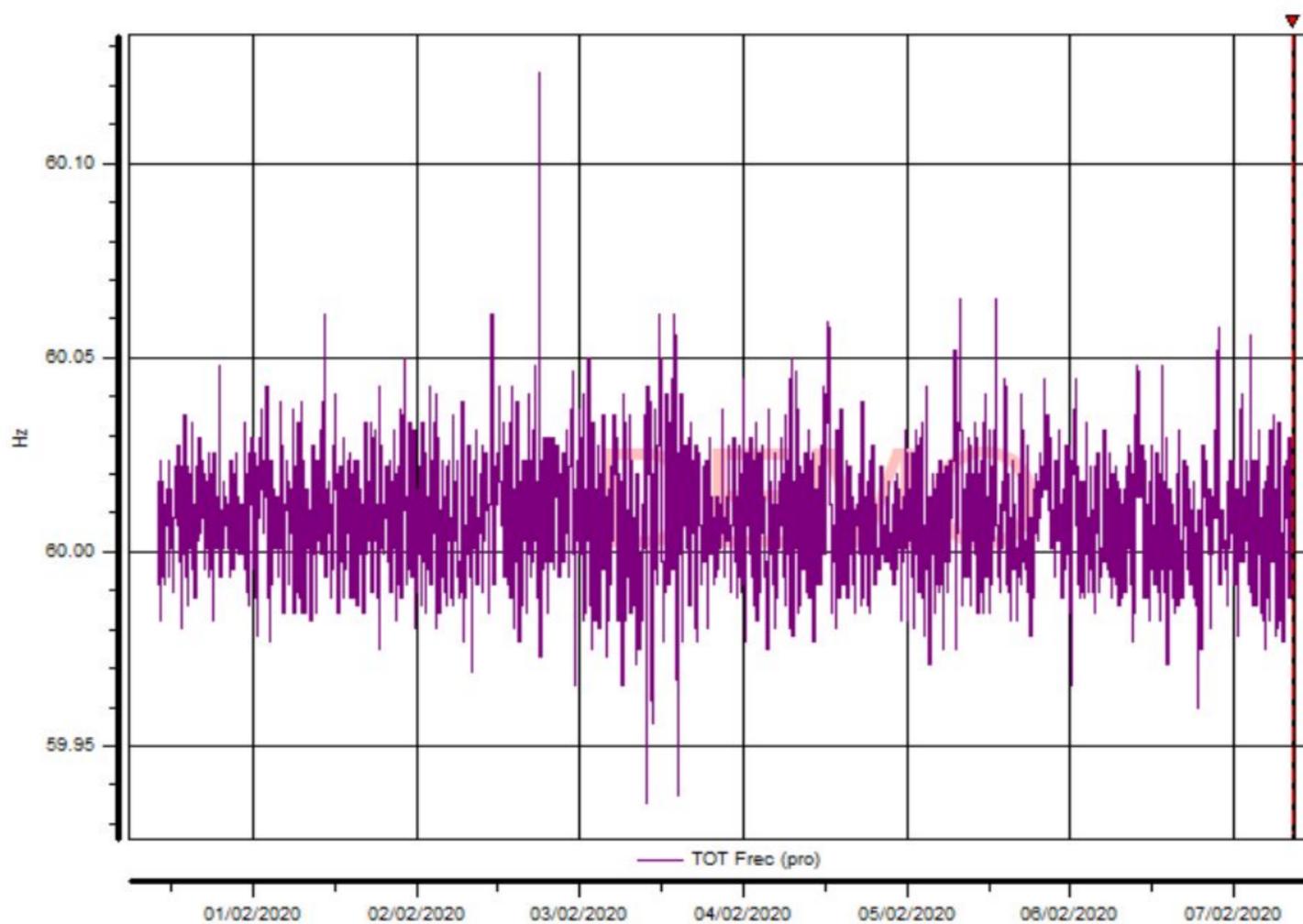
#### 4.3.5 Prueba de frecuencia rango de [58 – 62.5 Hz]

Norma aplicable Código de red

Cada muestra de frecuencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de frecuencia permitido es de [58.0 Hz, 62.5 Hz].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Frecuencia promedio (Hz)	60	60.01
Mínimo permitido (Hz)	58	59.94
Máximo permitido (Hz)	62.5	60.12
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	



*Figura 4.6. Espectro total de frecuencia.*

En **figura 4.6** se observa un estado estable de la frecuencia, estando esta concorde con los porcentajes que nos marcan las normas EN 50160, NOM-001 y Código de Red. No se nota ninguna variación fuera de los rangos permitidos, por lo cual, el espectro de frecuencia que se nos muestra da un resultado satisfactorio en las mediciones del transformador del que se tomo las muestras parciales.

#### **4.3.6 Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase A, rangos de $[\pm 10\%]$**

Norma aplicable

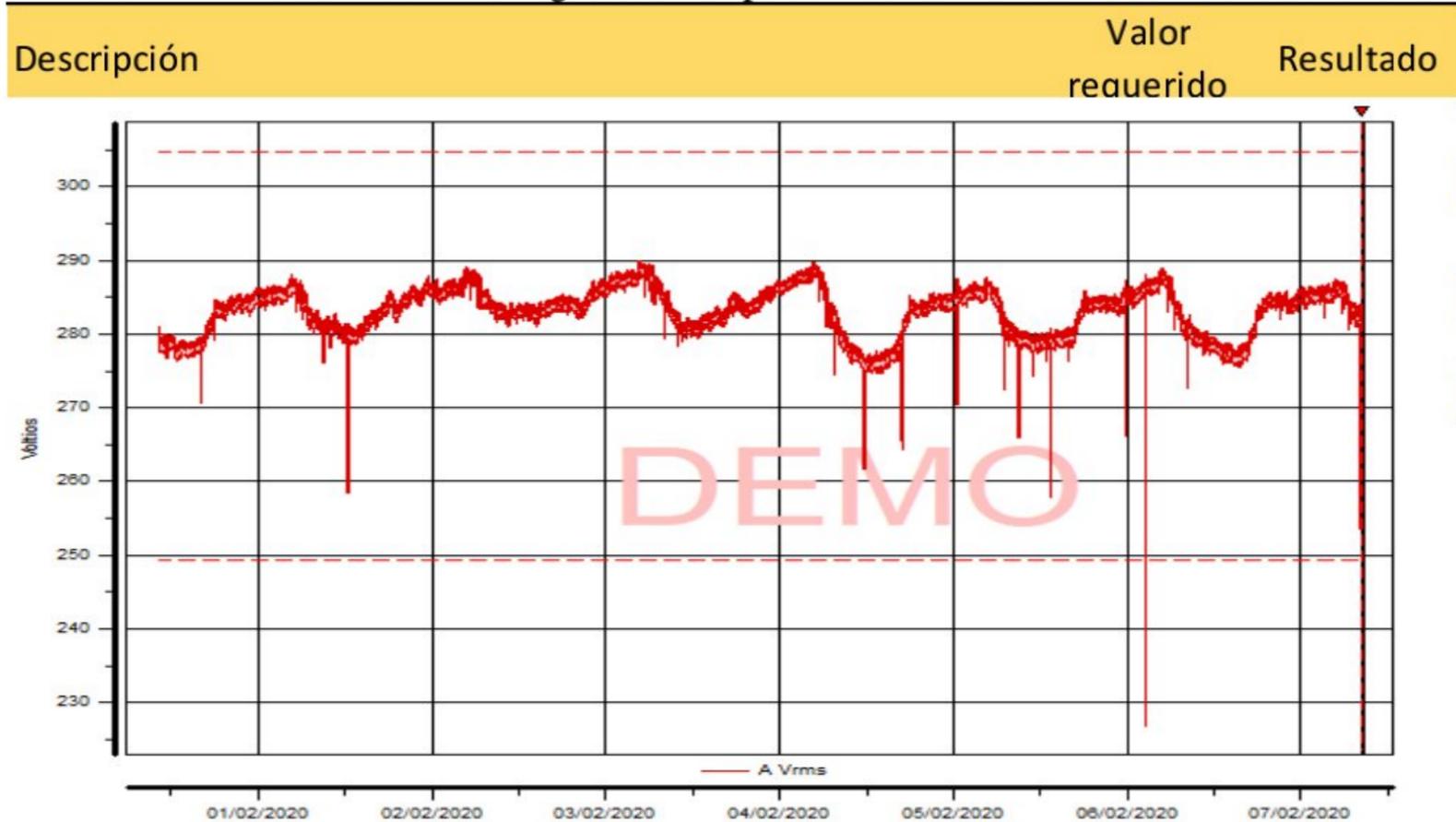
- NOM-001-SEDE-2012
- ANSI C84.1-2011

- EN 50160

Cada muestra de voltaje es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de voltaje permitido es de [-10%, 10%].

\*El valor mínimo de 226.9 V se registra en un parámetro de transitorios, el día 06/02/2020 a



*Figura 4.7. Voltaje RMS de fase A.*

las 2:35 hrs.

En la **figura 4.7** se observa un valor que cae por debajo de 226.9 V, esto debido a transitorios que se presentaron el 6 de febrero del 2020 a las 2:35 hrs. Y los demás días se observa que trabaja de una forma estable con variaciones similares, esto quizá debido a la carga que va teniendo el hospital a lo largo del día.

#### 4.3.7 Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase B, rangos de $[\pm 10\%]$

Norma aplicable

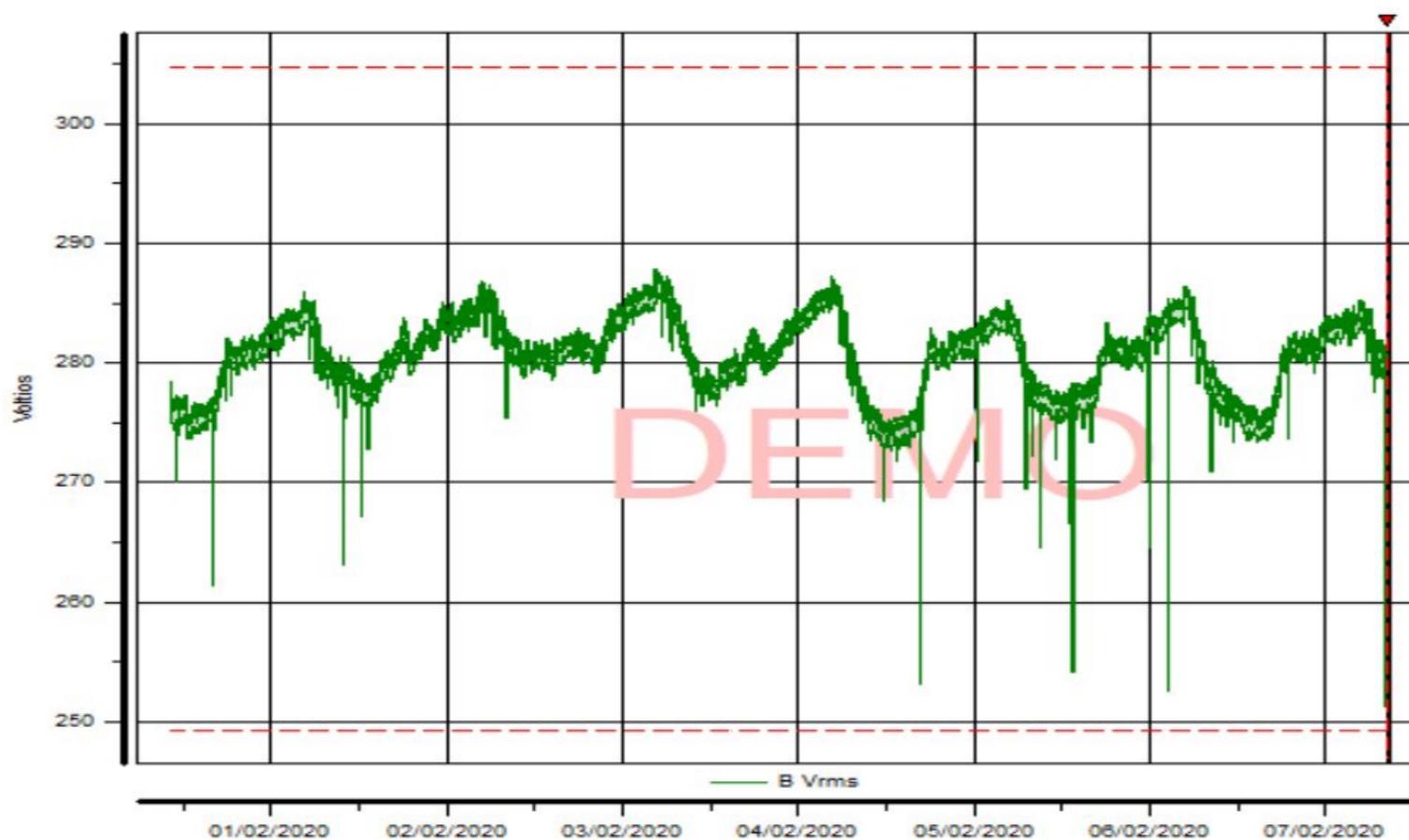
- NOM-001-SEDE-2012

- ANSI C84.1-2011
- EN 50160

Cada muestra de voltaje es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de voltaje permitido es de [-10%, 10%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Voltaje promedio (V)	277	281
Mínimo permitido (V)	249.3	251.3
Máximo permitido (V)	304.7	287.8
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	



*Figura 4.8. Voltaje RMS de fase B.*

En la **figura 4.8** no se presenta ninguna anomalía, ya que a lo largo de la semana esta grafica se presenta de manera estable con ciertas caídas, que al igual que la fase A, se debe a la conexión y desconexión de cargas que se presentan durante todo el día en el hospital.

#### 4.3.8 Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase C, rangos de $[\pm 10\%]$

Norma aplicable

- NOM-001-SEDE-2012
- ANSI C84.1-2011
- EN 50160

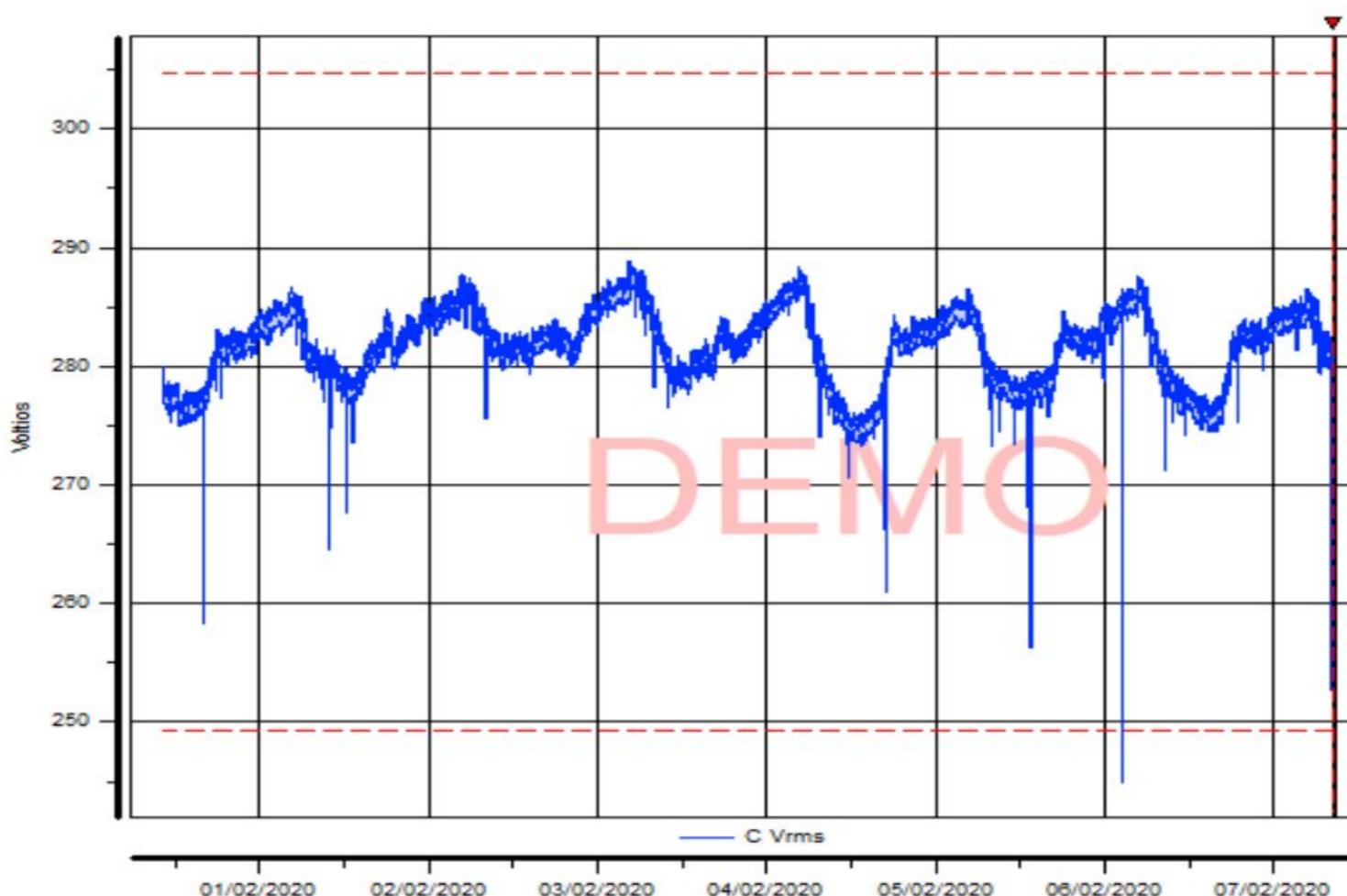
Cada muestra de voltaje es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de voltaje permitido es de  $[-10\%, 10\%]$ .

Descripción	Valor requerido	Resultado
Voltaje promedio (V)	277	282.1
Mínimo permitido (V)	249.3	245
Máximo permitido (V)	304.7	288.9
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

\*Al igual que la fase A, presenta evento de transitorio el día 06/02/2020 a las 2:35 hrs.

En la **figura 4.9**, se puede observar que los valores caen por debajo de 245 V, que se presenta en mismo día y la misma hora en la que la fase A presenta la caída de voltaje, esto podría ser debido a un desequilibrio de cargas por cada fase.



*Figura 4.9. Voltaje RMS de fase C.*

#### **4.3.9 Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase A, rangos de [-15%, 10%]**

Norma aplicable EN 50160

Cada muestra de voltaje es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de voltaje permitido es de [-15%, 10%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Voltaje promedio (V)	277	283.5
Mínimo permitido (V)	235.45	226.9
Máximo permitido (V)	304.7	290
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

#### 4.3.10 Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase B, rangos de [-15%, 10%]

Norma aplicable EN 50160

Cada muestra de voltaje es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de voltaje permitido es de [-15%, 10%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Voltaje promedio (V)	277	281
Mínimo permitido (V)	235.45	251.3
Máximo permitido (V)	304.7	287.8
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

#### 4.3.11 Prueba de variaciones de voltaje de L-N en la fase C, rangos de [-15%, 10%]

Norma aplicable EN 50160

Cada muestra de voltaje es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de voltaje permitido es de [-15%, 10%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Voltaje promedio (V)	277	282.1
Mínimo permitido (V)	235.45	245
Máximo permitido (V)	304.7	288.9
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

#### 4.3.12 Prueba de parpadeo de la fase A: $Pst \leq 1$

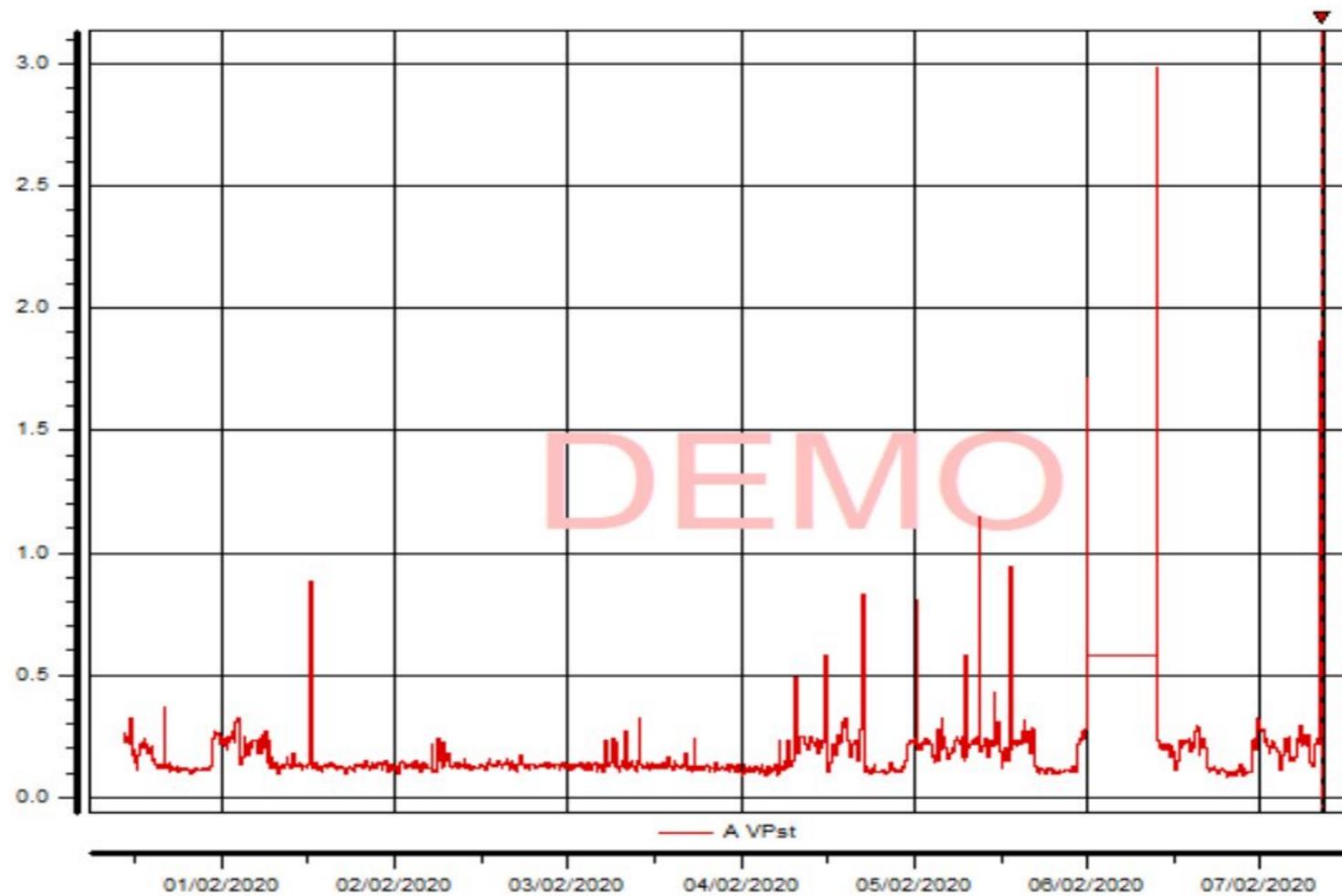
Norma aplicable

- EN 50160
- CFE L0000-45
- Código de red

Cada muestra de Pst es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de Pst permitido es de [0, 1].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Flicker de corta duración promedio (Pst)	$\leq 1$	0.26
Mínimo permitido (Pst)	0	0.082
Máximo permitido (Pst)	1	2.98
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	



*Figura 4.10. PST fase A.*

En la **figura 4.10**, se observan los Flicker de tensión que se presentaron durante toda la semana, se observa que estos van en un estado estable con variaciones muy repentinas, que no están fuera de los valores permitidos, los días en lo que más se observa un cambio brusco en los Flicker son a partir del día 4 al 6 de febrero del 2020, esto quizá debido a la conexión y desconexión de cargas esos días.

#### 4.3.13 Prueba de parpadeo de la fase B: $Pst \leq 1$

Norma aplicable

- EN 50160
- CFE L0000-45
- Código de red

Cada muestra de Pst es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de Pst permitido es de [0, 1].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Flicker de corta duración promedio (Pst)	$\leq 1$	0.25
Mínimo permitido (Pst)	0	0.064
Máximo permitido (Pst)	1	1.925
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

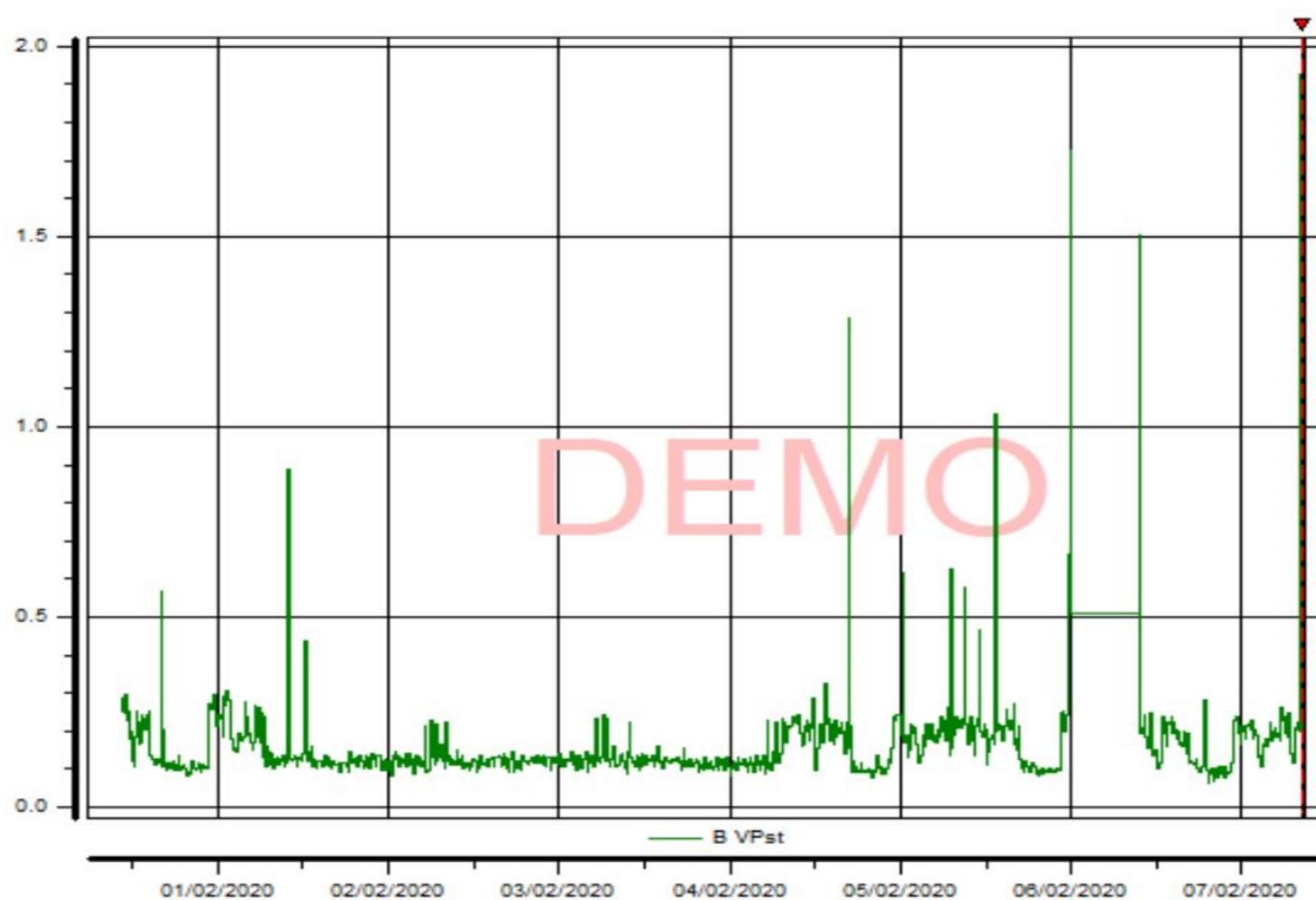


Figura 4.11. PST fase B.

En la **figura 4.11**, se puede ver los mismo comportamientos que la fase A, por lo tanto, su estado de operación es un estado estable, que sus variaciones bruscas no rebasan, el estado estable de la fase B.

### 4.3.14 Prueba de parpadeo de la fase C: $Pst \leq 1$

Norma aplicable

- EN 50160
- CFE L0000-45
- Código de red

Cada muestra de Pst es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de Pst permitido es de [0, 1].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Flicker de corta duración promedio (Pst)	$\leq 1$	0.17
Mínimo permitido (Pst)	0	0.065
Máximo permitido (Pst)	1	2.02
Número de muestras		1995
Resultado		Satisfactorio

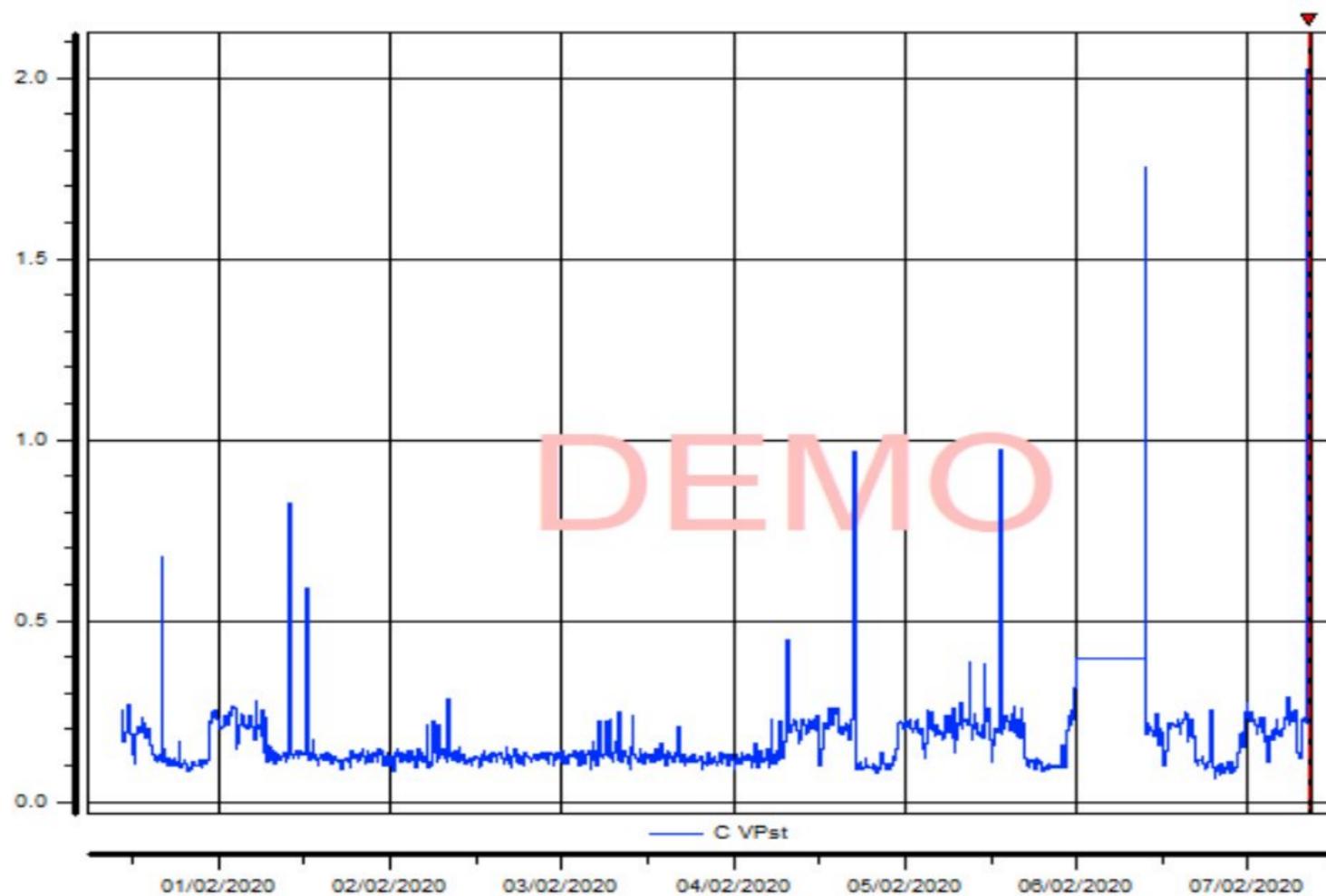


Figura 4.12. PST de fase C.

En la **figura 4.12**, no se observa diferencias tan grandes a las mediciones de la fase A y B, por lo tanto, se puede decir que el estado de la fase C esta en un estado estable.

#### 4.3.15 Prueba de desbalance de voltaje de fase A $\leq 2\%$

Norma aplicable

- EN 50160
- CFE L0000-45
- IEC 61000-2-2
- IEEE 1159

Cada muestra de desbalance es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de desbalance permitido es de [0%, 2%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Desbalance promedio (%)	$\leq 2$	0.462
Mínimo permitido (%)	0	0.074
Máximo permitido (%)	2	1.556
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

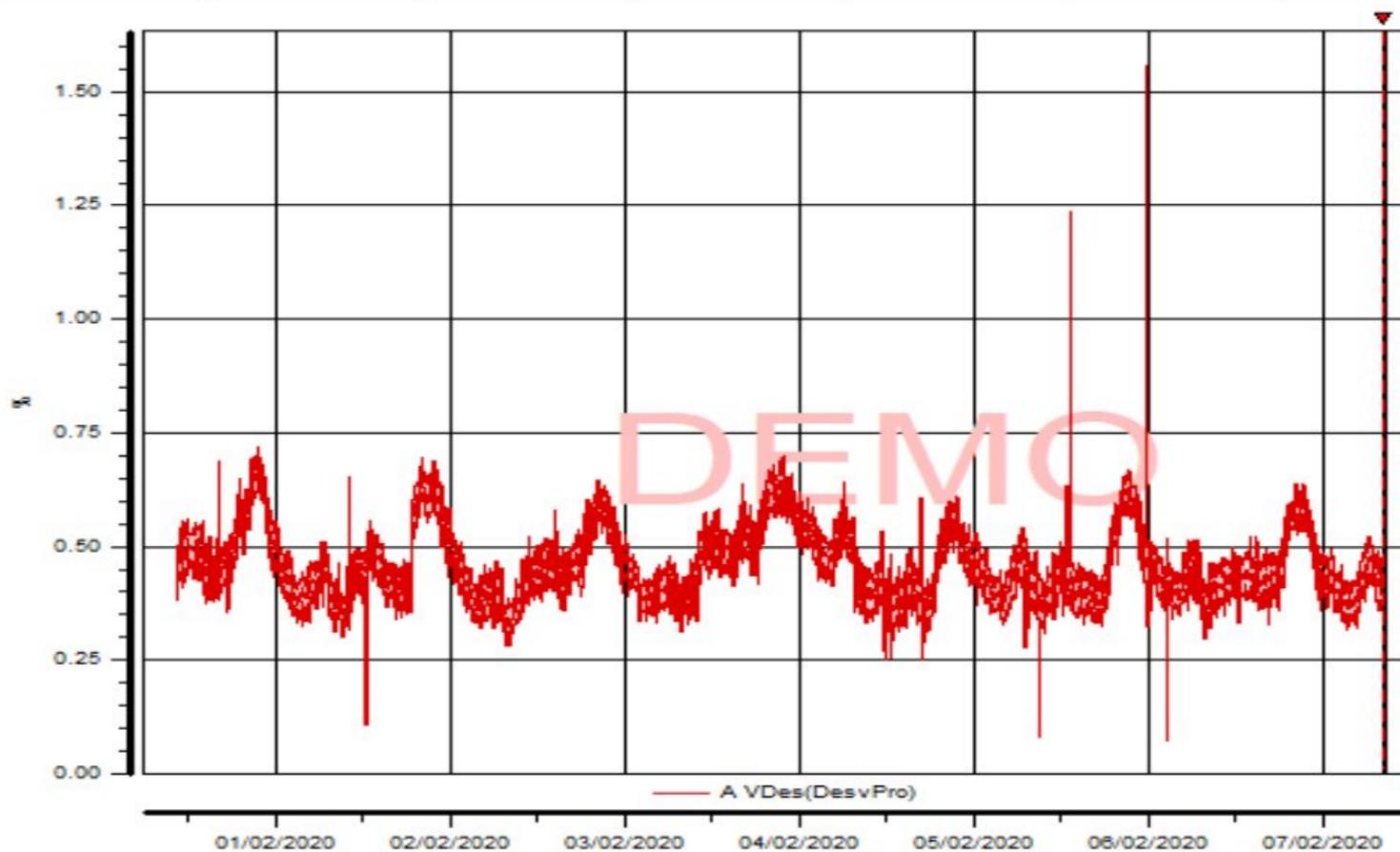


Figura 4.13. Desbalance de fase A.

#### 4.3.16 Prueba de desbalance de voltaje de fase B $\leq 2\%$

Norma aplicable

- EN 50160
- CFE L0000-45
- IEC 61000-2-2
- IEEE 1159

Cada muestra de desbalance es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de desbalance permitido es de [0%, 2%].

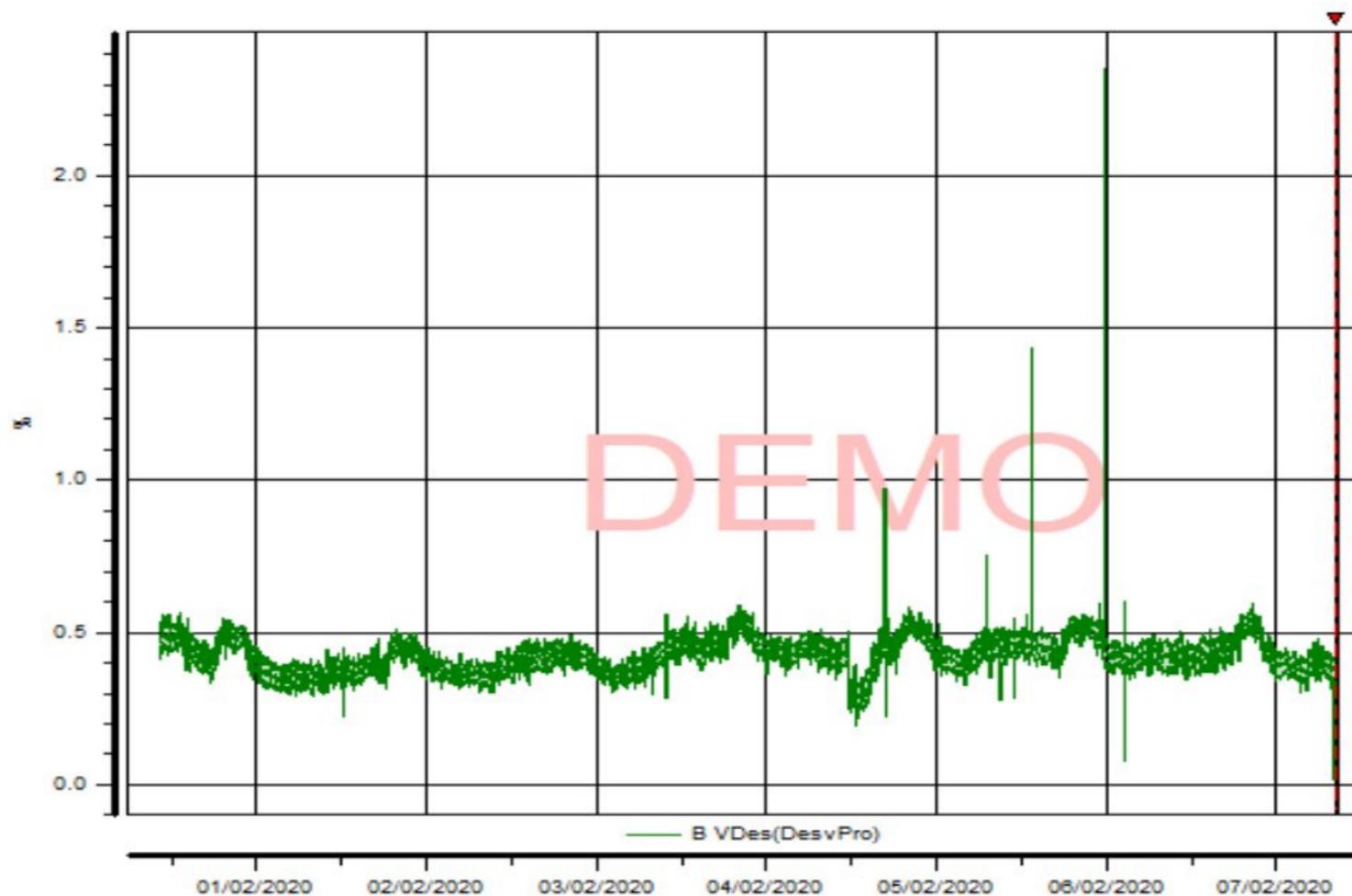


Figura 4.14. Desbalance de fase B.

#### 4.3.17 Prueba de desbalance de voltaje de fase C $\leq 2\%$

Norma aplicable

- EN 50160
- CFE L0000-45
- IEC 61000-2-2
- IEEE 1159

Cada muestra de desbalance es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de desbalance permitido es de [0%, 2%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Desbalance promedio (%)	≤2	0.462
Mínimo permitido (%)	0	0
Máximo permitido (%)	2	0.794
Número de muestras		1995
Resultado	Satisfactorio	

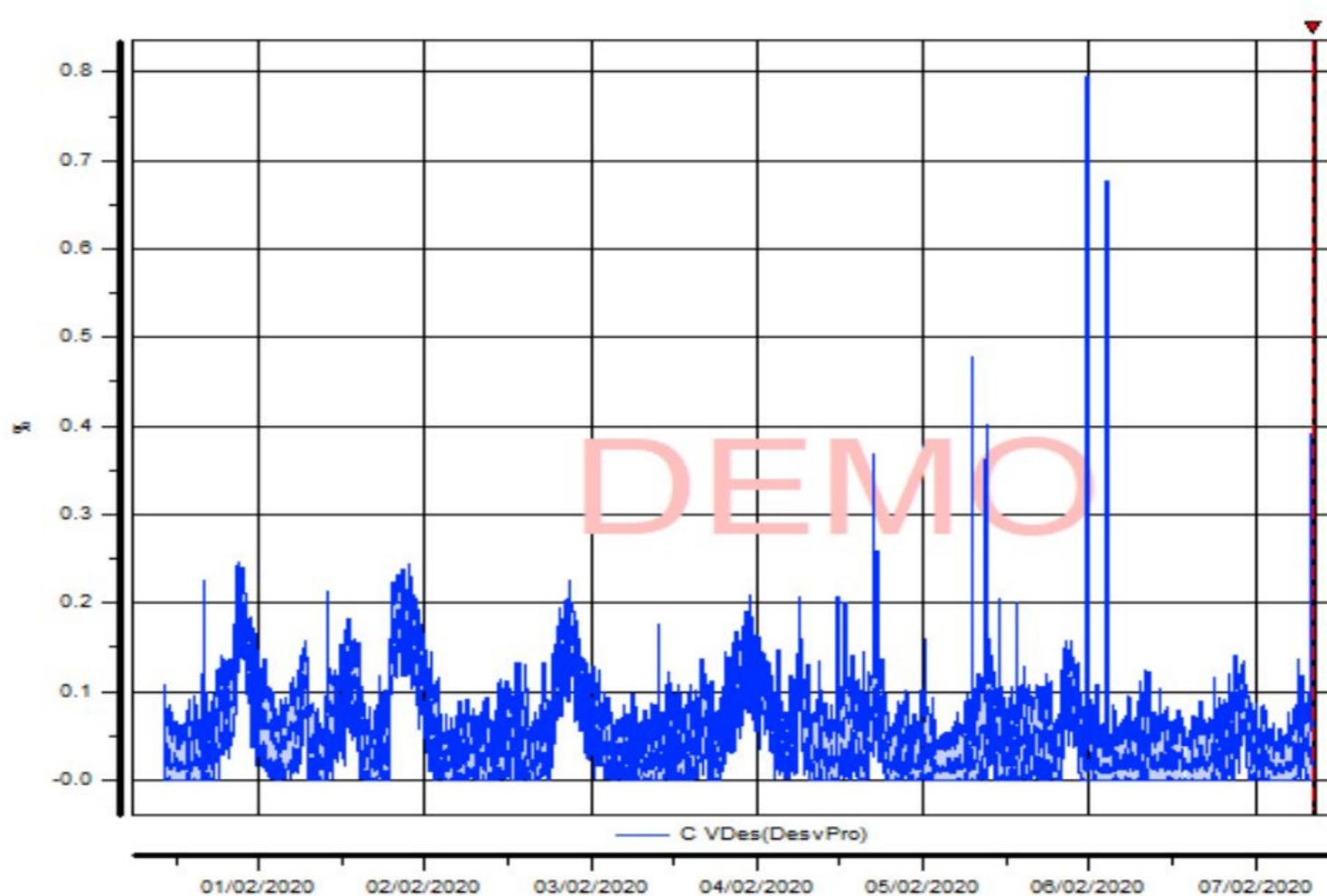


Figura 4.15. Desbalance de fase C.

Se observa que tanto la fase A, B y C en las **figuras 4.13, 4.14 y 4.15** respectivamente llevan un patrón de comportamiento similar, pero en un estado más estable la fase B, por lo que las que presentan un estado muy variante son las fases A y C, donde se observa esta última tener valores que tocan el 0%, en otras palabras ambas fases se encuentran de desbalance de

voltaje, aunque no incumplen las normas, eso explicaría las caídas de voltaje que se presentaron en ambas fases el día 6 de febrero del 2020 a las 2:35 hrs.

#### 4.3.18 Prueba de desbalance de corriente trifásico $\leq 8\%$

Norma aplicable

- Código de red
- CFE L0000-45
- IEEE 519

Cada muestra de desbalance es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día). Rango de desbalance permitido es de [0%, 8%].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Desbalance promedio (%)	$\leq 8$	7.754
Mínimo permitido (%)	0	7.267
Máximo permitido (%)	8	8.679
Número de muestras		1995
Resultado	Insatisfactorio	

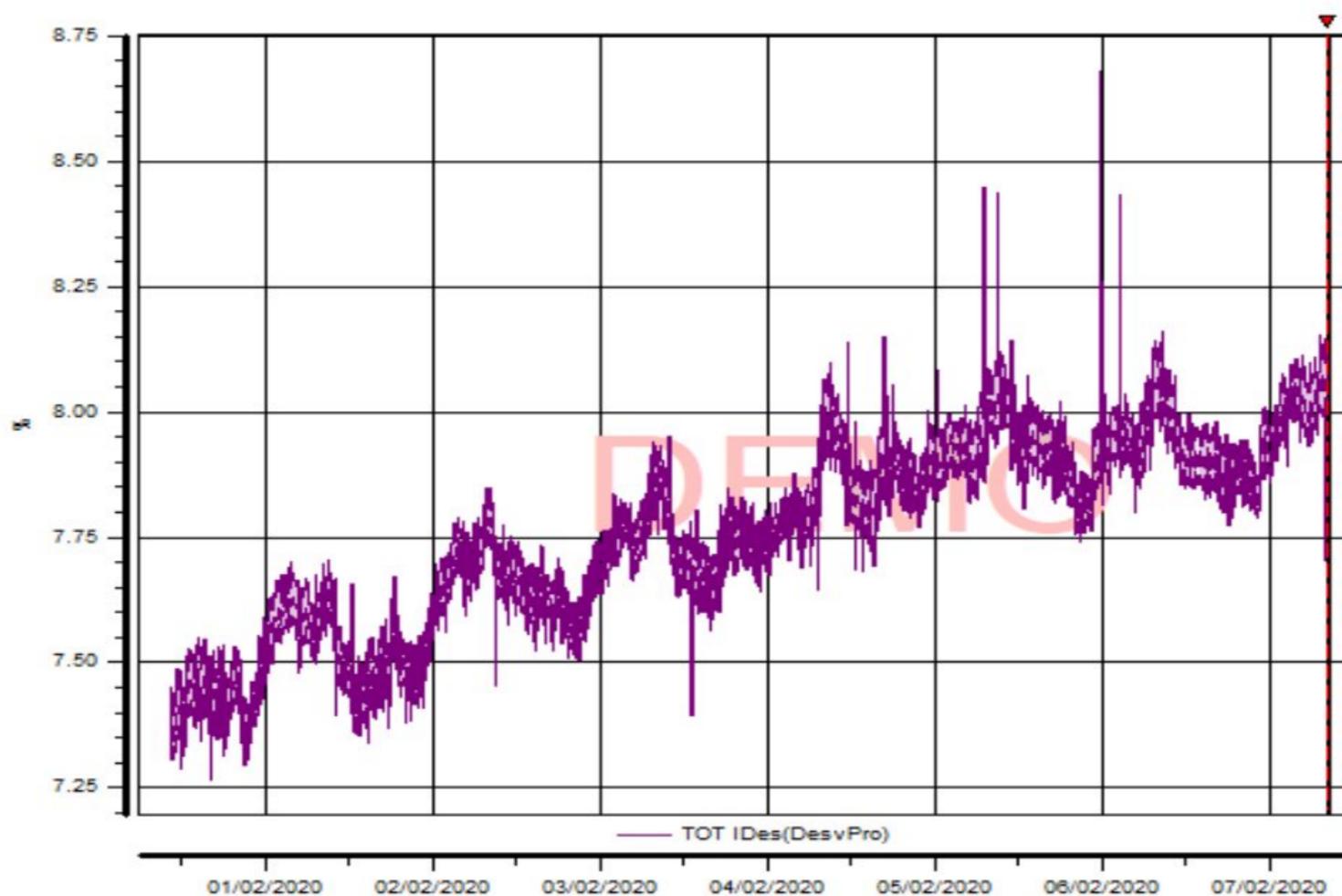


Figura 4.16. Desbalance trifásico.

En la **figura 4.16** se observa un creciente desbalance de voltaje, esto quizá debido a que tanto las fases A y B se encuentran desbalanceadas, esto quizá a la distribución de las cargas por cada fase que se encuentran desbalanceadas o que quizá hay conductores que están rotos por dentro y no se han identificado. Por ende, esta gráfica no tiene un estado estable de operación.

#### 4.3.19 Prueba de factor de potencia en fase A $\geq 0.95$

Norma aplicable Código de Red

Cada muestra de factor de potencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de factor de potencia permitido es de [0.95, 1].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Factor de potencia promedio (pu)	$\geq 0.95$	0.1378
Mínimo permitido (pu)	0.95	0.1277
Máximo permitido (pu)	1	0.1401
Número de muestras		1995
Resultado		Insatisfactorio

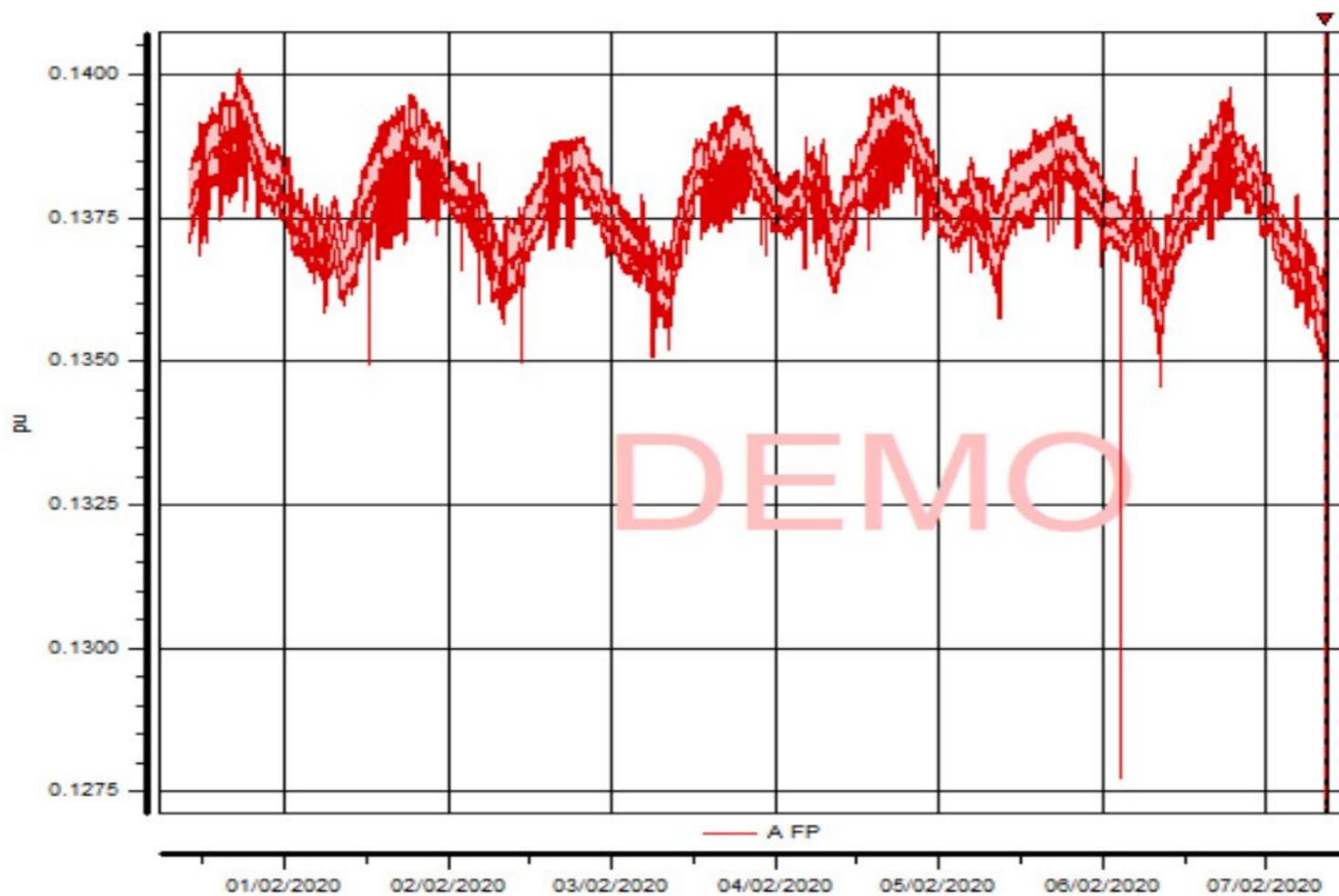


Figura 4.17. Factor de potencia fase A.

### 4.3.20 Prueba de factor de potencia en fase B $\geq 0.95$

Norma aplicable Código de Red

Cada muestra de factor de potencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de factor de potencia permitido es de [0.95, 1].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Factor de potencia promedio (pu)	$\geq 0.95$	0.1004
Mínimo permitido (pu)	0.95	0.0936
Máximo permitido (pu)	1	0.1028
Número de muestras		1995
Resultado		Insatisfactorio

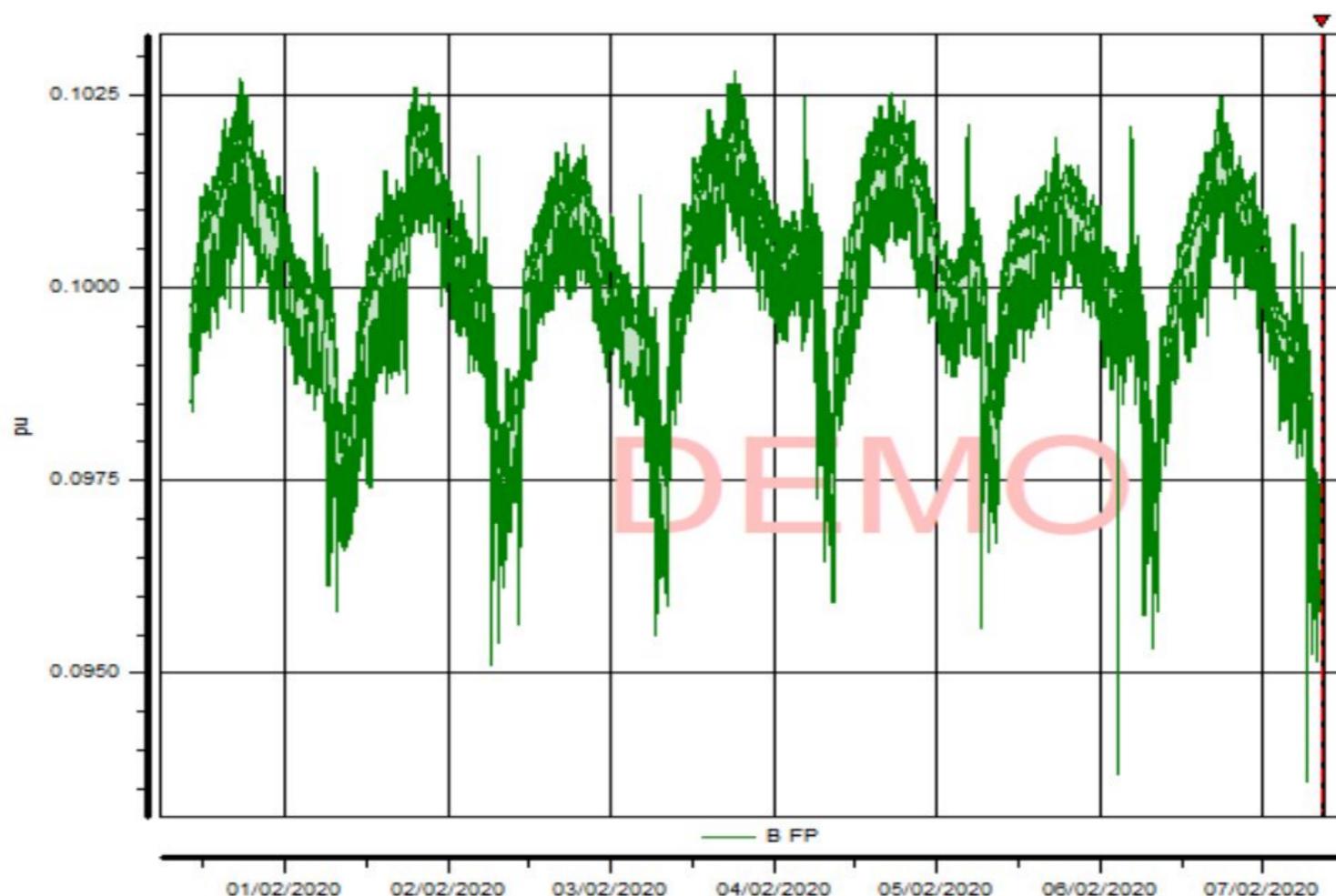


Figura 4.18. Factor de potencia fase B.

### 4.3.21 Prueba de factor de potencia en fase C $\geq 0.95$

Norma aplicable Código de Red

Cada muestra de factor de potencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de factor de potencia permitido es de [0.95, 1].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Factor de potencia promedio (pu)	$\geq 0.95$	0.06448
Mínimo permitido (pu)	0.95	0.0579
Máximo permitido (pu)	1	0.0681
Número de muestras		1995
Resultado		Insatisfactorio

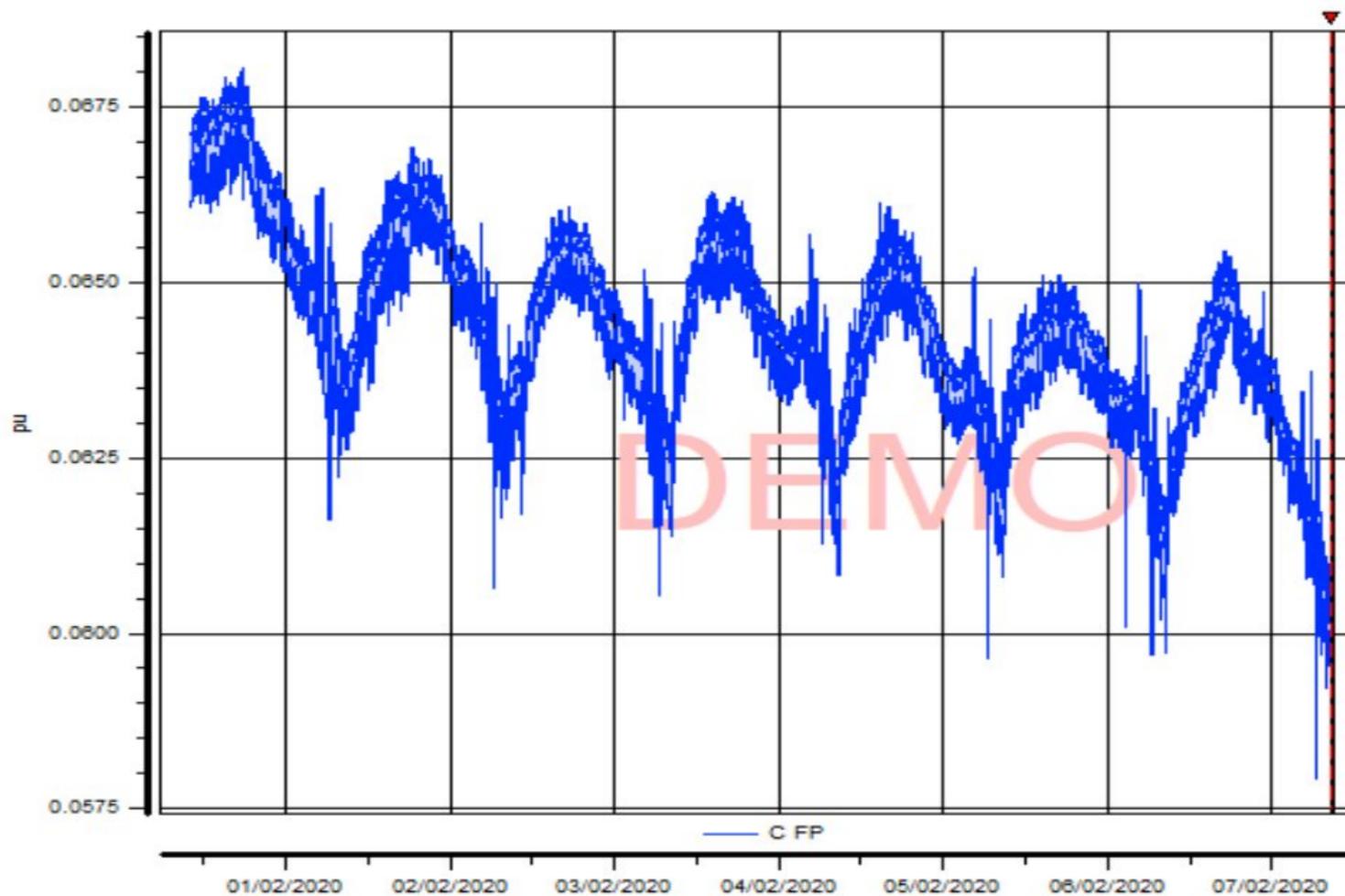


Figura 4.19. Factor de potencia fase C.

### 4.3.22 Prueba de factor de potencia trifásico $\geq 0.95$

Norma aplicable Código de Red

Cada muestra de factor de potencia es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de factor de potencia permitido es de [0.95, 1].

Descripción	Valor requerido	Resultado
Factor de potencia promedio (pu)	$\geq 0.95$	0.1009
Mínimo permitido (pu)	0.95	0.0938
Máximo permitido (pu)	1	0.1033
Número de muestras		1995
Resultado		Insatisfactorio

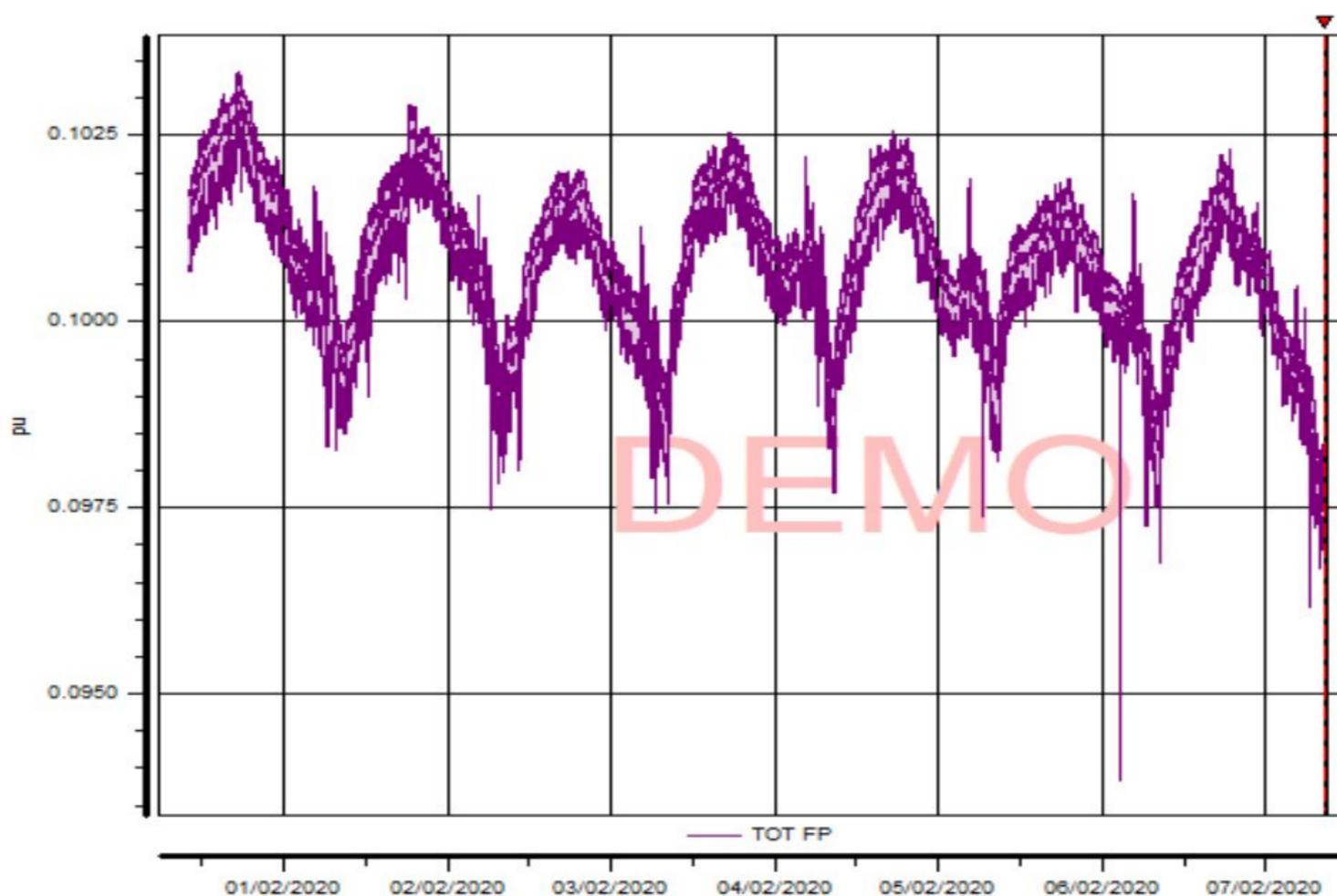


Figura 4.20. Factor de potencia trifásica.

En la **figura 4.20**, se observa que el factor de potencia se encuentra dentro de mediciones muy bajas, esto debido a que la medición se hizo a partir del devanado secundario del

transformador, a simple vista este factor de potencia se debe corregir para no tener efectos negativos en los equipos que se encuentran conectados. Por lo tanto, se puede decir que las mediciones no se encuentran en estado estable.

#### 4.3.23 Prueba de distorsión armónica total de voltaje de fase $\leq 8\%$

Normatividad aplicable

- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45
- IEC 61000-3-6
- EN 50160

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día). Rango de distorsión armónica total permitido es de [0%, 8%].

Línea	Valor mínimo (%)	Valor promedio (%)	Valor máximo (%)	Resultado
A	0.5894	0.8619	1.282	Satisfactorio
B	0.5311	0.7439	1.077	Satisfactorio
C	0.4878	0.7297	1.086	Satisfactorio
			Resultado	Satisfactorio

En la **figura 4.21**, se observa que la distorsión armónica de las tres fases se encuentra de manera estable, sin cambios muy bruscos, siguiendo un patrón ordenado a lo largo de la semana, sin salirse de los rangos de medición. No se observa mayores perturbaciones, por lo cual, se puede decir que la medición está en un estado estable, además, de que no exceden los límites de distorsión permitidos por las normas antes mencionadas, sino que están por debajo de estos con una muy buena regulación.

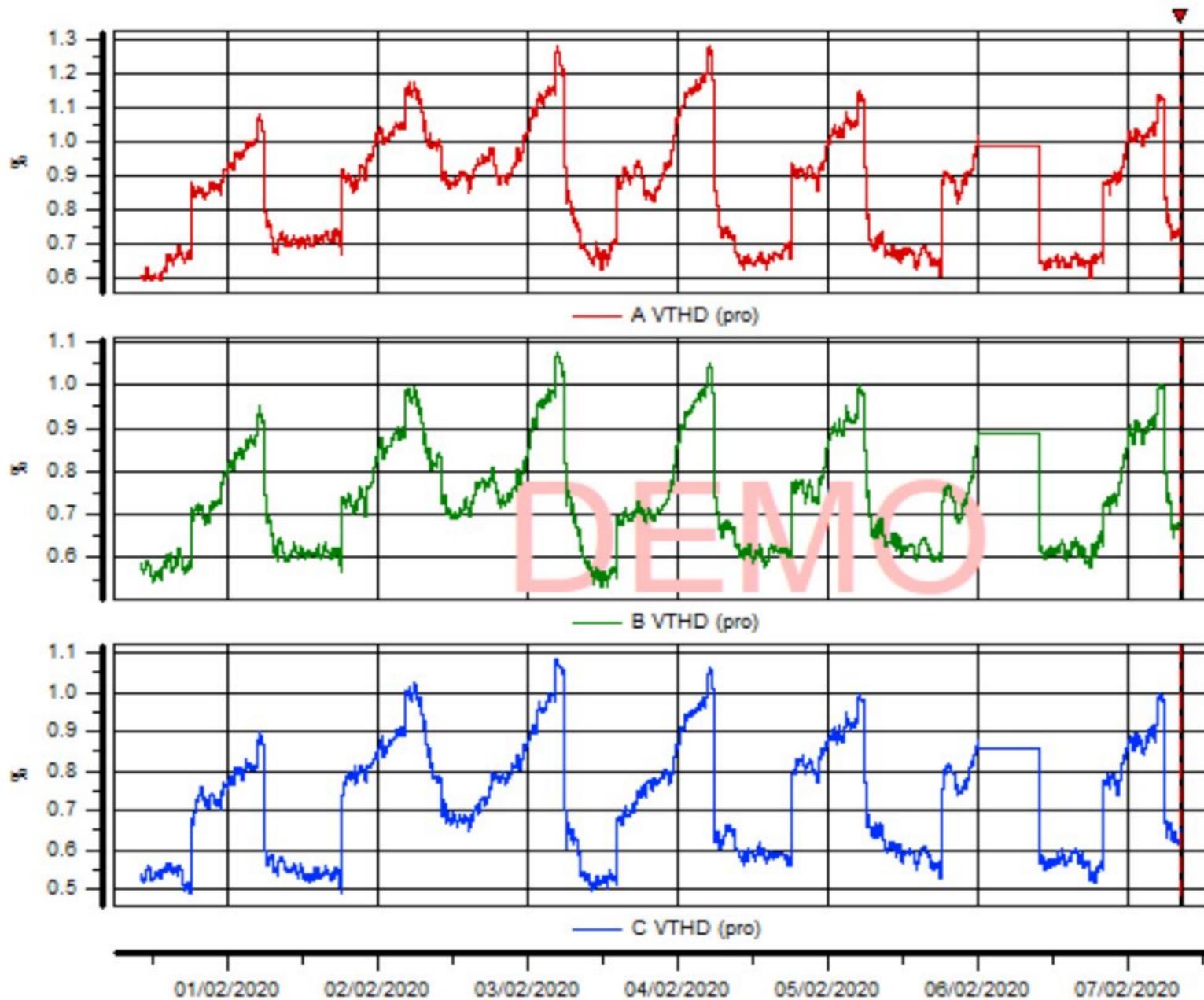


Figura 4.21. Porcentaje de VTHD de las tres fases.

#### 4.3.24 Prueba de distorsión armónica total de demanda de corriente en la fase A $\leq 15\%$

Normatividad aplicable

- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45
- Código de Red

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de distorsión armónica total permitido es de [0%, 15%].

Para la obtención de TDD se multiplica THD por la corriente medida en el momento de presente, dividida entre la corriente máxima promedio registrado en la fase A. En condición de carga máxima  $TDD(I) = THD(I)$ , que equivale al consumo realizado en horarios de plena actividad.

Descripción	Valor requerido	Resultado
TDD promedio (%)	≤15	8.63
Mínimo permitido (%)	0	6.037
Máximo permitido (%)	15	15.38
Número de muestras		1878
Resultado		INSATISFACTORIO

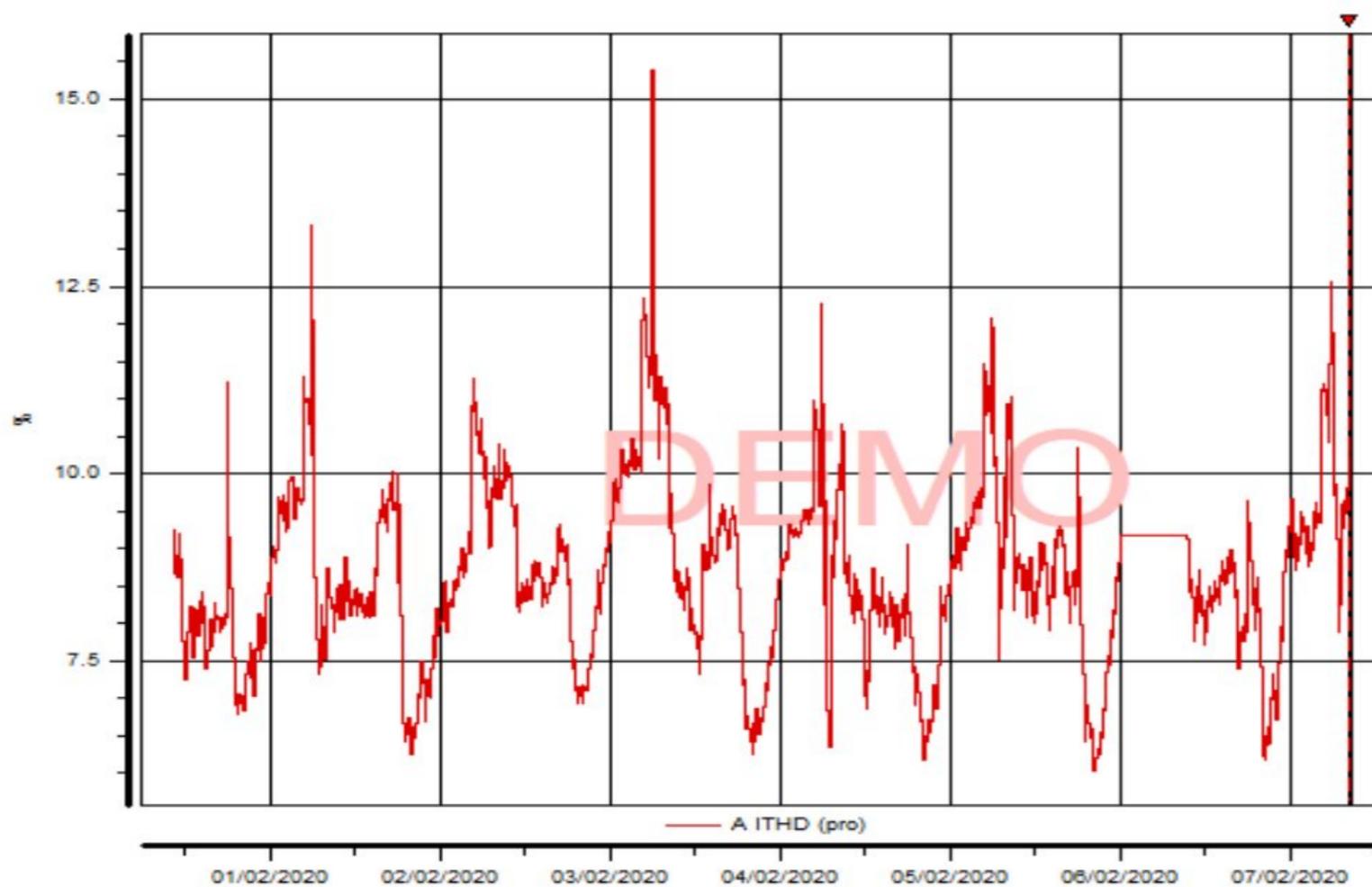


Figura 4.22. Porcentaje de ITHD de fase A.

#### 4.3.25 Prueba de distorsión armónica total de demanda de corriente en la fase B ≤ 15%

Normatividad aplicable

- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45

- Código de Red

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de distorsión armónica total permitido es de [0%, 15%].

Para la obtención de TDD se multiplica THD por la corriente medida en el momento de presente, dividida entre la corriente máxima promedio registrado en la fase B. En condición de carga máxima  $TDD (I) = THD (I)$ , que equivale al consumo realizado en horarios de plena actividad.

Descripción	Valor requerido	Resultado
TDD promedio (%)	≤15	7.31
Mínimo permitido (%)	0	4.537
Máximo permitido (%)	15	14.35
Número de muestras		1878
Resultado	Satisfactorio	

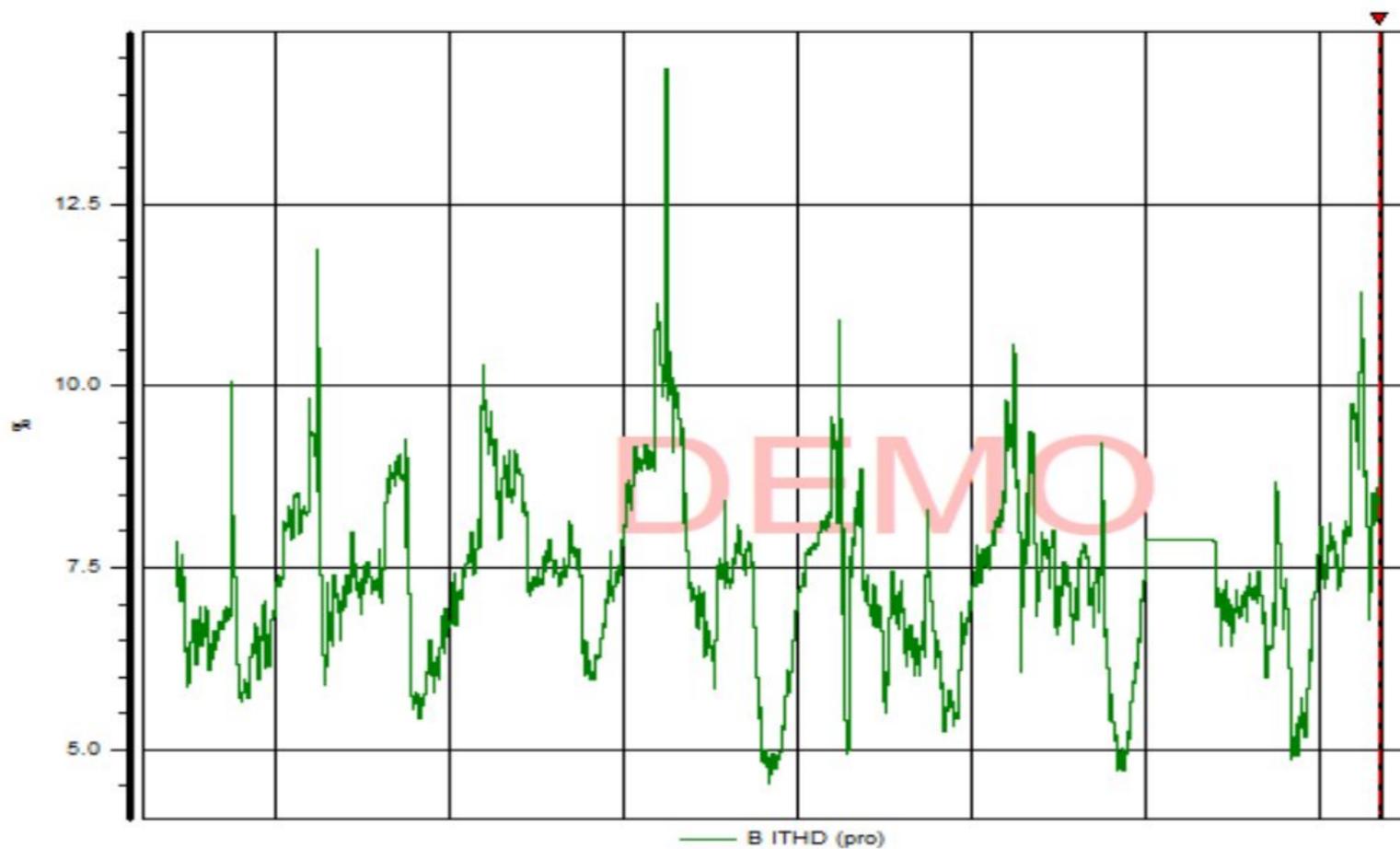


Figura 4.23. Porcentaje de ITHD de fase B.

### 4.3.26 Prueba de distorsión armónica total de demanda de corriente en la fase C $\leq 15\%$

Normatividad aplicable

- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45
- Código de Red

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de distorsión armónica total permitido es de [0%, 15%].

Para la obtención de TDD se multiplica THD por la corriente medida en el momento de presente, dividida entre la corriente máxima promedio registrado en la fase C. En condición de carga máxima  $TDD (I) = THD (I)$ , que equivale al consumo realizado en horarios de plena actividad.

Descripción	Valor requerido	Resultado
TDD promedio (%)	$\leq 15$	7.382
Mínimo permitido (%)	0	4.718
Máximo permitido (%)	15	14.81
Número de muestras		1878
Resultado		Satisfactorio

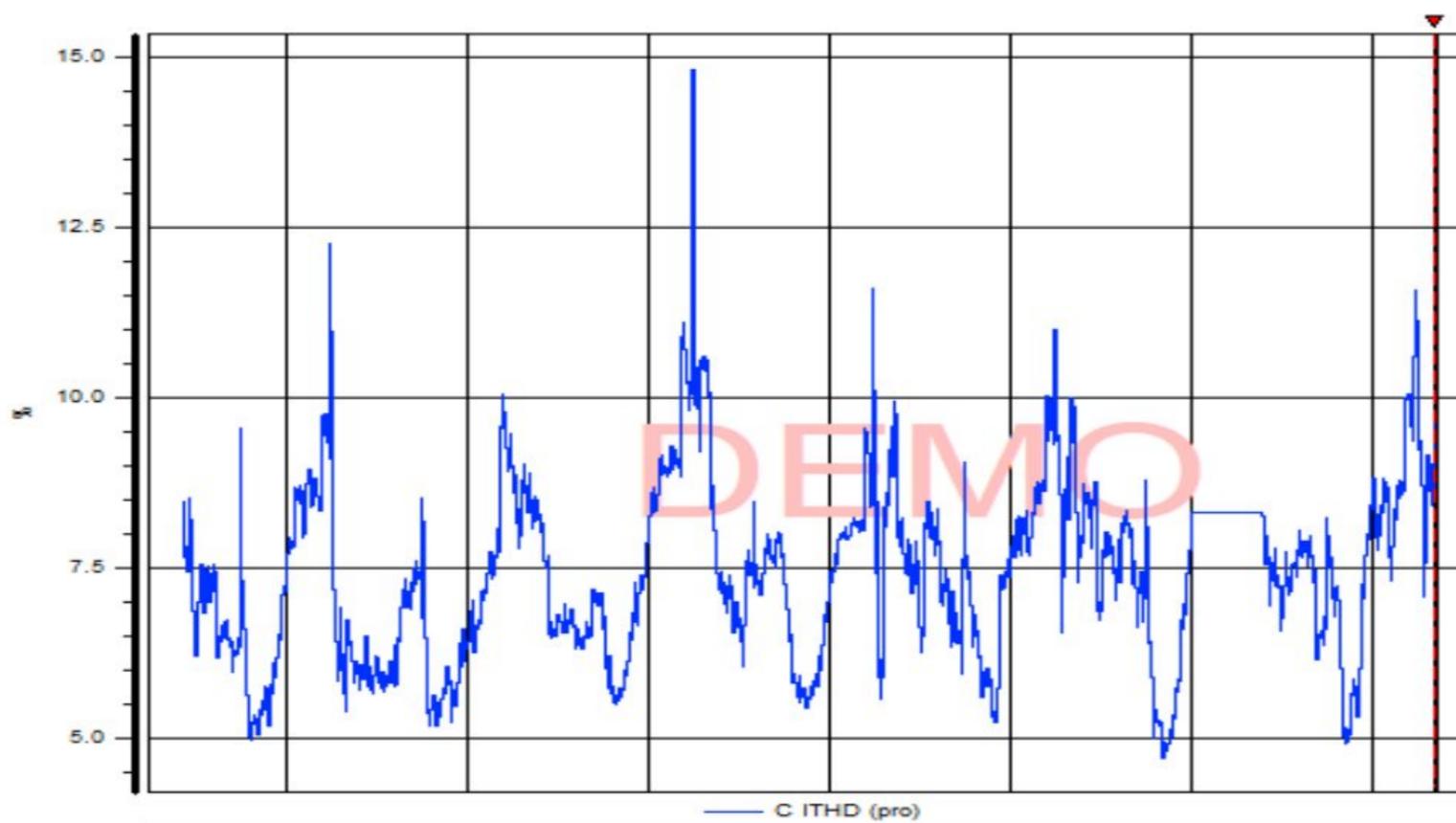


Figura 4.24. Porcentaje de ITHD de fase C.

### 4.3.27 Prueba de armónicos individuales 1-25 de voltaje de fases

Normatividad aplicable

- IEC 61000-3-6
- EN 50160
- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de distorsión armónica total permitido se indica en la prueba.

Armónicos	IEC 61000-3-6 (%)	EN 50160 (%)	IEEE 519-2014 (%)	CFE L0000-45 (%)	Vh máximo línea A (%)	Vh máximo línea B (%)	Vh máximo línea C (%)	Resultado
1	/	/	/	/	/	/	/	
2	2	2	5	6	0.027	0.029	0.052	Satisfactorio
3	5	5	5	6	0.177	0.239	0.127	Satisfactorio
4	1	1	5	6	0.061	0.041	0.048	Satisfactorio
5	6	6	5	6	0.315	0.286	0.290	Satisfactorio
6	0.5	0.5	5	6	0.041	0.024	0.027	Satisfactorio
7	5	5	5	6	0.461	0.424	0.393	Satisfactorio
8	0.5	0.5	5	6	0.067	0.031	0.031	Satisfactorio
9	1.5	1.5	5	6	0.044	0.089	0.027	Satisfactorio
10	0.5	0.5	5	6	0.032	0.026	0.021	Satisfactorio
11	3.5	3.5	5	6	0.081	0.101	0.073	Satisfactorio
12	0.2	0.5	5	6	0.032	0.044	0.021	Satisfactorio
13	3	3	5	6	0.107	0.115	0.109	Satisfactorio
14	0.2	0.5	5	6	0.049	0.024	0.028	Satisfactorio
15	0.3	0.5	5	6	0.035	0.041	0.032	Satisfactorio
16	0.2	0.5	5	6	0.024	0.034	0.037	Satisfactorio
17	2	2	5	6	0.145	0.151	0.132	Satisfactorio
18	0.2	0.5	5	6	0.047	0.035	0.042	Satisfactorio
19	1.5	1.5	5	6	0.078	0.058	0.074	Satisfactorio
20	0.2	0.5	5	6	0.049	0.025	0.030	Satisfactorio
21	0.2	0.5	5	6	0.032	0.035	0.028	Satisfactorio
22	0.2	0.5	5	6	0.025	0.025	0.020	Satisfactorio
23	1.5	1.5	5	6	0.067	0.064	0.057	Satisfactorio
24	0.2	0.5	5	6	0.037	0.022	0.020	Satisfactorio

Tabla 4.3 Rango de distorsión armónica permitido trifásico.

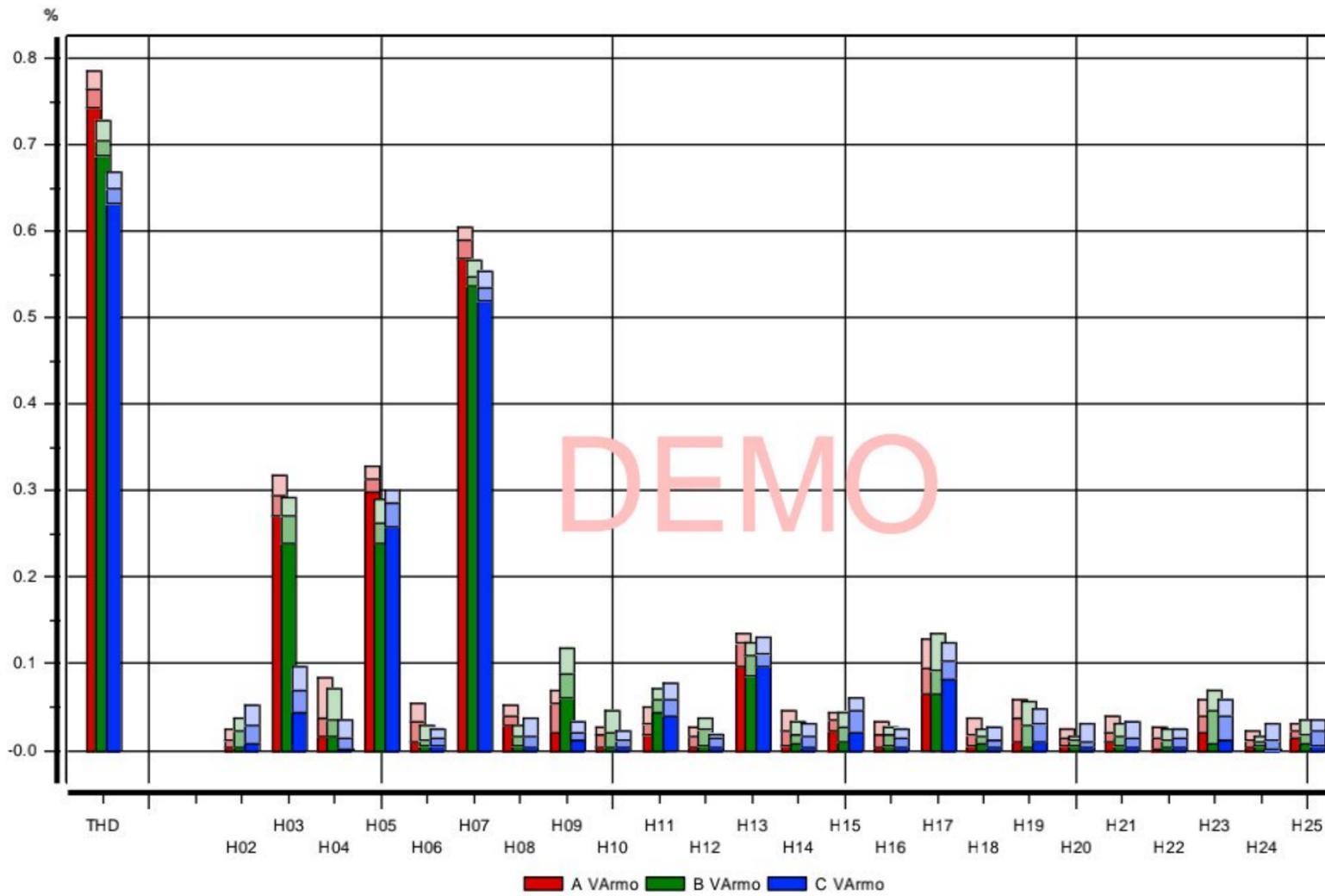


Figura 4.25. Espectro armónico de Voltaje.

#### 4.3.28 Prueba de armónicos individuales 1-25 de corriente en la fase A

Normatividad aplicable

- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45
- Código de Red

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de distorsión armónica total permitido se indica en la prueba.

Armónicos	IEEE 159-2014 (%)	CFE L0000-45 (%)	Código de Red (%)	Ah Mínimo (%)	Ah Promedio (%)	Ah Máximo (%)	Resultado
1							
2	1.75	1.75	1.75	0.004	0.038	0.081	Satisfactorio
3	7	7	7	0.594	0.699	0.777	Satisfactorio
4	1.75	1.75	1.75	0.228	0.474	0.635	Satisfactorio
5	7	7	7	7.739	7.975	8.139	Fallido
6	1.75	1.75	1.75	0.040	0.103	0.168	Satisfactorio
7	7	7	7	2.699	2.742	2.808	Satisfactorio
8	1.75	1.75	1.75	0.056	0.092	0.123	Satisfactorio
9	7	7	7	0.056	0.080	0.111	Satisfactorio
10	1.75	1.75	1.75	0.010	0.019	0.037	Satisfactorio
11	3	3	3	0.150	0.168	0.196	Satisfactorio
12	0.75	0.75	0.75	0.006	0.021	0.036	Satisfactorio
13	3	3	3	0.115	0.136	0.160	Satisfactorio
14	0.75	0.75	0.75	0.016	0.036	0.058	Satisfactorio
15	3	3	3	0.008	0.026	0.045	Satisfactorio
16	0.75	0.75	0.75	0.003	0.019	0.033	Satisfactorio
17	2.5	2.5	2.5	0.089	0.150	0.193	Satisfactorio
18	0.625	0.625	0.625	0.002	0.024	0.037	Satisfactorio
19	2.5	2.5	2.5	0.004	0.051	0.099	Satisfactorio
20	0.625	0.625	0.625	0.003	0.019	0.041	Satisfactorio
21	2.5	2.5	2.5	0.009	0.017	0.029	Satisfactorio
22	0.625	0.625	0.625	0.004	0.011	0.018	Satisfactorio
23	1	1	1	0.016	0.035	0.063	Satisfactorio
24	0.25	0.25	0.25	0.004	0.010	0.022	Satisfactorio
25	1	1	1	0.005	0.022	0.033	Satisfactorio

Tabla 4.4 Distorsión armónica fase A

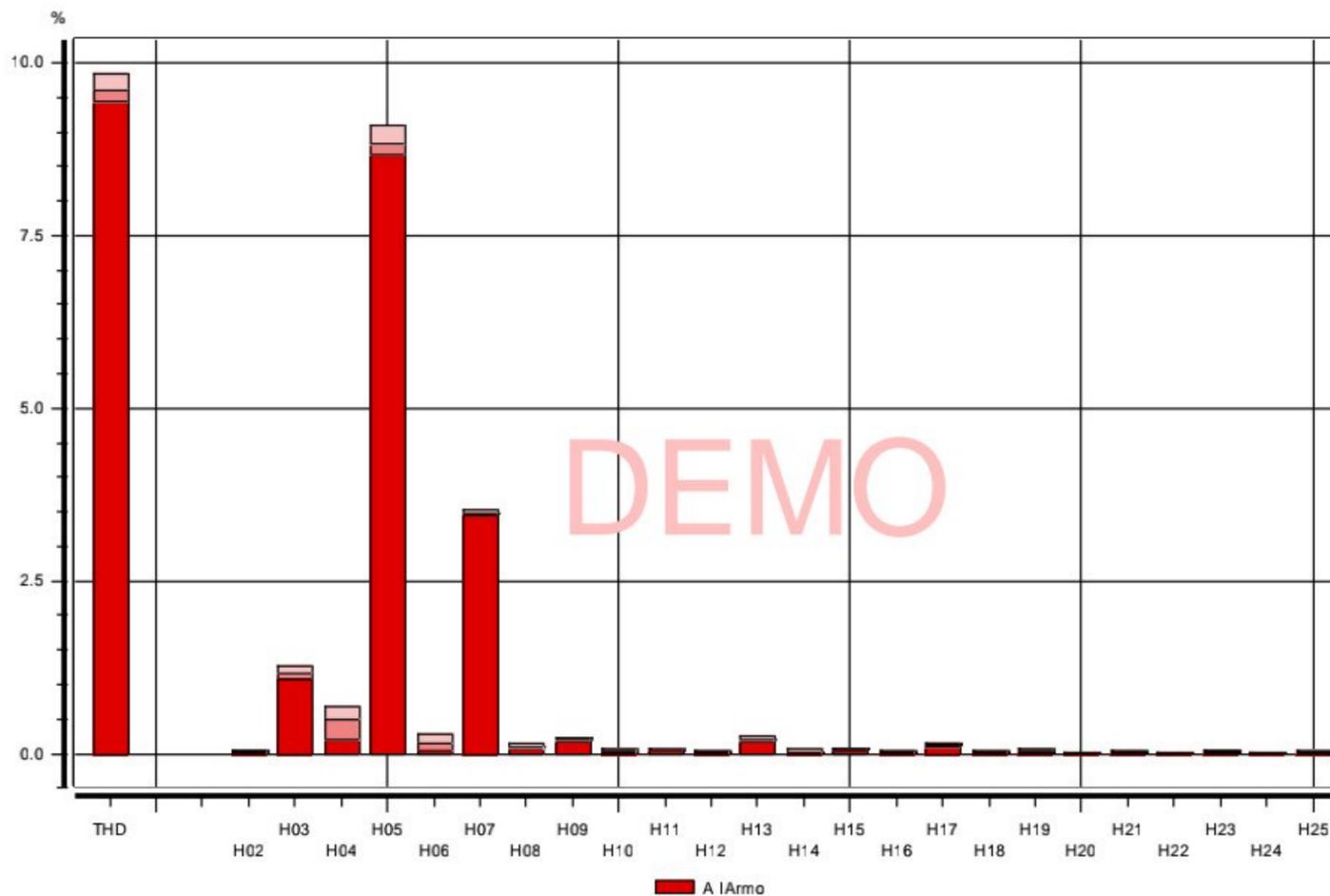


Figura 4.26. Espectro armónico de corriente de fase A.

### 4.3.29 Prueba de armónicos individuales 1-25 de corriente en la fase B

Normatividad aplicable

- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45
- Código de Red

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de distorsión armónica total permitido se indica en la prueba.

Armónicos	IEEE 159-2014 (%)	CFE L0000-45 (%)	Código de Red (%)	Ah Mínimo (%)	Ah Promedio (%)	Ah Máximo (%)	Resultado
1							
2	1.75	1.75	1.75	0.0242	0.0701	0.1289	Satisfactorio
3	7	7	7	1.0320	1.0927	1.1452	Satisfactorio
4	1.75	1.75	1.75	0.0411	0.2788	0.5173	Satisfactorio
5	7	7	7	6.4070	6.6680	6.9460	Satisfactorio
6	1.75	1.75	1.75	0.0128	0.0847	0.1539	Satisfactorio
7	7	7	7	2.3902	2.4464	2.4754	Satisfactorio
8	1.75	1.75	1.75	0.0363	0.0642	0.1090	Satisfactorio
9	7	7	7	0.0783	0.0990	0.1319	Satisfactorio
10	1.75	1.75	1.75	0.0054	0.0160	0.0254	Satisfactorio
11	3	3	3	0.1613	0.1808	0.2055	Satisfactorio
12	0.75	0.75	0.75	0.0142	0.0339	0.0529	Satisfactorio
13	3	3	3	0.1373	0.1532	0.1652	Satisfactorio
14	0.75	0.75	0.75	0.0123	0.0277	0.0453	Satisfactorio
15	3	3	3	0.0164	0.0385	0.0583	Satisfactorio
16	0.75	0.75	0.75	0.0014	0.0181	0.0382	Satisfactorio
17	2.5	2.5	2.5	0.1098	0.1565	0.2254	Satisfactorio
18	0.625	0.625	0.625	0.0087	0.0281	0.0505	Satisfactorio
19	2.5	2.5	2.5	0.0080	0.0454	0.0751	Satisfactorio
20	0.625	0.625	0.625	0.0079	0.0164	0.0321	Satisfactorio
21	2.5	2.5	2.5	0.0054	0.0173	0.0254	Satisfactorio
22	0.625	0.625	0.625	0.0024	0.0102	0.0172	Satisfactorio
23	1	1	1	0.0208	0.0414	0.0649	Satisfactorio
24	0.25	0.25	0.25	0.0019	0.0083	0.0207	Satisfactorio
25	1	1	1	0.0106	0.0247	0.0377	Satisfactorio

Tabla 4.5 Distorsión armónica fase B.

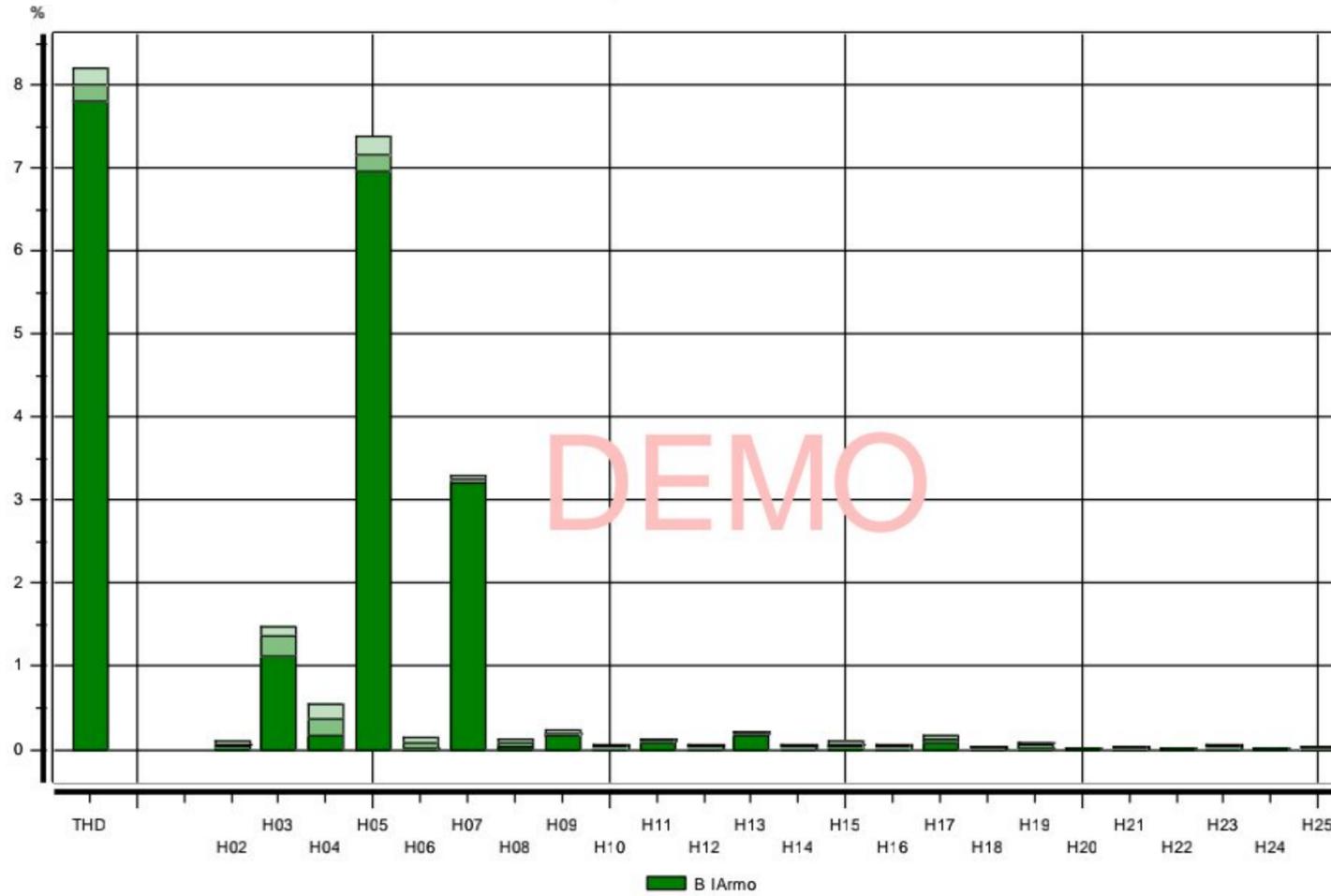


Figura 4.27. Espectro armónico de corriente de fase B.

#### 4.3.30 Prueba de armónicos individuales 1-25 de corriente en la fase C

Normatividad aplicable

- IEEE 519-2014
- CFE L0000-45
- Código de Red

Cada muestra de distorsión armónica es el promedio de cada 10 minutos (144 muestras por día).

Rango de distorsión armónica total permitido se indica en la prueba.

Armónicos	IEEE 159-2014 (%)	CFE L0000-45 (%)	Código de Red (%)	Ah Mínimo (%)	Ah Promedio (%)	Ah Máximo (%)	Resultado
1							
2	1.75	1.75	1.75	0.0818	0.0530	0.0298	Satisfactorio
3	7	7	7	0.4342	0.3469	0.2516	Satisfactorio
4	1.75	1.75	1.75	0.4546	0.2595	0.0712	Satisfactorio
5	7	7	7	7.3760	7.2610	7.0980	Fallido
6	1.75	1.75	1.75	0.1474	0.0954	0.0439	Satisfactorio
7	7	7	7	2.4196	2.3734	2.3176	Satisfactorio
8	1.75	1.75	1.75	0.0515	0.0244	0.0074	Satisfactorio
9	7	7	7	0.0516	0.0332	0.0081	Satisfactorio
10	1.75	1.75	1.75	0.0348	0.0145	0.0030	Satisfactorio
11	3	3	3	0.0717	0.0580	0.0440	Satisfactorio
12	0.75	0.75	0.75	0.0372	0.0228	0.0078	Satisfactorio
13	3	3	3	0.1542	0.1367	0.1175	Satisfactorio
14	0.75	0.75	0.75	0.0359	0.0176	0.0030	Satisfactorio
15	3	3	3	0.0472	0.0265	0.0073	Satisfactorio
16	0.75	0.75	0.75	0.0371	0.0228	0.0095	Satisfactorio
17	2.5	2.5	2.5	0.1760	0.1473	0.1154	Satisfactorio
18	0.625	0.625	0.625	0.0346	0.0196	0.0062	Satisfactorio
19	2.5	2.5	2.5	0.1067	0.0568	0.0081	Satisfactorio
20	0.625	0.625	0.625	0.0311	0.0158	0.0055	Satisfactorio
21	2.5	2.5	2.5	0.0322	0.0165	0.0036	Satisfactorio
22	0.625	0.625	0.625	0.0256	0.0144	0.0098	Satisfactorio
23	1	1	1	0.0404	0.0326	0.0247	Satisfactorio
24	0.25	0.25	0.25	0.0116	0.0077	0.0025	Satisfactorio
25	1	1	1	0.0442	0.0251	0.0135	Satisfactorio

Tabla 4.6 Distorsión armónica fase C.

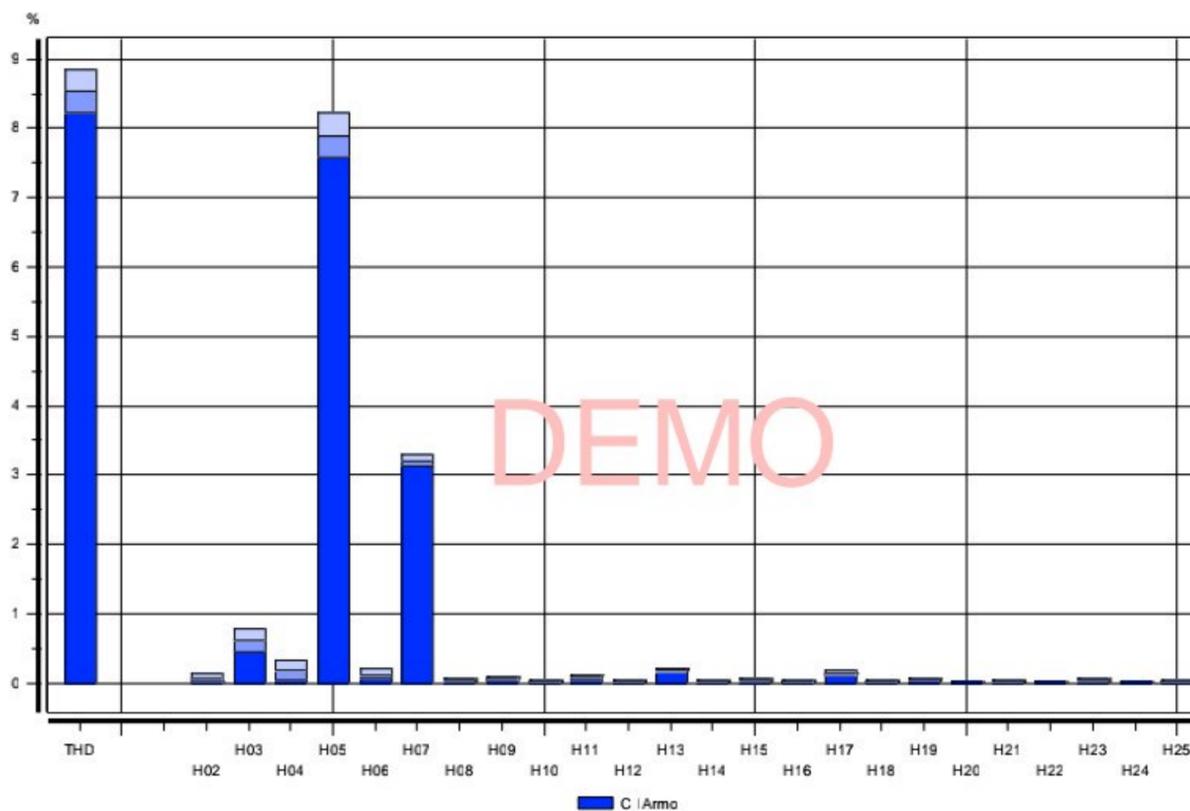


Figura 4.28. Espectro armónico de corriente de fase C.

Dentro de los armónicos de corriente individuales, podemos observar que tanto la **figura 4.26, 4.27 y 4.28**, presentan una quinta armónica, que, si bien la fase B no excede de los valores permitidos, respecto a las fases A y C, sigue muy cerca del límite, esto probablemente debido a las cargas conectadas de los equipos eléctricos y electrónicos, como pueden ser las cargas no lineales y los motores de alto torque.

Así mismo, se puede observar en las **figuras 4.22, 4.23 y 4.24**, la corriente total de distorsión, esto con valores estables, con un pico de corriente que se presenta el día 3 de febrero del 2020, pero que no afecta los otros días de la semana con la medición, sino que sigue de manera estable el resto de ella.

## RESUMEN DE LOS PEORES CASOS

Medido desde 31/01/2020 10:14:59.0 Hasta 07/02/2020 08:30:00.0

De 2 total de HUECOS DE TÉNSION

CRITERIOS	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
La menor magnitud 02:33:23.90	A	INSTANTÁNEO	226.9V, 0.025 Seg.	06/02/2020
02:33:54.03	A	INSTANTÁNEO	244.2V, 0.025 Seg.	06/02/2020
La mayor duración 02:33:54.03	A	INSTANTÁNEO	244.2V, 0.025 Seg.	06/02/2020
02:33:23.90	A	INSTANTÁNEO	226.9V, 0.025 Seg.	06/02/2020
Perdida mayor de Energía 02:33:23.90	C	INSTANTÁNEO	226.9V, 0.025 Seg.	06/02/2020
02:33:54.03	A	INSTANTÁNEO	244.2V, 0.025 Seg.	06/02/2020

De 0 total de SOBRETENSIONES

CRITERIOS	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
-----------	------	-----------	-------	------------

De 0 total de INTERRUPCIONES DE TÉNSION

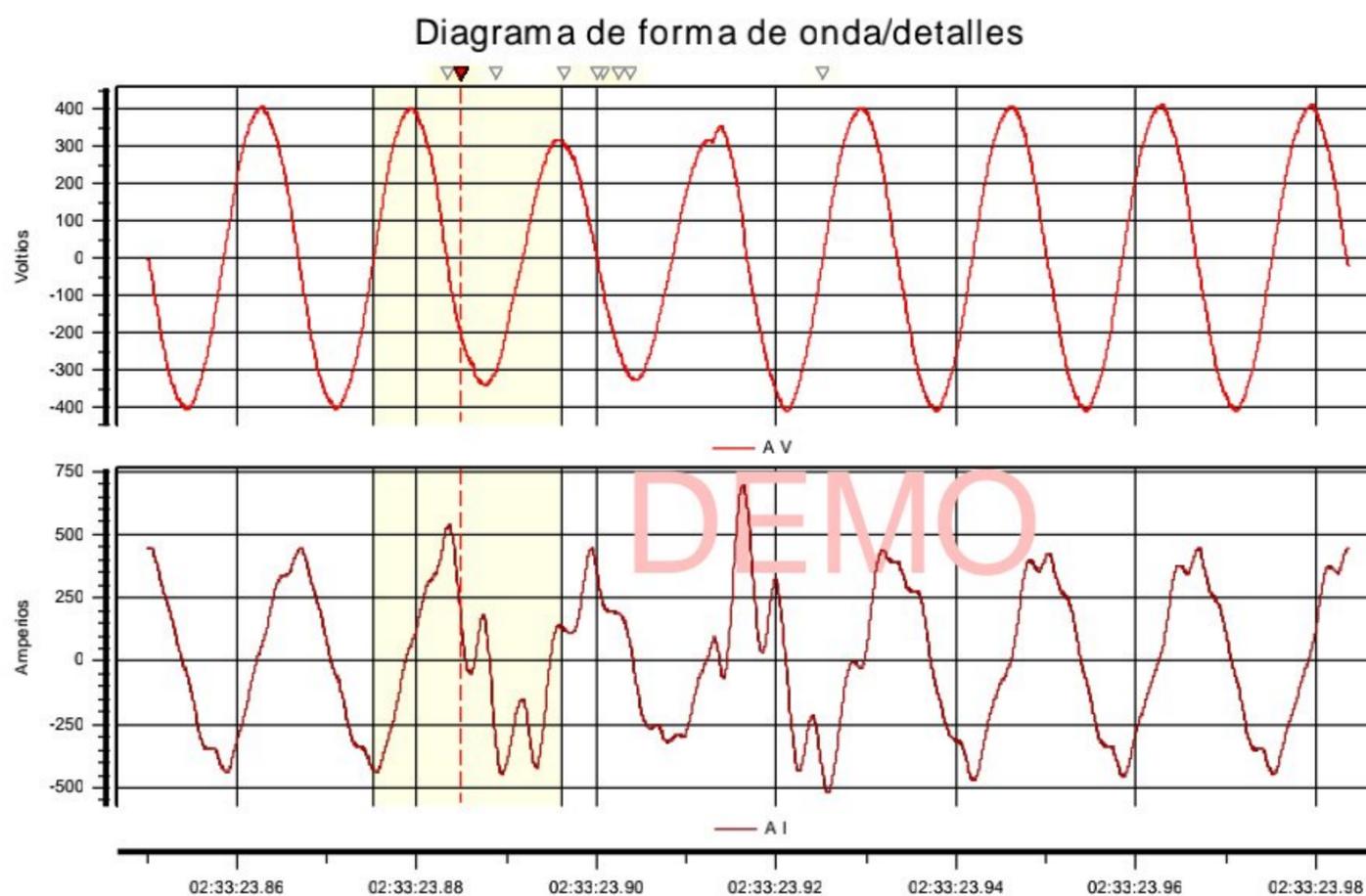
CRITERIOS	FASE	CATEGORÍA	DATOS	FECHA/HORA
-----------	------	-----------	-------	------------

De 26 TOTAL DE TRANSITORIOS DE TÉNSION

CRITERIOS	FASE	DATOS	FECHA/HORA
La mayor magnitud 02:33:54.01	A	212.2V, 0.002 Seg.	06/02/2020
02:33:54.01	B	211.7V, 0.001 Seg.	06/02/2020
02:33:54.02	A	195.3V, 0.000 Seg.	06/02/2020
02:33:23.90	C	184.8V, 0.000 Seg.	06/02/2020

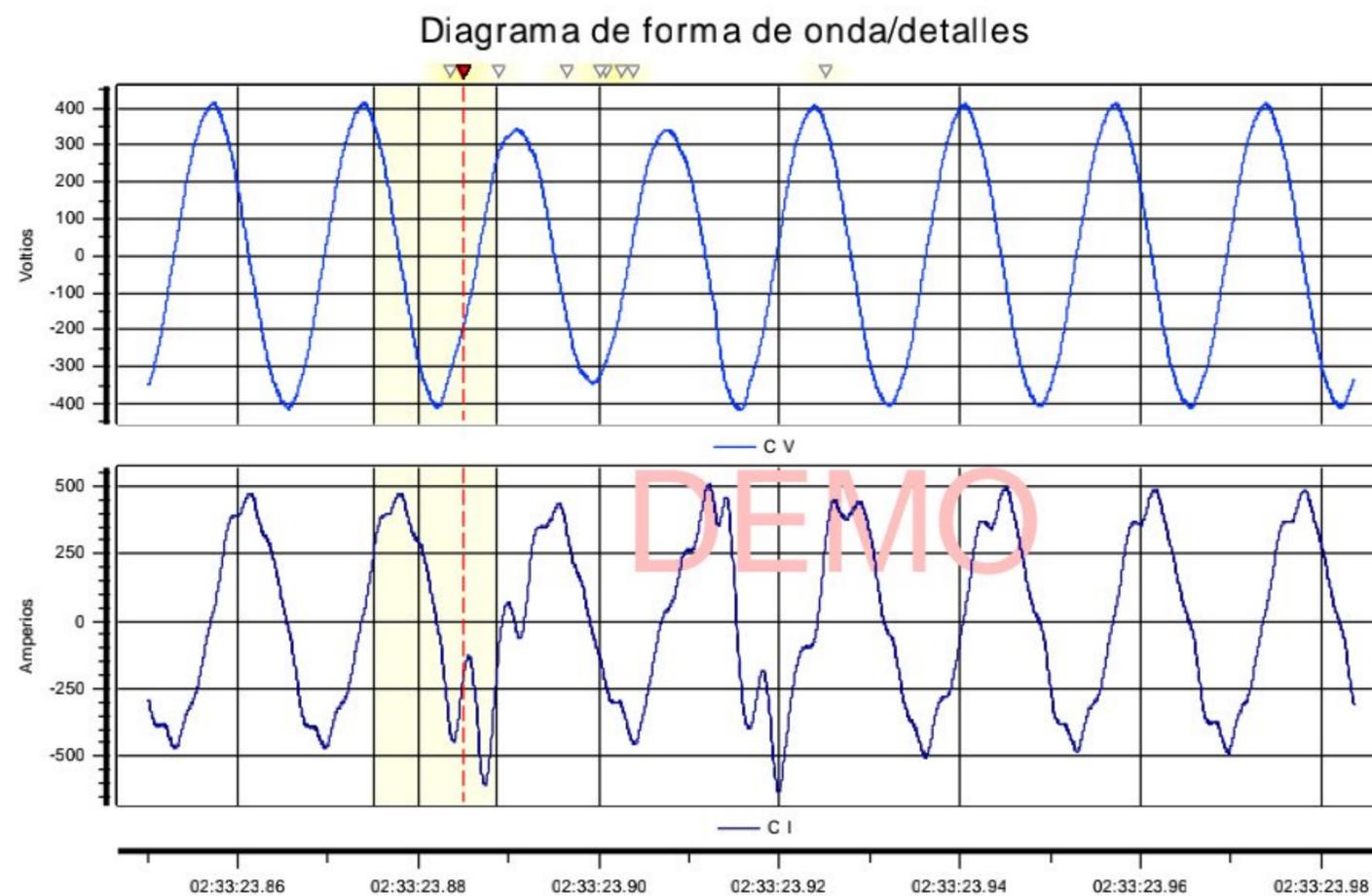
### Forma más baja del hueco de tensión fase A.

Instantáneo 226.9V,0.025 Seg., en 06/02/2020 02:33:23.90

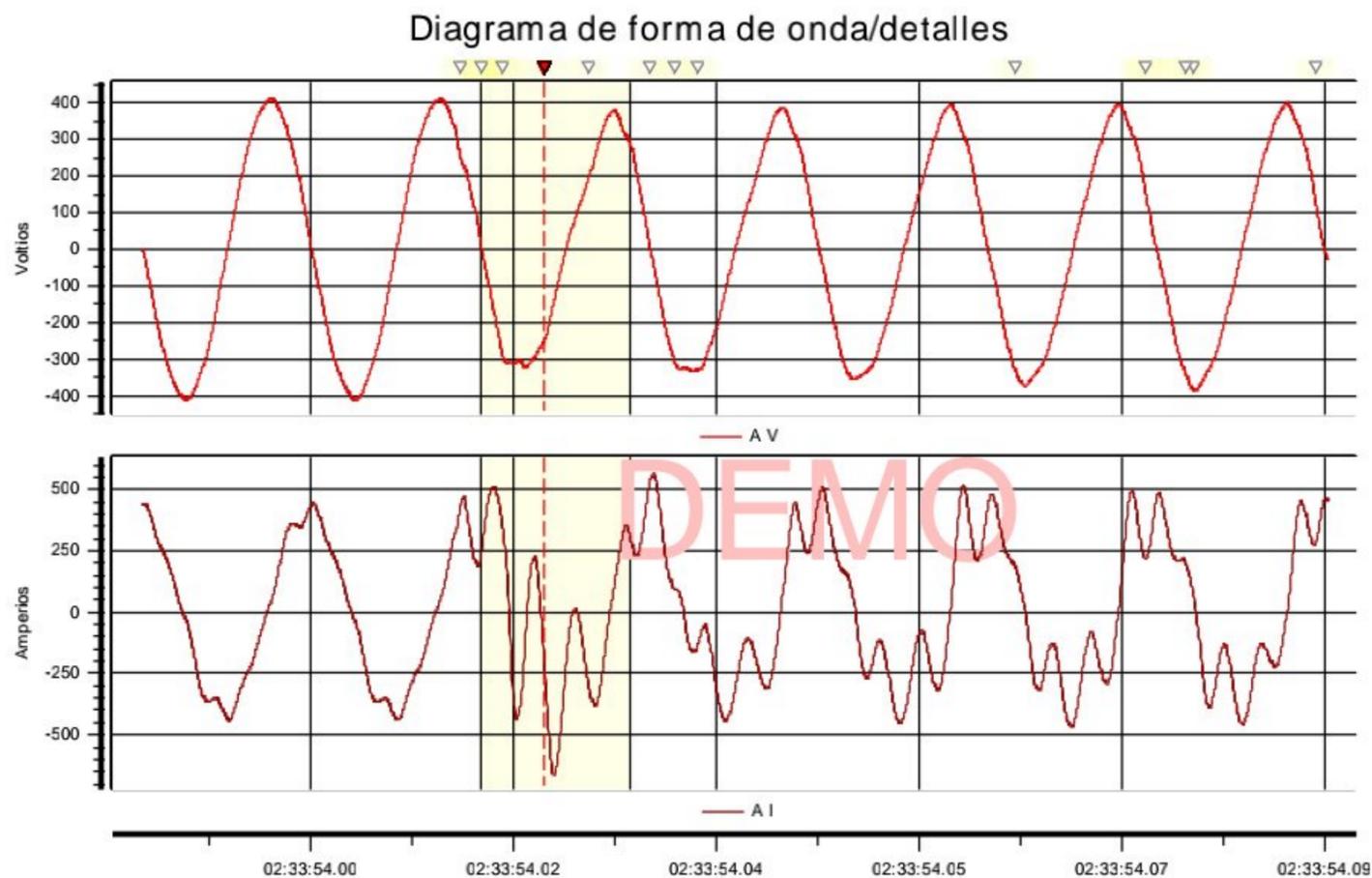


### Hueco de tensión con mayor pérdida de energía: Fase C

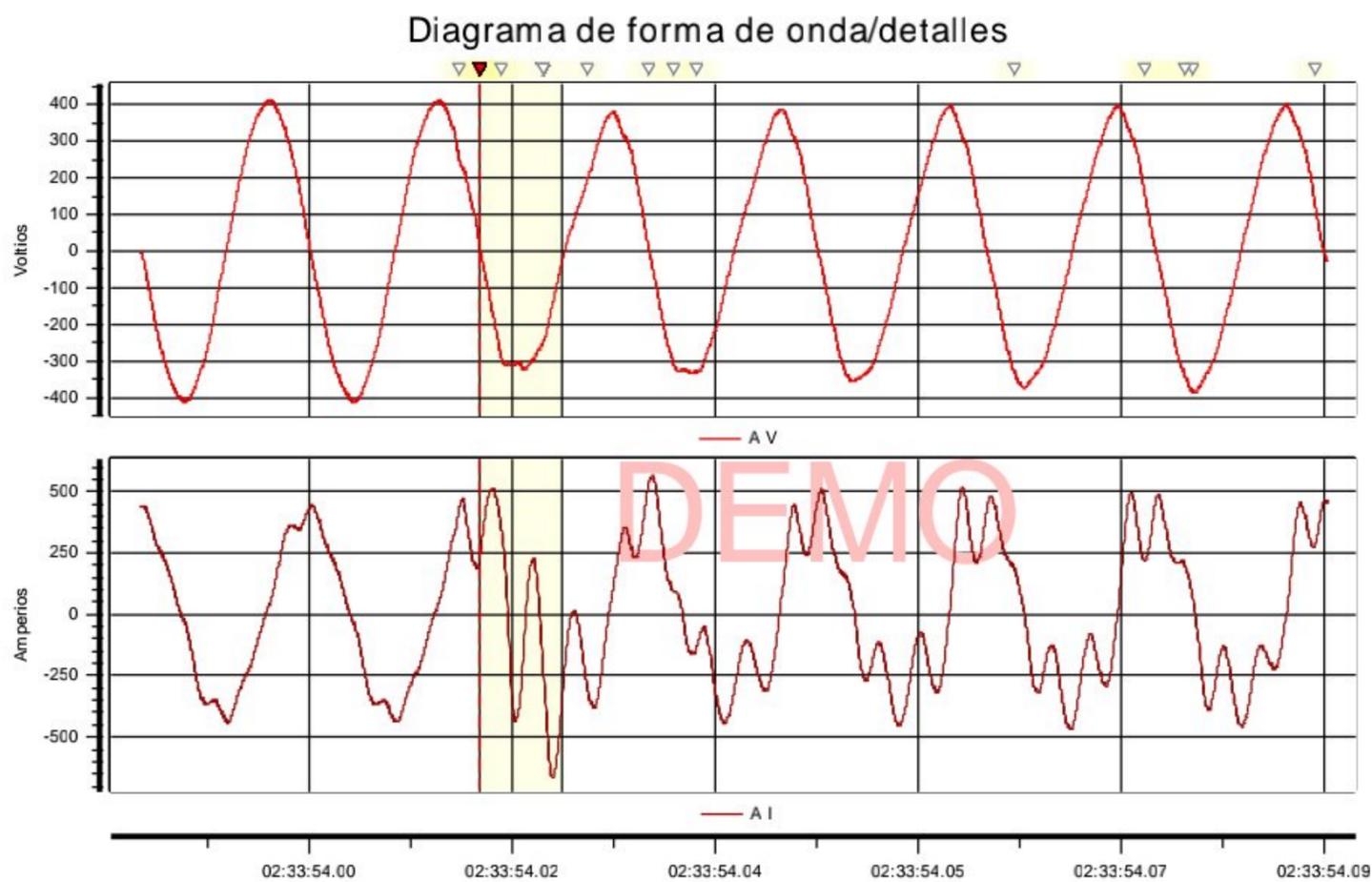
Instantáneo 226.9V,0.025 Seg., en 06/02/2020 02:33:23.90



Hueco de tensión de mayor duración: Fase A  
Instantáneo 244.2V, 0.025 Seg., en 06/02/2040 02:33:54.03



Magnitud mayor de transitorio de tensión: Fase A  
212.2V, 0.002 Seg., en 06/02/2040 02:33:54.01



## 4.4 Reporte termográfico

Norma aplicable NETA

Figura	Temperatura medida (°C)	Temperatura norma NETA (°C)	Resultado
Figura 4.29	28.8	40	Satisfactorio
Figura 4.30	23.5	40	Satisfactorio
Figura 4.31	50.7	40	Insatisfactorio

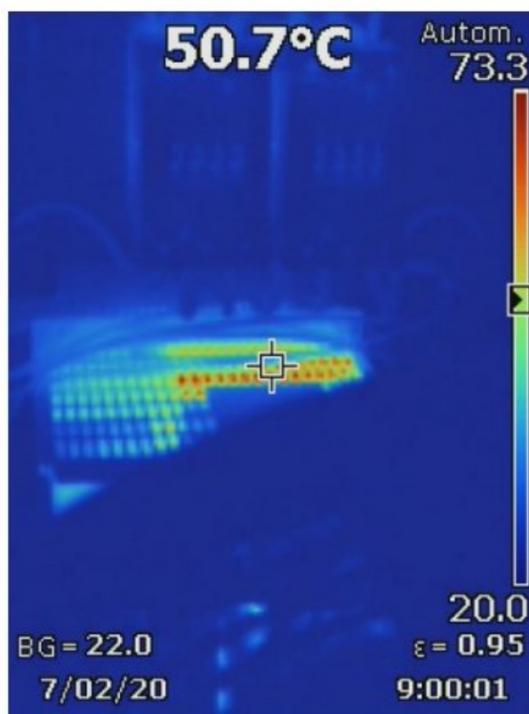


Figura 4.30. Variador de frecuencia



Figura 4.29. Conexión de cargas

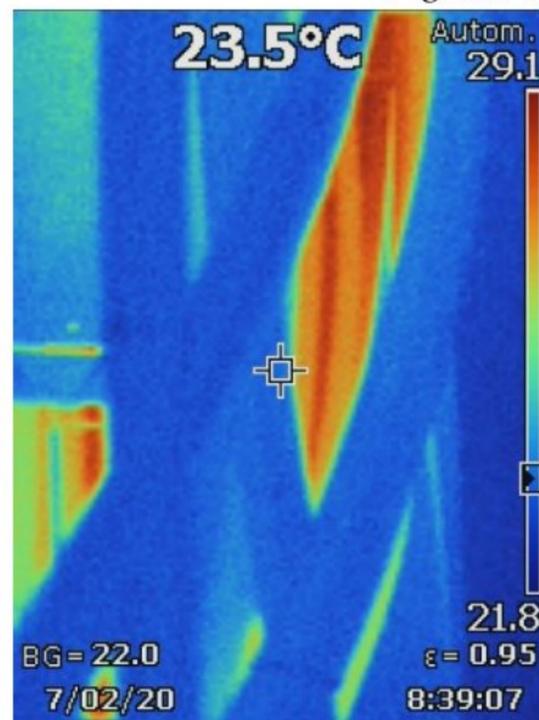


Figura 4.31. Temperatura de conductores

## **5. CAPÍTULO. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES**

### **CONCLUSIONES**

En conclusión, al ser un sistema de monitoreo aislado que se analizó parcialmente uno de los 4 transformadores que se encuentran dentro del hospital, el sistema presenta una estabilidad dentro de los parámetros de medición, no se encuentran problemas dentro de las fases del transformador, más las ya mencionadas en el capítulo 4, que constan de un desbalance de tensiones y corriente que se concluye que hay cargas conectadas que no están balanceadas y por ende provocan este desajuste, además de una quinta armónica que se presentan en las fases A y C que generalmente se presenta por los sistemas no lineales y los motores de torque alto, se concluye entonces que el análisis realizado descarta la posibilidad de una falla en el sistema que se pensó que provocó la ruptura de uno de los devanados del transformador tipo seco, descartando el mal funcionamiento del centro de carga y teniendo las bases para sustentar que la ruptura fue provocada por un mal mantenimiento del transformador.

### **RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones finales son:

- 1.- Respecto al sistema analizado, revisar las conexiones cuidadosamente, para descartar cualquier posible falla dentro de los cables de alimentación.
- 2.- Revisar con detenimiento la distribución de cargas instaladas en el transformador analizado, ya que el desbalance que se encuentra podría ocasionar en un futuro el adelgazamiento prematuro del aislamiento del transformador.
- 3.- Tener el análisis completo de la instalación eléctrica, para determinar los valores correctos de los cálculos para el banco de capacitores y los filtros de armónicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [0] Escuela Europea de Excelencia. (Septiembre 2016). Desarrollo del concepto calidad. 04/09/21, de Escuela Europea de Excelencia Sitio web: <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2016/09/desarrollo-concepto-calidad>
- [1] Rodrigo J., Jorge C. (2014). *PERSPECTIVA DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y SU IMPORTANCIA EN MÉXICO*. abril 6, 2020, de Cenam Sitio web: <https://www.cenam.mx/dme/pdf/PRE-Perspectiva%20de%20calidad%20de%20la%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20y%20su%20importancia%20en%20M%C3%A9xico.pdf>
- [2] Dr. Francisco de Rosenzweig M. (05-2017). *Principios de Regulación del Sector Eléctrico*. 2-04-2020, de Comisión Reguladora de Energía Sitio web: <https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-05/Principios%20b%C3%A1sicos%20regulaci%C3%B3n%20.pdf>
- [3] Mercado, V. & Bernardo, J. & Pacheco, L.. (2017). *Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra*. Abril 24, 2020, de Universidad de los Andes Sitio web: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5075/507555007009/html/index.html>
- [4] Comisión Reguladora de Energía. (2016). Código de red. México: Diario Oficial.
- [5] Enrique P. (2006). *Nuevo Método de Detección y Análisis en Tiempo Real de Eventos en la Tensión de Suministro de Energía Eléctrica Empleando un Modelo Combinado*

- Wavelets-Filtro de Kalman Extendido*. (Tesis doctoral). Universidad de Cantabria, Departamento de Electrónica y Computadores, Santander.
- [6] Cañizares Cárdenas, P. S. (2000). *Estudio de los sobrevoltajes en redes de distribución* (Bachelor's thesis, Quito: EPN, 2000.).
- [7] RIOS, C. A., NARANJO, M. A., & GALLEGO, R. A. (2003). *Análisis de armónicos en sistemas eléctricos*. Scientia et technica, 1(21).
- [8] IEEE standard 519 (2019). *Recommended Practice for Harmonic Control in Industrial Systems*. IEEE New York. USA.
- [9] UNE-IEC/TR 61000-3-6 (2016). *Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication (IEC/TR 61000-3-6:1996)*. UNE. España.
- [10] Concha, V. H. (1953, June). *Las variaciones bruscas de voltaje (flicker) provocadas por los hornos eléctricos de arco y las máquinas extractoras de carbón en piques profundos*. In *Anales del Instituto de Ingenieros de Chile* (No. 1-2, pp. ág-20).
- [11] Casaravilla, G., & Echinope, V. (2005). *Desbalances: estudio de alternativas para su estimación*. Encuentro de Potencia, Instrumentación y Medidas, EPIM 05. Montevideo, Uruguay, 2005.
- [12] José, R., & Elvia, N. (2019). *Estudio del desbalance de tensiones y sus efectos en la calidad del producto técnico para sistemas de distribución a nivel industrial*. Universidad De El Salvador Facultad De Ingeniería Y Arquitectura Escuela De Ingeniería Eléctrica, Ciudad Universitaria.
- [13] IEEE Standard 1159-2009, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, IEEE New York, USA,2009.

- [14] Especificación CFE L0000-45. (2005). *Desviaciones permisibles en la forma de onda de tensión y corriente en el suministro y consumo de energía eléctrica*. CFE, México.
- [15] ANSI Standard C84.1 (2006). American National Standard for Electric Power Systems and Equipment – Voltage Ranges (60 Hz). ANSI. 11 West 42 Street. New York.
- [16] Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1996). *Análisis de sistemas de potencia*.
- [17] Montalvo Saá, L. F. (2010). *Análisis de transitorios electromagnéticos en la energización de elementos de transmisión utilizando el programa digilent power factory* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).
- [18] Gallardo Sánchez, C. (2016). *Eficiencia a impulso de sistemas de puesta a tierra* (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Electroenergética).
- [19] Tuermero P. (2015). *Calidad de la energía eléctrica*. 10 junio 2020, de Monografías Sitio web: <https://www.monografias.com/trabajos104/calidad-energia-electrica/calidad-energia-electrica.shtml#top>
- [20] Ingeniería I. (2009). *Calidad de Energía*. 4 de agosto del 2020, de Ingeniería Internacional e informática Sitio web: <https://ingenieriainternacional.wordpress.com/ingenieria-internacional-e-informatica-2/%C2%BFsabias-que/calidad-de-energia/#:~:text=Una%20variacion%20de%20voltaje%20se,para%20servicio%20en%20120%20V.>
- [21] Escuela Tec. (2017). Descargadores de sobretensión. 13/11/2020, de Escuela Técnica N°21 del Distrito Escolar 10 “Fragata Escuela Libertad” Sitio web: <https://ie2mmo.wordpress.com/2017/10/06/t08-descargadores-de-sobretension-2/>

- [22] New Line. (2016). Caída de Tensión y Bajo Voltaje. 13/11/2020, de Reguladores de Voltaje & Transformadores Variables Sitio web: <https://corpnewline.com/caida-de-tension.html>
- [23] Zapata F. (2017). Series de Fourier: aplicaciones, ejemplos y ejercicios resueltos. 13/11/2020, de Lifeder Sitio web: <https://www.lifeder.com/series-de-fourier/>
- [24] Paz H., Castellanos G., Alarcón R., Weiss V., Laverde A., Rodríguez J., & Rincón L. (Sep 2016). *Automatización del laboratorio de ingeniería electrónica g-204 de la eci a través de una red inmótica*. 13/11/2020, de Universidad Nacional de Colombia Bogotá Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/237038360\\_Automatizacion\\_del\\_laboratorio\\_de\\_ingenieria\\_electronica\\_G-204\\_de\\_la\\_ECI\\_a\\_traves\\_de\\_una\\_red\\_inmotica](https://www.researchgate.net/publication/237038360_Automatizacion_del_laboratorio_de_ingenieria_electronica_G-204_de_la_ECI_a_traves_de_una_red_inmotica)
- [25] Romero A. (2014). Calidad del Producto Técnico ante el Ingreso de Generación de Energía Eléctrica con Recurso Renovable. 06/11/2020, de Instituto de Energía Eléctrica Sitio web: <https://slideplayer.es/slide/1106934/>
- [26] Alves L.. (Ene 2016). Bancada Virtual Para Testes de Inversores em Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica. 13/11/2020, de Universidade Federal de Campina Grande Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/333263996\\_Bancada\\_Virtual\\_Para\\_Testes\\_de\\_Inversores\\_em\\_Sistemas\\_Fotovoltaicos\\_Conectados\\_a\\_Rede\\_Eletrica](https://www.researchgate.net/publication/333263996_Bancada_Virtual_Para_Testes_de_Inversores_em_Sistemas_Fotovoltaicos_Conectados_a_Rede_Eletrica)
- [27] Hall C.. (Jul 2001). Calidad de la Energía Eléctrica CAUSAS Y EFECTOS. 13/11/2020, de SlideServe Sitio web: <https://www.slideserve.com/chelsi/calidad-de-la-energ-a-el-ctrica-causas-y-efectos>

[28] Bethelca. (2017). Problema N°1: TRANSITORIOS. 06/11/2020, de Beth-Electric Distribuciones C.A. Sitio web: <https://medium.com/@Bethelca1/problema-n%C2%BA1-transitorios-4a5a7cfe442d>

[29] Meza J. & Zamora J. (2009). Control electrónico, un conocimiento invaluable para el técnico. Nov 2020, de Mundo hvacr Sitio web: [https://www.mundohvacr.com.mx/2009/09/control-electronico-un-conocimiento-](https://www.mundohvacr.com.mx/2009/09/control-electronico-un-conocimiento-invaluable-para-el-)

[invaluable-para-el-](https://www.mundohvacr.com.mx/2009/09/control-electronico-un-conocimiento-invaluable-para-el-)

[30] Escuela Tec. (2019). Descargadores de sobretensión. 13/11/2020, de Escuela Técnica N°21 del Distrito Escolar 10 “Fragata Escuela Libertad” Sitio web: <https://ie2mmo.wordpress.com/2019/06/27/t2-4-factor-de-potencia/>

## **ANEXO A. TÉCNICAS DE ATENUACIÓN DE DISTURBIOS**

Los disturbios pueden ser generados de manera interna o externa, por ello es necesario contar con los equipos adecuados para mitigar en su mayoría estos disturbios, a continuación, se enlistan algunas maneras de atenuación de disturbios.

### **Supresor de picos**

Un supresor de picos es un dispositivo de desvío de energía, que corta los impulsos de tensión y desvía la corriente del transitorio para no dañar la carga sensible y mantener el voltaje libre de transitorios. Su finalidad es proteger a los equipos de los picos de voltaje que pueden ser generados por los transitorios o descargas atmosféricas. El supresor está conformado por discos de material cerámico llamados MOV's.

Un MOV's es un dispositivo que presenta una alta impedancia cuando el nivel de tensión es nominal y cambia a muy baja impedancia cuando se presenta un pico de tensión, por lo que permite desviar la corriente transitoria a tierra. Cuando el transitorio finaliza se establece la condición inicial de alta impedancia en el equipo, preparándose así para el siguiente evento.

El tiempo de respuesta del supresor es por lo general es menor a 1ns.

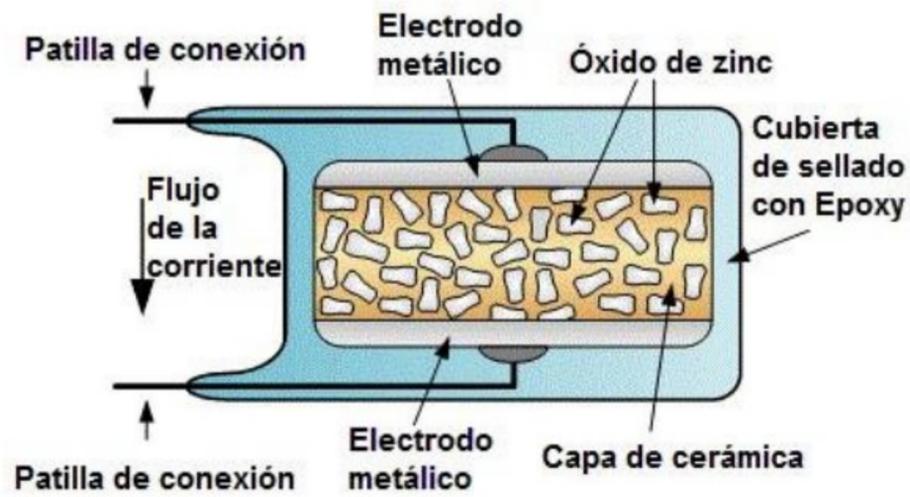


Figura 0.1. Estructura del MOV's.

Como se vio en la sección 2.8 los transitorios son picos de voltaje con una magnitud de hasta 20 kV y 10 kA, con duración de nano a microsegundos de aparición aleatoria y bipolar en la onda sinusoidal. Y se clasifican por su origen como internos y externos.

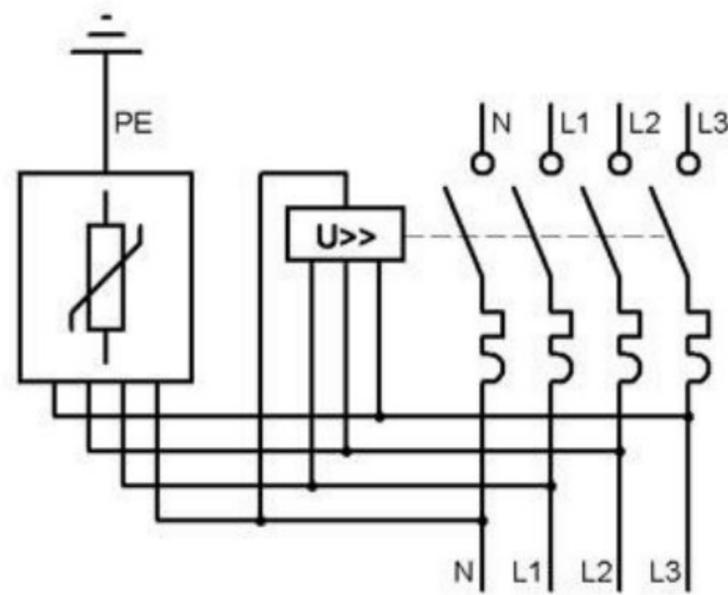


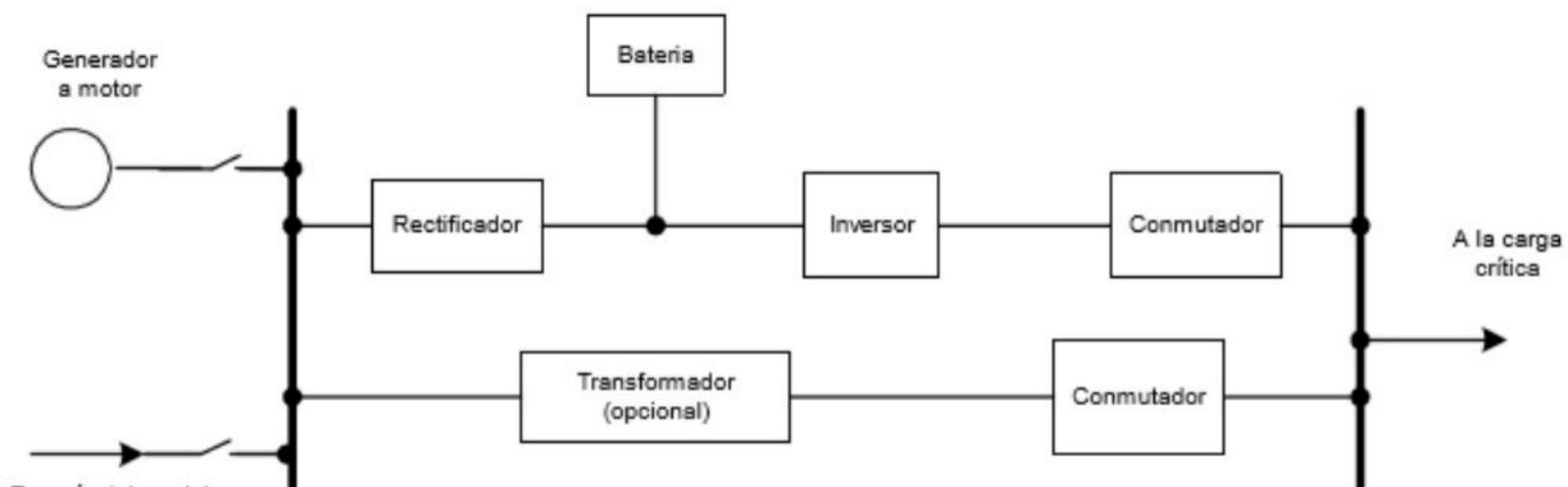
Figura 0.2. Conexión trifásica de supresor de picos

## UPS

Es un equipo que protege a equipos electrónicos sensibles, contra los disturbios eléctricos presentes en la alimentación como pueden ser, picos de voltaje, ruido en la red eléctrica, caídas de voltaje, cortes de energía entre otros. El equipo se encarga de entregar a su salida de señal sinusoidal de onda pura, manteniéndose el suministro eléctrico en caso de corte de alimentación principal.

Estas fuentes incorporan equipo complejo que debe planearse y especificarse cuidadosamente antes de comprarlo. Estos sistemas se emplean para respaldar la energía en las computadoras, cargas críticas, base de datos y todo lo relacionado con equipo que sea específico para el correcto funcionamiento.

El sistema central de un UPS es la unidad rectificadora – inversora, la cual tiene una entrada de C.A. y entrega C.A. libre de transitorios a la carga crítica. En su interior una batería suministra energía al inversor cuando se interrumpe el suministro de energía por varios minutos.



*Figura 0.3. Conexión típica de UPS*

Algunos de los problemas más comunes con la calidad de la energía, para los cuales un UPS es empleado es para corregir lo siguiente:

- Corte en el suministro de energía eléctrica por parte de la compañía suministradora, provocando que las máquinas y equipos detengan su trabajo.
- Regulación de transitorios de voltaje, ya sean de bajo o alto voltaje.
- Bajos voltajes provocado por las líneas causantes de sobrecarga de motores.
- Ruido que se presenta como una distorsión en la forma de onda e interferencia electromagnética.
- Distorsión armónica.

### **Filtros de armónicos**

Los filtros son elementos eléctricos lineales que discriminan el paso de una determinada frecuencia o gama de frecuencias, dependiendo de las características del filtro y su capacidad.

Soluciona problemas de corrientes armónicas, al drenar la corriente armónica.

### **Tipos de filtros**

Pueden ser divididos en dos categorías activos y pasivos. Los filtros activos están comenzando a ser un producto variable para la operación y aplicación en potencias elevadas.

Para cargas que inyectan corrientes armónicas al sistema, un inversor de C.D. a C.A. puede

ser controlado como un inversor que suministra corrientes armónicas para la carga, cuando el sistema de potencia permite suministrar la frecuencia de la corriente a la carga.

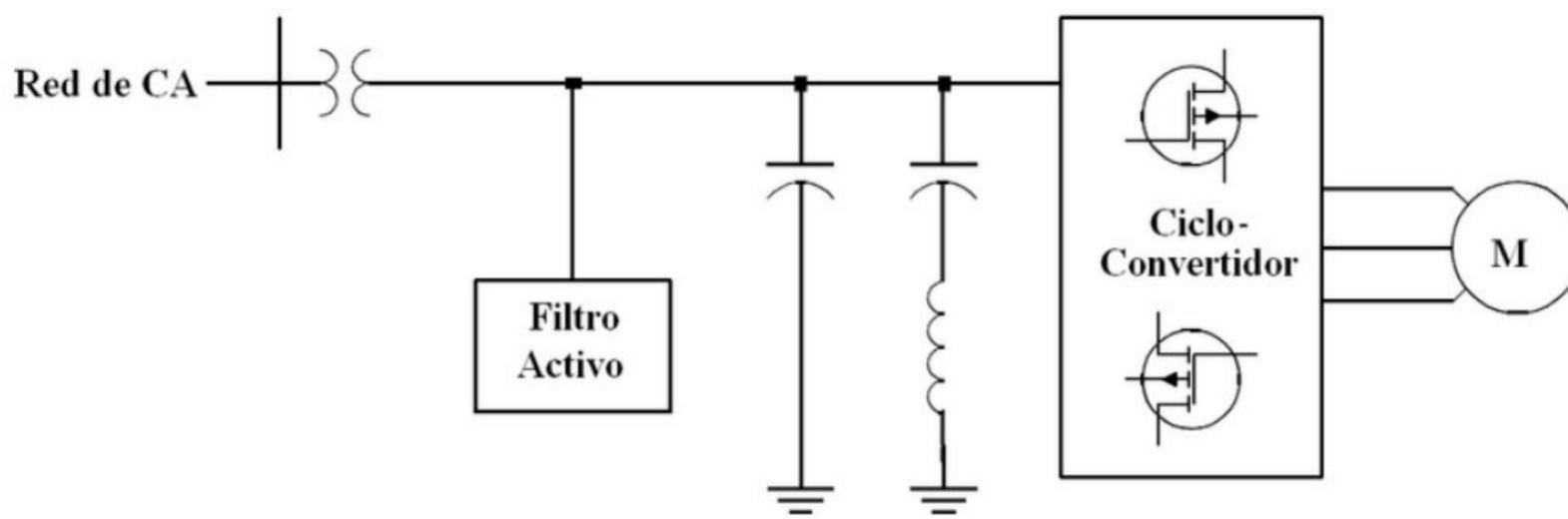


Figura 0.4. Aplicación de un filtro activo de potencia.

Para aplicaciones en tensiones elevadas o donde ya existen bancos de capacitores para la corrección de factor de potencia, es típico y efectivo el empleo de filtros pasivos. Los filtros pasivos están basados en el principio de resonancia en serie (recordando que una impedancia baja a una frecuencia específica es una característica de resonancia en serie) y puede ser fácilmente implementada y normalmente se emplea para filtrar las 5ta y 7ma armónica.

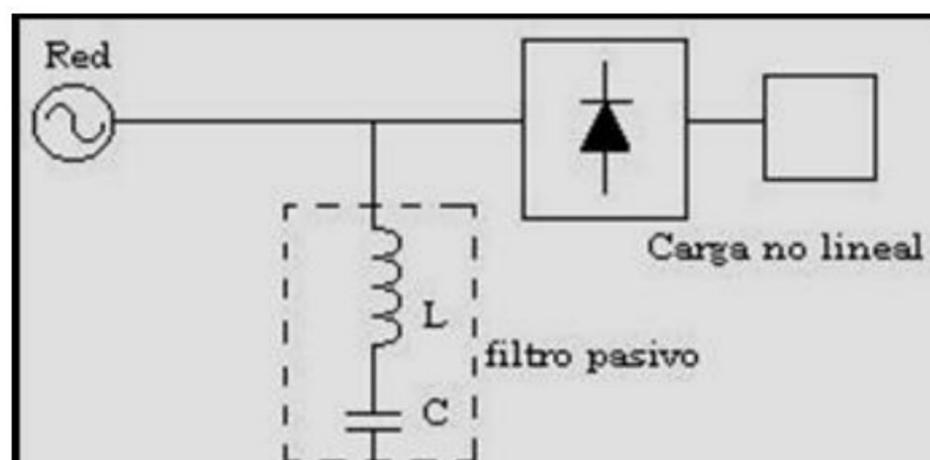
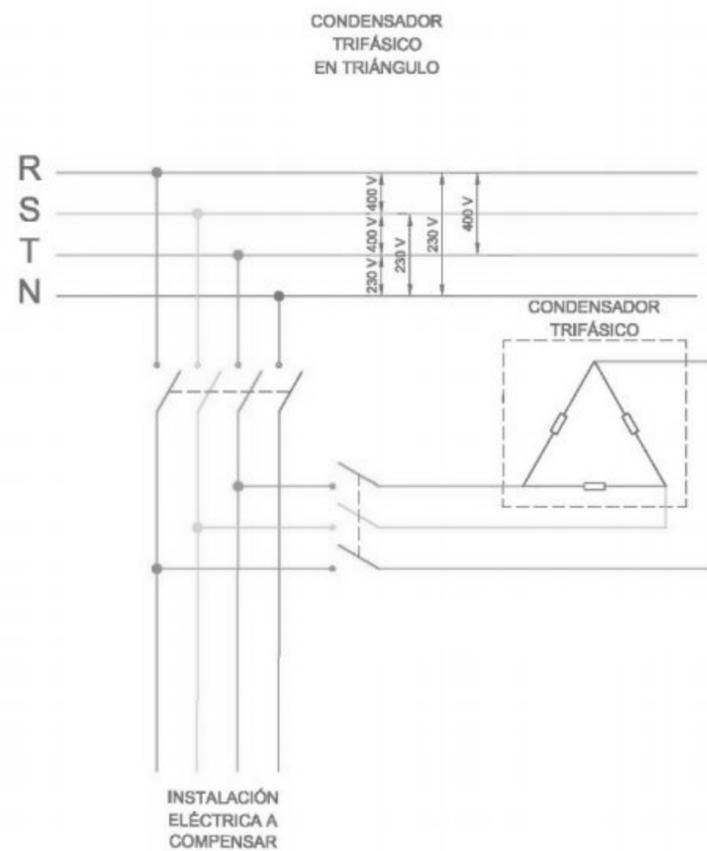


Figura 0.5. Aplicación de un filtro pasivo de potencia.

## **Bancos de capacitores**

Los bancos de capacitores son agrupamientos de unidades montadas sobre bastidores metálicos, que se instalan en un punto de la red de MT con el objeto de suministrar potencia reactiva y regular la tensión del sistema. Al corregir un bajo factor de potencia, los capacitores reducen la demanda de KVA debido a que liberan de la carga a los transformadores, tableros de fuerza y otros equipos. La demanda reducida de KVA da como resultado bajos costos por parte de la compañía suministradora, la vida útil de los equipos y algunas ventajas son:

- Disminuyen pérdidas por calentamiento de cables, transformadores y motores.
- Liberan capacidad instalada en transformadores y cables.
- Mejoran la regulación de voltaje en toda la planta.
- Evitan desgaste prematuro del equipo por exceso de calentamiento causado por el bajo voltaje.
- Disminuye el consumo total de energía incluyendo el de demanda máxima e instalados correctamente, dan ahorros en el consumo total.



*Figura 0.6. Conexión de banco de capacitores en estrella.*

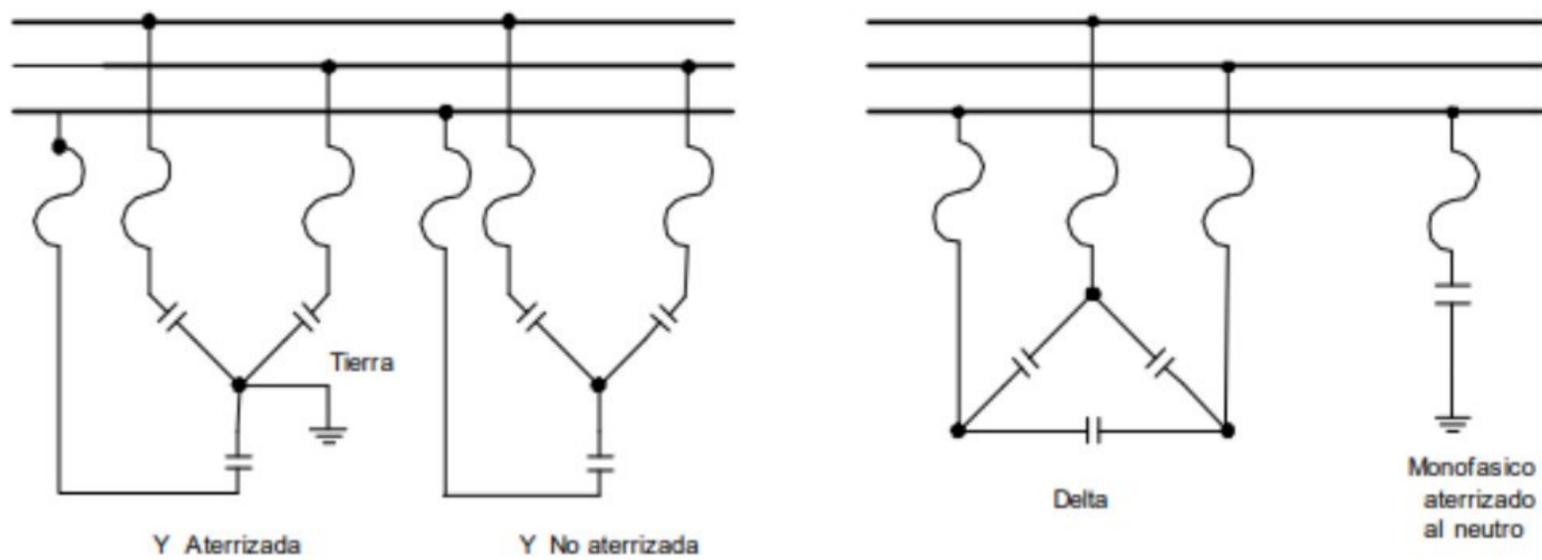
### **Tipos de bancos de capacitores**

Estos bancos pueden ser fijos o automáticos y ejecutarse para uso interior o intemperie con el grado de protección que la instalación requiera.

**Bancos fijos:** Generalmente disponen de protección externa por medio de fusibles de alta capacidad de ruptura. Pueden emplearse para compensación individual de grandes motores de MT o compensación fija de barras empleando fusibles con seccionamiento.

**Bancos automáticos:** Están integrados con componentes de alta calidad los cuales ofrecen una gama de capacidades y pasos para la adecuada corrección del factor de potencia con la

variación de carga instalada, evitando así el envejecimiento paulatino de los aislamientos. Los bancos de capacitores automáticos cuentan con regulador de energía reactiva, al que solamente es necesario conectar una de las corrientes y las tres tensiones trifásicas. Cuando se presentan ambientes ricos de armónicos, se deben considerar un banco automático y anti resonante en lugar de uno convencional.



*Figura 0.7. Conexiones comunes de los bancos de capacitores.*

### **Reactores de línea**

Los reactores de línea ayudan al equipo a trabajar correctamente mediante la absorción de los distintos tipos de disturbios que se presentan en las líneas de alimentación que en otras circunstancias dañan los equipos sensibles. Estos equipos se utilizan para problemas en inversores y los variadores. Los reactores de línea son compensadores de armónicas, además de asegurar un óptimo desempeño en la presencia de armónicas.

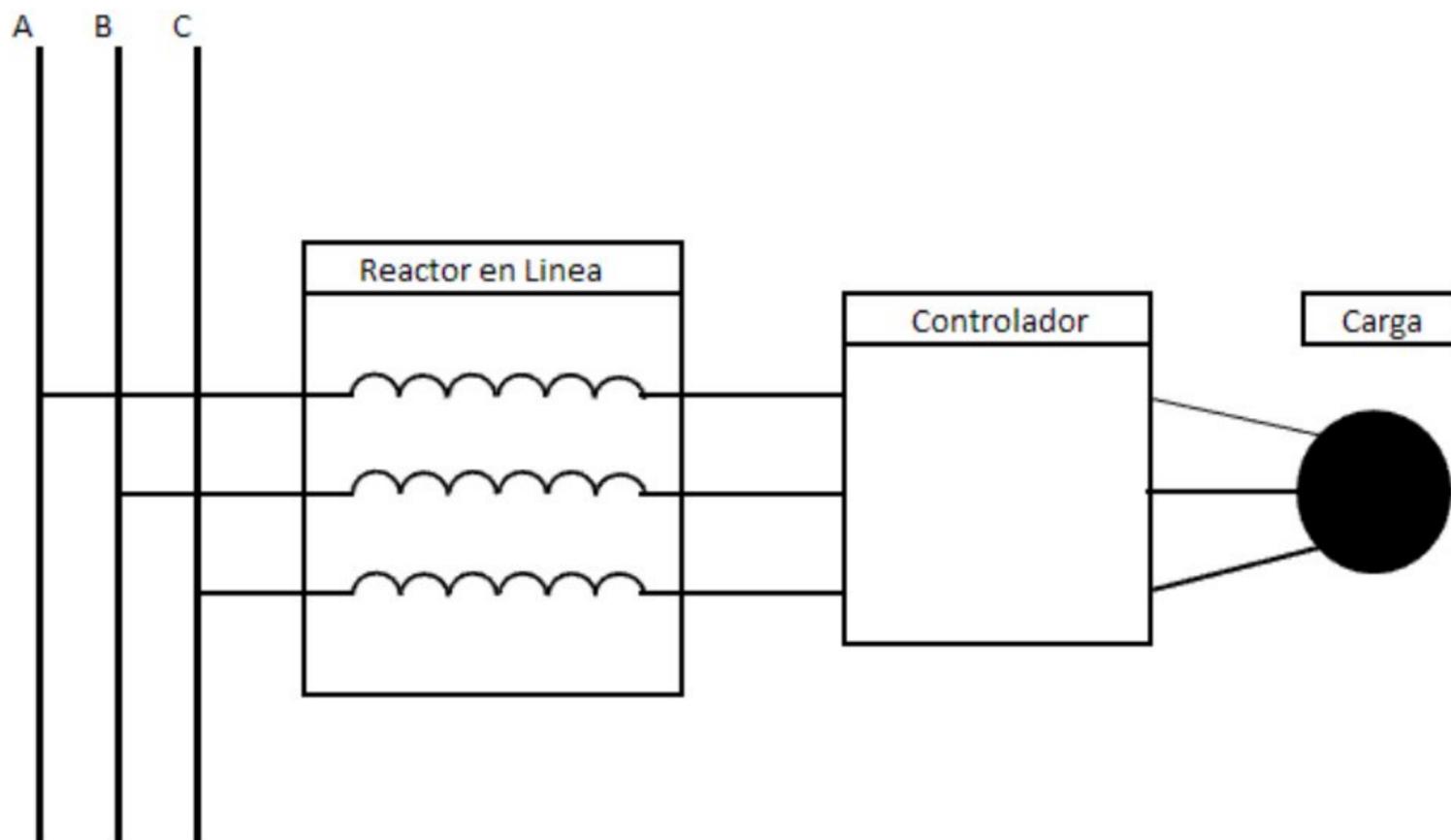


*Figura 0.8. Reactor trifásico de línea*

Las ventajas de estos equipos son:

- Proteger a los motores de los efectos de las cargas grandes.
- Reducir la salida de voltaje.
- Aumentar la vida útil de los semiconductores.
- Reducir la distorsión armónica.
- Reducir los picos de corriente.
- Reducir la temperatura de los motores.
- Reducir el ruido audible del motor.
- Mejorar el factor de potencia.
- Los reactores de línea trifásica incrementan la confiabilidad de los sistemas para motores de velocidad variable.

- Protegen equipos electrónicos contra transitorios de tensión.



*Figura 0.9. Esquema de conexión de reactor de línea*

### **Trasformador de aislamiento**

Son equipos recomendados para aislar eléctricamente y reducir los disturbios eléctricos hacia las cargas sensibles a señales indeseables de alta frecuencia, comúnmente generados por los rayos, las ondas inducidas por el encendido de interruptores, los motores, los variadores de velocidad, que inducen ruido en las líneas. El escudo electrostático consiste en una hoja de metal colocada entre los devanados primario y secundario, para promover una atenuación entre 30 y 70 db de ruido de banda ancha, de línea a tierra (modo común).

Las aplicaciones típicas de los transformadores de aislamiento con protección de pantalla electrostática incluyen:

- Supresión de oscilaciones momentáneas y ruido en el punto donde se originan, previendo su indicción de la fuente a los alimentadores.
- Proveer aislamiento de un corto circuito.

Para todas las aplicaciones “sensibles” la pantalla electrostática se encarga de reducir y controlar la capacitancia, los ruidos, transitorios y armónicas en la línea de voltaje, creados por switcheo en arranque y paro de motores, capacitores o circuitos con SCR.

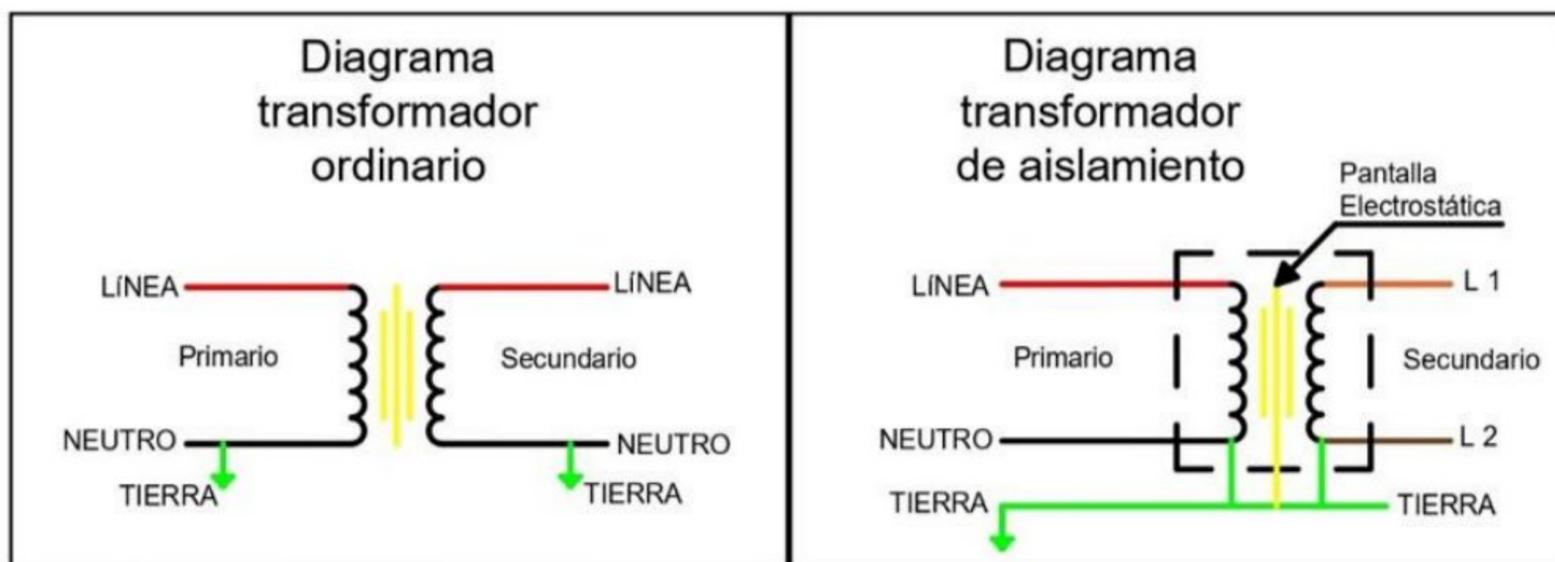


Figura 0.10. Diagrama de transformador ordinario y de aislamiento.